



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
Abdel Hamid Ibn Badis University - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم هندسة الطرائق
Department of Process Engineering



N° d'ordre : M2...../GPE/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie des procédés de l'environnement

Thème

ESTIMATION DES EMISSIONS DU CO₂ DANS L'ATMOSPHERE

Présenté par

1-MLLE LARBI DAOUADJI AMINA

2-MLLE BOUSBAA BOUTHAINA NOUR EL HOUDA

Soutenu le 12/09/ 2021 devant le jury composé de :

Président :	R.M GHEZZAR	Pr	Université de Mostaganem
Encadrante :	A.BLEHADJI	MCB	Université de Mostaganem
Examineur:	B.SMIL	MAA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Z.MOHAMED SEGHIR	MAA	Université de Mostaganem

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

En premier lieu nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage pour mener à fin ce modeste travail.

Nous remercions d'abord Madame Belhadji Amel de nous avoir motivés pour élaborer ce travail et pour nous avoir aidés tout au long de la réalisation de ce mémoire ainsi que pour ses encouragements.

Nous voulons également exprimer nos sincères remerciements au Pr GHEZZAR M d'avoir accepté de présider le jury, de juger le travail et pour sa remarquable modestie.

Tout l'honneur est pour nous de voir Dr SMAIL. B membre du jury, il nous a accompagné le long de notre parcours avec sa compétence et le voilà encore nous tendant sa main pour donner son avis sur notre étude. Nous vous remercions.

Que Mme MOHAMED SGHIR trouve ici les expressions de gratitude et de respect pour n'avoir épargné aucun effort pour juger et examiner le travail.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation.

Merci

DEDICASE

C'est avec

Beaucoup de plaisir et d'émotion que j'ose maintenant écrire ces modestes mots.

Des mots que j'espère expriment ma profonde gratitude envers des personnes qui me sont proches, des personnes envers que je dédie ce modeste travail.

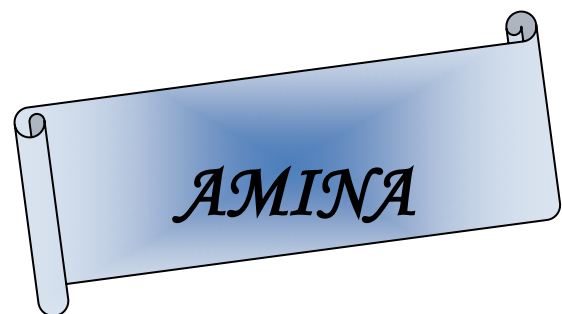
Je dédie ce travail tout d'abord, à la plus merveilleuse personne sur terre, à ma chère Maman, celle qui m'a soutenue, m'a encouragé, et m'a appris à croire en moi et mes espoirs.

A mon père, mon chère ami, l'homme qui inspire mon existence et qui m'a appris à être moi même

A ma famille, à ma sœur RANIA et mon frère AMINE qui sont le bonheur de mon cœur et qui donne gout et raison à ma vie.

A mon binôme NOUR, qui m'a beaucoup soutenue et encouragé pendant tout mon parcours de Master et que je la remercie beaucoup.

A mes amis proches, avec qui j'ai partagé beaucoup de moment de joie, de tristesse, mais aussi des moments d'espoir, de bonheur et surtout d'aventure !



DEDICASE

*Avant tout, je remercie le Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage
et la volonté pour réaliser ce modeste travail, que je dédie :*

À ceux que j'aime jusqu'à la frontière de l'imagination :

Ma mère et mon père ; sans eux je n'aurai pas aboutie à ce stade d'étude,

Que Dieu m'aide à les honorer, les servir et les combler.

Grace à eux nous avons trouvé le chemin de la réussite

À ceux que j'aime et que j'adore :

Mes sœurs et Mes frères

Ma grande mère et Ma tante

Ma cousine Kḥadīdja

À encadreur : Mdm Belhadji Amel

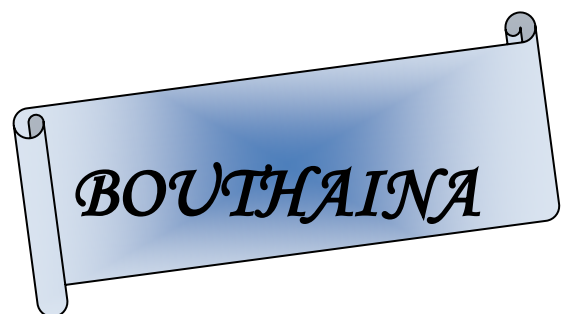
À tous mes amis (es) en particulier : Wiam et Amel

À toute les promotions 2021

À tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce

Mémoire

En fin à tous ceux qui m'aiment



Sommaire

Liste des abréviations.....	3
Liste des figures.....	4
Liste des tableaux.....	5
Résumé.....	6
Introduction.....	7
CHAPITRE I : présentation générale de GNL2/Z	
I-1. Historique.....	9
I-2.Situation géographique du complexe GNL2/Z.....	10
I-3.Description de l'usine.....	10
I-3-1. Les utilités.....	11
I-3-2.zone des procédés.....	12
I-3-3. Zone terminal (stockage et chargement).....	12
I-4-Procédé de liquéfaction de gaz naturel.....	13
CHAPITRE II : Source et impact du CO₂ sur l'environnement	
II-1 Définition du CO ₂	19
II-1-2- Gaz a l'effet de serre.....	19
II-3-Utilisation de CO ₂	21
II-3-1.sous forme gazeuse.....	21
II-3-2.sous forme liquide.....	21
II-3-3.sous forme solide.....	21
II-4-Généralités sur les sources d'émission du CO ₂	22
II-4-1 Introduction.....	22
II-4-2-Sources d'émission du CO ₂	23
II-4-3-Carburant fossiles.....	23
II-4-4-Procédés industriels.....	23
II-4-5-production d'hydrogène.....	23
II-5-Sources d'émissions du CO ₂ au sein du complexe GNL2.....	24
II-5-1-Dioxyde de carbone issus de la colonne de régénérateur.....	25
II-5-2-Dioxyde de carbone contenu dans les fumée des chaudières.....	27
II-5-3-Dioxyde de carbone issu des torches.....	28
II-6- Impact sur l'être humain.....	29
II-7.Impact sur le végétal.....	30
II-8- Impact sur le milieu marin.....	30
CHAPITRE III : les procédés de captage de CO₂	
III-1 -Procédés de captage de CO ₂	32
III-1-1 Captage du CO ₂ en post combustion.....	33
III-1-2 Captage oxy combustion.....	34

III-1-3. Captage précombustion.....	35
III-2. Comparaison des différents procédés du captage.....	36
III-3. Stockage de CO ₂ dans GNL2/Z.....	37

CHAPITRE IV : calculs discussions

IV-1-Estimations des émissions du CO ₂ dans le complexe du GL2/Z.....	38
IV-1-1 Estimation des quantités de CO ₂ émises par la colonne de régénération du MEA... ..	38
IV-1-2 Quantité de dioxyde de carbone absorbé par la MEA.....	38
IV-1-3 Quantité de dioxyde de carbone émise par le régénérateur de MEA.....	41
IV-2-Estimation de la quantité de CO ₂ dans les fumées des chaudières.....	43
IV-3-Estimation de la quantité de CO ₂ issue des torches.....	45
IV-4-Estimation de la quantité de CO ₂ rejetée par le complexe GL2/Z.....	46
Conclusion	47
Références bibliographique	48

LISTE DES ABREVIATIONS

GN : Gaz naturel

GNL : Gaz naturel liquéfié

Ppm/v : parties par million-en volume

MEA: Mono ethanol amine

MDEA: methyl diethanol amine

MCR : Multi-composants réfrigérant

PCS : pouvoir calorifique supérieur

PCI : pouvoir calorifique inférieur

CCS :captage carbone storage

Liste des tableaux

Tableau I.1: les constituants et les pourcentages	16
Tableau IV.2 : Résultats d'analyse du GN a l'entrée et a la sortie de l'absorbeur.....	39
Tableau IV.3 : Résultats d'analyse des fumées des chaudières.....	43
Tableau IV.4 : Composition des constituants présents dans les fumées de chaudière 770U..	44
Tableau IV.5: L'estimation de la quantité total du CO ₂ dans les fumés des chaudières.....	45
Tableau IV.6 : L'estimation de la quantité total du CO ₂ dans la fumée de chaque torche...	47.

Liste des Figures

Figure I.1: Schéma d'un train de procédé dans complexe GL2/Z	18.
Figure II.2 : sources d'émissions de CO ₂ dans le complexe GL2/Z.....	24
Figure II.3 : la régénération de MEA dans le complexe de GL2/Z.....	26
Figure III.4 : captage postcombustion.....	34
Figure III.5 : captage par oxy combustion.....	35
Figure III.6 : captage précombustion.....	36
Figure III.7 : stockage de CO ₂ dans des réservoirs de pétrole et du gaz.....	37

Résumé :

Le gaz carbonique est un gaz à effet de serre, le taux de CO₂ a trop augmenté ces dernières décennies à cause des activités industrielles, sa présence massive est en partie responsable du réchauffement climatique. Ses sources sont nombreuses car les écosystèmes jouent chacun un rôle dans son émission. Le complexe GL2/Z de SONATRACH utilise dans la décarbonatation le mono-éthanol-amine (MEA) comme agent absorbant pour éliminer le dioxyde de carbone présent dans le gaz naturel, et le rejette vers l'atmosphère. En plus de la décarbonatation, il y a aussi les gaz de fumées des chaudières qui contiennent, des quantités non négligeables, et celles des torches. Le travail réalisé au complexe GL2/Z a consisté à quantifier les rejets du dioxyde de carbone issus de différentes installations qui sont : les chaudières, la colonne d'absorption pour la décarbonatation à la MEA et les torches. Au niveau de chaque installation, un calcul a permis de connaître la quantité exacte de ce gaz produit et émis. Ces quantités sont trop importantes pour être rejetées à l'atmosphère ; c'est pourquoi il est impératif de trouver des solutions à ces émissions. Pour parer à ce problème, la solution proposée consiste à capter et à stocker géologiquement le CO₂ par les trois techniques de captage. Au niveau du complexe GL2/Z, on propose d'utiliser le captage en postcombustion du CO₂ émis par les chaudières, de la section de décarbonatation et les torches, cela nécessite d'installer une unité de récupération et de valorisation de gaz carbonique.

MOTS CLES : Dioxyde de carbone (CO₂), captage et stockage de carbone, Absorption

Postcombustion, Décarbonatation, Valorisation de gaz carbonique, MEA

Abstract:

Carbon dioxide is a greenhouse gas, the rate of CO₂ has increased too much in recent decades because of industrial activities, its massive presence is partly responsible for global warming. Its sources are numerous because the ecosystems each play a role in its emission. SONATRACH's GL2 / Z complex uses mono-ethanol-amine (MEA) in decarbonation as an absorbing agent to remove carbon dioxide present in natural gas, and releases it to the atmosphere. In addition to decarbonation, there are also flue gases from boilers which contain significant quantities, and those from torches. The work carried out at the GL2 / Z complex consisted in quantifying the carbon dioxide emissions from various installations, which are: the boilers, the absorption column for MEA decarbonation, the torches. At the level of each installation, a calculation made it possible to know the exact quantity of gas produced and emitted. These amounts are too large to be released into the atmosphere; this is why it is imperative to find solutions to these emissions. To overcome this problem, the proposed solution consists in capturing and geologically storing CO₂ by the three capture techniques. At the level of the GL2 / Z complex, it is proposed to use the post-combustion capture of the CO₂ emitted by the boilers, the decarbonation section and the flares; this requires the installation of a carbon dioxide recovery and recovery unit.

ملخص

ثاني أكسيد الكربون هو أحد غازات الدفيئة ، وقد زاد معدل ثاني أكسيد الكربون كثيرًا في العقود الأخيرة بسبب الأنشطة الصناعية ، ووجوده الهائل مسؤول جزئيًا عن ظاهرة الاحتباس الحراري. مصادره عديدة لأن كل نظام بيئي يلعب دورًا في انبعاثه. يستخدم مجمع سونطراك GL2 / Z أحادي الإيثانول أمين (MEA) في إزالة الكربون كعامل ماص لإزالة ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغاز الطبيعي ، وإطلاقه في الغلاف الجوي. بالإضافة إلى إزالة الكربون ، توجد أيضًا غازات مداخل من الغلايات التي تحتوي على كميات كبيرة ، وتلك الناتجة عن المشاعل. يتألف العمل المنجز في مجمع GL2 / Z من تحديد كمية انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من منشآت مختلفة ، وهي: الغلايات ، وعمود الامتصاص لإزالة الكربون من شركة طيران الشرق الأوسط ، والمشاعل. على مستوى كل منشأة ، أتاح الحساب معرفة الكمية الدقيقة للغاز المنتج والانبعاث. هذه الكميات كبيرة جدًا بحيث لا يمكن إطلاقها في الغلاف الجوي ؛ هذا هو السبب في أنه من الضروري إيجاد حلول لهذه الانبعاثات للتغلب على هذه المشكلة ، يتمثل الحل المقترح في النقاط وتخزين ثاني أكسيد الكربون جيولوجيًا من خلال تقنيات الالتقاط الثلاث. على مستوى مجمع GL2 / Z ، يُقترح استخدام النقاط ما بعد الاحتراق لثاني أكسيد الكربون المنبعث من الغلايات وقسم إزالة الكربون والمشاعل ، وهذا يتطلب تركيب وحدة استعادة واستعادة ثاني أكسيد الكربون.

INTRODUCTION :

L'Algérie, concerné par le problème de pollution et le changement climatique est parmi Les pays qui ont ratifié les conventions internationales est ont mis des seuils de rejets à travers les différents décrets notamment le décret exécutive n°03_410 du 5 novembre 2003 fixant les seuils limites des émissions des fumées et des gaz toxiques quant à la surveillance de la Qualité de l'air.

La connaissance des quantités de certaines substances rejetées dans l'atmosphère est une étape nécessaire et fondamentale à toute politique de protection de l'environnement qui s'intéresse aux problèmes actuels comme l'acidification de dégradation de la qualité de l'air, le réchauffement global et les modifications du climat l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, etc.

Les secteurs qui émettent beaucoup de CO₂ sont essentiellement le raffinage ; la pétrochimie, la transformation du pétrole et du gaz, etc., ces secteurs sont détenus en Algérie Par la société nationale de transformation et commercialisations des hydrocarbures (group SONATRACH).

Le complexe GL2Z qui fait partie du groupe SONATRACH situé dans le pôle industriel d'Arzew est une source d'émission est chronique mais peut être accidentel, qui se Traduirait par un rejet très important de gaz à effet de serre principalement le dioxyde de Carbone (CO₂).

Le complexe de liquéfaction du gaz naturel GL2 /Z est conçu pour transformer 10.5Milliards de mètre cube de l'état gazeux à l'état liquide. Ce gaz contient une quantité Considérable de CO₂. Le passage des températures ambiantes aux températures cryogéniques(-162°C) pour sa liquéfaction impose la nécessité d'éliminer ce gaz carbonique de la Composition initiale afin d'éviter le bouchage des conduites dans les sections froides du Procès par sa congélation (CO₂). L'élimination du gaz carbonique s'effectue dans les sections traitement gaz de chaque train de production par traitement chimique en utilisant un produit chimique appelé Mono Ethanol Amine (MEA).

Notre étude consiste à proposer un procédé de récupération du gaz carbonique éventé en Continu vers l'atmosphère et de dimensionner les principaux équipements composant ce Procédé tel que : Lignes d'acheminement vers les utilisateurs, Échangeur de chaleur, Ballon de séparation, Compresseur de récupération. Le Dioxyde de Carbone est un gaz à effet de

serre (GES), C'est un élément majeur parmi les autres gaz à effet de serre. Il Pollue l'environnement et il provoque le réchauffement de la terre.

Les points qui ont motivé notre étude sur la récupération du gaz carbonique au niveau du complexe GL2/Z est que ce gaz est utilisé en grande quantité dans la zone industrielle d'Arzew comme matière première et que la commercialisation des quantités récupérées se fait sans contraintes

La récupération du CO₂ permet d'atteindre deux principaux objectifs :

- sa valorisation, en l'exportant aux usines situées dans une même zone que notre complexe pour être utilisé comme matière première dans la synthèse de leurs produits finaux.
- La protection de l'environnement par la réduction des émissions de ce gaz qui contribue à l'effet de serre.

Le travail est réparti en trois parties :

- Après une introduction générale, une première partie porte sur une présentation du complexe GL2Z et des généralités sur les procédés de liquéfaction du GN au sein du GNL2/Z, source et impact des émissions du CO₂ sur l'environnement et les procédés de captage du CO₂
- Une deuxième partie est consacrée aux calculs des quantités totales du CO₂ rejetée par le complexe GL2/Z

Enfin, nous terminons par une conclusion dans laquelle les résultats trouvés sont récapitulés.

I.1.Historique

L'Algérie est un pays riche en ressources naturelles tels que le pétrole et le gaz. La part du gaz naturel n'a pas cessé de croître dans le flux de production d'hydrocarbures de SONATRACH, ceci s'est accompagné de la réalisation d'infrastructures importantes pour la mise à disposition du gaz naturel. Les prévisions optimistes de la demande ont incité SONATRACH à ajouter de nouvelles capacités de liquéfaction dont le complexe GL2/Z.

SONATRACH qui occupe une place prépondérante dans l'industrie du gaz aussi bien national qu'internationale continue à mettre en place les investissements nécessaires pour optimiser sa production, et ainsi faire plus de bénéfice et plus de croissance de l'économie de notre pays.

Le complexe GL2/Z est la dernière usine de liquéfaction où l'engineering a été assuré par la société américaine d'engineering « PULLMAN KELLOGG » qui a été chargée des études de la construction et du démarrage des différentes installations.

Le complexe GL2/Z a connu une évolution importante :

- Le 09 février 1976 : Signature du contrat.
- Le 15 avril 1976 : Le lancement des travaux d'engineerings.
- Le 15 mars 1977 : Ouverture du chantier.
- Le 21 février 1978 : Pose de la première pierre.
- Le 1 juillet 1978 : le début du montage mécanique.
- Le 20 janvier 1981 : Première production du GNL.
- Le 29 janvier 1981 : Première expédition du GNL.

Date de la mise en service de principales zones :

✚ Utilités :

- ✓ Le 26 novembre 1980 : Achèvement mécanique
- ✓ Le 27 juillet 1980 : Production vapeur/ électricité
- ✓ Le 25 janvier 1981 : Production des autres utilités

✚ Zone de procédé (train 100)

- ✓ Le 14 octobre 1980 : Achèvement mécanique
- ✓ Le 11 février 1981 : 1ere production de GNL

✚ Stockage et chargement

- ✓ Le 20 juillet 1981 : 1^{ere} expédition GNL
- ✓ Le 11 septembre 1981 : Production cumulée GNL 1 533 000 m³

I.2. Situation géographique

Le complexe de liquéfaction de gaz naturel GL2/Z est situé à BATHIOUA, implanté en bordure de la mer et à une distance de 40 Km à l'ouest d'Oran. Il s'étend sur une superficie de 72 hectares au sein de la zone industrielle d'Arzew.

Il est limitrophe du complexe GP1/Z et KAHRAMA à l'Est et le complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1/Z à l'Ouest, au Nord par la mer et au sud par le village de BETHIOUA.

Son emplacement au bord de la mer lui permet d'utiliser son eau comme source d'alimentation pour le refroidissement des équipements, la production d'eau distillé et la lutte anti-incendie, et facilite le transport du GNL à partir des méthaniers.

I.3. Description de l'usine

L'usine de liquéfaction du gaz naturel GL2/Z comprend six trains (06) de liquéfaction identiques indépendants, fonctionnant en parallèle d'une capacité de production de $9000\text{m}^3 / \text{j}$ conçus pour un fonctionnement autonome.

Le complexe GL2/Z a pour mission de liquéfier le gaz naturel provenant des champs gaziers de HASSI R'MEL, avec possibilité d'extraction du propane, du butane et de la gazoline, en vue de faciliter son transport et son stockage (réduction d'environ 600 fois son volume initial).

Ce gaz est acheminé par pipeline vers l'usine; il est traité, liquéfié et stocké, ensuite le gaz naturel liquéfié (GNL) est pompé et chargé dans des méthaniers spécialement conçu pour le transport cryogénique pour être expédié vers l'étranger.

Le gaz naturel d'alimentation est également distribué à chacun des trains par un réseau de canalisation. Le débit de gaz naturel distribué est d'environ $1.500.000 \text{ m}^3/\text{h}$ pour les 6 trains soit en moyenne $250.000 \text{ m}^3/\text{h} / \text{train}$. Dans chaque train, le gaz naturel d'alimentation est traité pour éliminer le gaz carbonique et la vapeur d'eau ; il est ensuite réfrigère et distille pour en extraire les hydrocarbures lourds et il est finalement liquéfié à -162°C .

On récupère également du propane 380 000 tonnes/an, du butane 330 000 tonnes/an, de la gazoline 200 000 tonnes/an et de l'hélium. Qui est conditionné est fourni à HELIOS.

Une fois liquéfié, le gaz naturel est envoyé par pompage dans 3 réservoirs de stockage sous une pression de 1,03 bar absolu, qui desservent l'ensemble des 6 trains. Il est prévu que chaque train de liquéfaction produira en moyen $8.400 \text{ m}^3/\text{h}$ de GNL soit l'équivalent de 47.000.000 Thermie [1].

Les réservoirs de stockage ont une capacité de 100.000 m³ chacun et la capacité totale de stockage correspond à la production de 5 journées.

Chaque méthanier a une capacité moyenne de 125.000m³ et lorsque ces réservoirs sont préparés, le chargement s'effectue en 12h30' à raison d'un débit de chargement de 1.000m³ GNL/h.

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

- la zone des utilités
- La zone des procédés.
- La zone terminale de stockage, d'expédition et de chargement :

I.3.1 Zone des utilités :

Le complexe GL2/Z fonctionne en totale autonomie et ceci en produisant sur site au niveau de ce qu'on appelle la zone utilités, ses ressources nécessaires en eaux, vapeurs et électricité.

Les différentes sources existantes sont :

I.3.1.1 Source d'énergie :

La vapeur d'eau est produite par 3 chaudières à haute pression (62 Bars) et une chaudière basse pression (17 Bars). Cette vapeur sert à entraîner les équipements, tels que les turbogénérateurs (03) et la turbopompe d'alimentation en eau de chaudière.

I.3.1.2 Source de refroidissement :

Le complexe dispose de six pompes d'eau de mer de puissance de 17500 m³/h qui assurent la distribution en eau de mer au niveau des trains de liquéfaction et des utilités pour le refroidissement dans les échangeurs.

I.3.1.3 Production d'électricité :

L'électricité est produite par trois (03) 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.3.1.4 Unité de dessalement :

Cinq unités de dessalement sont implantées au sein du complexe d'une capacité de 45m³/h chacun permettant la production de l'eau distillée à assurer d'une manière continue l'alimentation des chaudières.

I.3.1.5 Production d'air comprimé :

Pour des raisons de sécurité, 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.3.2 Zone des Procédés

La zone de procédé est constituée de six trains identiques fonctionnant en parallèle. Ils sont alimentés de GN qui provient de Hassi-R'mel à une pression de 46 bars et à des températures ambiantes. Chaque train est composé de sections suivantes :

- section traitement de gaz.
- section séparation.
- section liquéfaction.
- section compression.
- section fractionnement.

I.3.3 Zone stockage et chargement :

Cette zone contient :

- ✓ Trois (03) réservoirs de GNL d'une capacité de 100000 m³,
- ✓ Deux (02) réservoirs de gazoline d'une capacité de 14500 m³.
- ✓ Une station de pompage de GNL d'une capacité de 10000 m³/h.
- ✓ Deux (02) quais d'expédition avec dix (08) bras de charge

I.3.3.1. Stockage du GNL

Trois réservoirs de GNL assurent le stockage de la totalité de la production de GNL des six trains pendant cinq jours environ. Les réservoirs, d'une capacité unitaire de 100.000 m³ permettent de stocker le GNL à la pression atmosphérique de 1,03 bar et à une température de -162°C.

Lors du remplissage des réservoirs, une certaine quantité du produit se vaporise. Les échanges de chaleur avec l'extérieur dus à conduction sont aussi la cause de vaporisation du

produit. Les vapeurs de stockage sont recueillies et comprimées par les compresseurs de vapeur de stockage avant d'être renvoyées dans le collecteur principal de gaz combustible.

Le GNL peut être transféré d'un réservoir à l'autre lorsqu'on ne charge pas, en utilisant la pompe de transfert.

I.3.3.2.Chargement du Gaz Naturel Liquéfié

Le chargement du GNL à bord du méthanier d'une capacité moyenne de 125.000 m³, peut s'effectuer en 12h30 lorsque le navire est déjà froid, à raison d'un débit de chargement de 10.000 m³/h assuré par les cinq pompes de chargement; le produit est déversé dans le navire par l'intermédiaire de huit (8) bras de chargement dont quatre sont en service.

Le chargement est précédé du refroidissement de la canalisation de la zone de chargement qui est réalisé par la vaporisation d'une faible quantité de GNL le long des conduites. Pendant le chargement, une partie de GNL se vaporise, ces vapeurs sont renvoyées vers la zone de stockage par les compresseurs de vapeur de retour où elles se mélangent aux vapeurs de stockage avant d'être acheminées vers le réseau de gaz combustible.

Dans les périodes sans chargement, le maintien en températures des conduites est assuré par une circulation de GNL au moyen d'une pompe.

I.4.Procédé de liquéfaction de gaz naturel

I.4. 1. Section de traitement de gaz

Cette section est constituée de trois sous sections :

I.4.1.1 Démercurisation

L'unité de démercurisation est installée en amont de la section décarbonatation du gaz naturel. Elle est conçue pour réduire la concentration de mercure dans le gaz d'alimentation de 100 micros gr/Nm³ à 0.01 micro gr/Nm³.

I.4.1.2 Décarbonatation (Elimination du CO₂)

Le gaz brut d'alimentation passe tout d'abord dans le ballon séparateur GN alimentation où tous les hydrocarbures liquides en suspension dans le gaz naturel sont récupérés et éliminés vers le système de rejet liquide, afin de ne pas contaminer la MEA et ce qui provoquerait la formation d'une grande quantité de mousse.

Puis le Gaz Naturel est chauffé à 38°C dans le préchauffeur de Gaz Naturel d'alimentation avant de pénétrer dans la colonne d'absorption du CO₂ par le bas ou, contre-courant de la solution de MEA pauvre, il sera débarrassé du CO₂ jusqu'à une teneur inférieure

à 70ppm en tête de colonne. Puis le GN est dirigé ensuite vers la section de déshydratation. La solution de la MEA, pénétrant au niveau du 5^{ème} plateau de l'absorbeur s'enrichit en CO₂ au fur et à mesure qu'elle descend jusqu'à 29 plateaux de l'absorbeur et quitte le fond de la colonne sous forme de solution de MEA riche pour se diriger vers la colonne de régénération de MEA ou décarbonatation afin d'y être régénérée.

a-1) Régénération de la solution MEA

La solution MEA riche, après être passés dans le ballon séparateur des hydrocarbures, est tout d'abord chauffé à 102°C par échange thermique avec la solution de MEA pauvre régénérée et est ensuite introduite en tête de tour de régénération fonctionnant normalement à 110°C et à 1bars. En fond de la colonne. La solution de MEA riche en CO₂ descend dans la colonne. Pour y être épurée par les gaz ascendants provenant de l'évaporation du produit de fond le liquide solution MEA en fond de colonne s'appauvrit en CO₂ et renvoyée à l'absorbeur après avoir réchauffé la MEA riche et être refroidie à 38°C. Les vapeurs de tête du régénérateur; la vapeur de tête condensée est récupérée au fond du ballon de reflux du régénérateur et est ensuite réinjectée en tête de la tour de régénération. Les gaz incondensables essentiellement CO₂ sont évacués à l'atmosphère.

I.4.1.3 Déshydratation

Le gaz naturel décarbonaté est saturé en eau, d'où la nécessité d'éliminer complètement les traces d'eau pour obtenir à la sortie, une teneur inférieure à 1 ppm. Le gaz pénètre à une pression de 41 bars dans deux sécheurs en service et traverse les tamis moléculaires en perdant progressivement son humidité. Un troisième sécheur étant en régénération.

I.4.2. Section séparation

Le refroidissement du gaz naturel traité s'effectue par l'intermédiaire de quatre chillers se refroidis par du propane atteignant ainsi une température -33°C.

Le passage du gaz dans l'inter – changeur permet un deuxième refroidissement jusqu'à une température de -47°C.

Le gaz est ensuite injecté dans la tour de lavage au niveau du 10^{ème} plateau, où les produits lourds sont séparés par distillation du gaz naturel (éthane, propane, butane, ...).

I.4. 3. Section liquéfaction

I.4.3.1 Liquéfaction du gaz naturel :

Le gaz naturel riche en constituants légers provenant du ballon de reflux est alors prêt à être liquéfié à une température de -162°C , permettant son transport en méthanier et à une pression proche de la pression atmosphérique (1,03b absolu).

Le gaz pénètre à -33°C dans le faisceau central de l'échangeur principal dans lequel, il circule de bas en haut sous l'effet de sa pression³⁷, 4beff, et sort sous forme liquide (GNL) à une pression de 24beff et à -148°C .

La liquéfaction du GN se fait en deux temps. Tout d'abord le GN pénétrant dans le faisceau central de l'échangeur principal par échange thermique avec le MCR(r) vapeur condensé et se dirige vers l'échangeur GN/gaz de rejet à -148°C

I.4.3.2 Elimination de l'azote du GNL

Le GNL sortant en tête de l'échangeur principal passe dans l'échangeur de rejets et se combine à la sortie avec un courant de propane et d'éthane en provenance du fractionnement, refroidi dans l'échangeur de rejets.

Ce mélange liquide/gaz est détendu dans le ballon de gaz combustible haute pression et le flash a pour effet de libérer l'azote dissout dans la phase liquide du GNL, qui est alors acheminé vers le réseau gaz combustible de procédé haute pression. Le réseau liquide du ballon de détente d'azote sert d'agent réchauffant au rebouilleur du désazoter et par échange thermique avec le liquide de fond de la colonne se refroidit à -159°C avant de pénétrer en tête de la tour. Les composants légers essentiellement l'azote sont extraits par vaporisation et montent le long de la colonne ou ils rencontrent à contre-courant au passage des plateaux le liquide injecté en tête.

La phase liquide GNL se débarrasse de l'azote et récupérée au fond du désazoteur, où elle est acheminée vers le stockage par les pompes de produit GNL.

Les vapeurs de tête du désazoteur se dirigent l'échangeur de rejet ou elles se réchauffent au contact du MCR (r); du GNL sortant de l'échangeur principal, des réinjections éthane et propane provenant du fractionnement et du gaz combustible de procédé libéré dans le ballon de gaz combustible haut pression.

I.4. 4. Section compression

I.4.4.1 Boucle de propane

La boucle de propane est une boucle à quatre étages qui permet de refroidir le gaz naturel et le MCR (multi composant réfrigérant) par paliers successifs, le propane, après compression et condensation, subit quatre niveaux de détentes refroidissante, lui permettant d'échanger ses frigories avec le MCR.

I.4.4.2 Boucle MCR (Système de réfrigérant mixte)

La boucle MCR constitue la deuxième boucle frigorigène de l'unité de liquéfaction. Le fluide frigorigène est un mélange d'azote, de méthane, d'éthane et de propane. Ce dernier circule dans une boucle fermée à deux compresseurs MRC (I) et MCR (II) entraînés par chacun par une turbine.

Ce tableau regroupe les principaux constituants et les pourcentages molaires du MCR

Tableau I.1 : les constituants et les pourcentages molaire du MCR

constituant	Pourcentage molaire
Azote	3,2 %
Méthane	40,2 %
Ethane	54,4 %
Propane	2,2 %

I.4.5. Section fractionnement

L'unité de fractionnement est alimentée par les produits de fond de la tour de lavage situé en amont de l'échangeur principal [2].

La section est composée de trois colonnes :

I.4.5.1 Le dé-méthaniser

Il permet d'extraire l'éthane en haut de la colonne pour être réinjecter dans le GNL. L'excès est utilisé comme combustible dans le système fuel gaz. Les produits de fond du méthaniser sont acheminés vers la colonne de dé-propranisation.

I.4.5.2 Le dé-propaniseur

Il constitue la 2^{ème} 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 est sert comme appoint dans la boucle Multi Composant Réfringent et propane réfrigérant .Les produits de fond sont acheminés vers la colonne de débutanisation.

I.4.5.3 Le dé-butaniseur

Il constitue la 3^{ème} tour de fractionnement. Le produit de tête de colonne est du butane à (98.8%) qui est envoyé vers GP/Z pour être commercialisé ou réinjecté dans le GNL. Le produit de fond de la tour constitue la gazoline qui est envoyé vers stockage.

La Figure I.1 représente un Schéma d'un train de procédé :

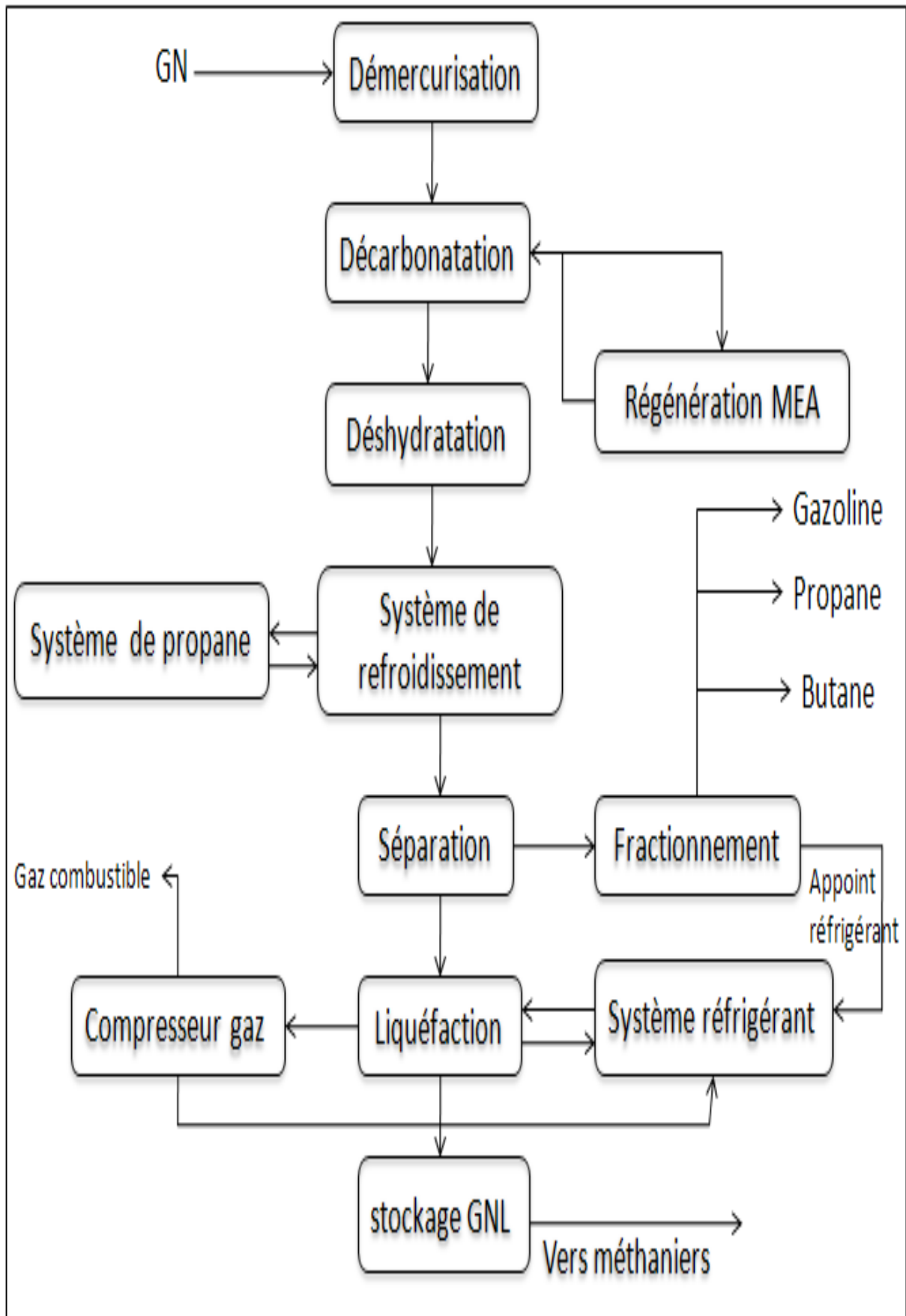


Figure I.1 : Schéma d'un train de procédé

II.1 Définition du CO₂

Le dioxyde de carbone, communément appelé gaz carbonique ou anhydride carbonique, est un composé chimique composé d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène et dont la formule brute est CO₂. C'est donc un oxyde de carbone. Cette molécule linéaire a pour formule développée : O=C=O.

Dans les conditions normales de température et de pression, le dioxyde de carbone est un gaz incolore, inodore et à la saveur piquante.

Il est présent dans l'atmosphère dans une proportion approximativement égale à 0.0375 % en volume, au début du XXI^e siècle soit 375 ppm (parties par million en volume). En 2009, cette proportion a atteint 386 ppm.

Il est produit notamment lors de la fermentation aérobie ou de la combustion de composés organique, et lors de la respiration des animaux ainsi que des végétaux. Pour ces derniers, la photosynthèse absorbe beaucoup plus de CO₂ que leur respiration n'en produit [9].

II.2 Caractéristiques du dioxyde de carbone

À pression atmosphérique, il se sublime à -78.5 °C (passage de l'état solide à l'état gazeux) mais ne fond pas (passage de l'état solide à l'état liquide)

II.2.1. Gaz à effet de serre :

L'effet de serre est absolument indispensable à la vie sur terre. En effet, la planète reçoit l'essentiel de son énergie des rayonnements solaires. Une part de cette énergie est directement absorbée. Une autre, réfléchiée par la surface terrestre, est renvoyée sous la forme d'un rayonnement infrarouge vers l'espace.

Grace aux gaz à effet de serre présents naturellement dans l'atmosphère (principalement la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone et le méthane), la chaleur du soleil est partiellement retenue et contribue à maintenir une température moyenne de 15°C propice à la vie sur Terre. Mais du fait des activités humaines, les concentrations de dioxyde de carbone (combustion des énergies fossiles) et de méthane (élevage des ruminants, rizières, etc.) ne cessent d'augmenter.

Le CO₂ est le deuxième gaz à effet de serre le plus important dans l'atmosphère après la vapeur d'eau. A ce titre, la réduction des émissions anthropiques est visée par le protocole de Kyoto, sa séquestration géologique à long terme fait l'objet de recherches en cours.

II.3 utilisations de dioxyde de carbone

II.3.1. Sous forme gazeuse :

Le CO₂ a beaucoup d'utilisations, dont :

- L'extinction des feux : beaucoup de Datacenter (salles de serveurs

D'ordinateurs) ou de salles des archives sont équipées d'un système qui, en

Cas d'incendie, remplit la salle de CO₂ 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, associé 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 CO₂ dans les grands abattoirs de porcs afin de

Les insensibiliser avant de les saigner ; il a été utilisé pour la conservation

De la viande.

II.3.2. 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 CO₂ 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, le CO₂ porte la dénomination R744 à pression atmosphérique, le dioxyde de carbone n'est jamais sous forme liquide, il passe directement de la forme solide à la forme gazeuse (sublimation).

II.3.3. Sous forme solide :

Le dioxyde de carbone sous forme solide a de nombreuses appellations :

« Glace carbonique », « neige carbonique », « carboglace », « glace sèche ». Il est issu de la solidification du CO₂ liquide. On obtient de la neige carbonique qui est ensuite comprimée pour obtenir de la glace carbonique.

Cette glace carbonique se sublime en ne laissant aucun résidu et consomme

Une grande quantité de chaleur (150 cal/kg, soit 628 J/kg, à - 78,5 °C). On lui a

Donc rapidement trouvé de multiples utilisations en tant que réfrigérant

Il est commercialisé sous différentes présentations selon son usage :

- En granules (de la taille d'un grain de riz de 3 mm de diamètre) ;

Essentiellement pour le nettoyage et le décapage cryogénique

- En bâtonnets (d'une longueur d'environ 16 mm) : pour la conservation, le Transport
- Des produits sous température dirigée (produits pharmaceutiques Transport de surgelés, transport d'échantillons, etc.) ;
- Pour la recherche fondamentale ou appliquée
- Pour la vinification : il ralentit la fermentation et évite l'oxydation ;
- En plaquette ou en blocs : pour le ravitaillement aérien (cat ring), les Traiteurs, les pompes funèbres, etc.

II.4. Généralités sur les sources d'émission du CO₂

II.4.1. Introduction :

Depuis la découverte du feu, l'énergie assure le développement de l'humanité. Mais l'utilisation des énergies fossiles, depuis le début de l'ère industrielle, menace l'équilibre climatique de la planète.

L'énergie, c'est la vie incontournable dans l'industrie, les transports et l'habitat, elle réchauffe notre nourriture, nous éclaire, nous permet de produire et de travailler. Mieux encore, elle améliore nos conditions de vie. Dès le début de son histoire, l'homme a subvenu à des nombreux besoins par une maîtrise croissante de l'énergie. Les énergies issues de l'exploitation du sous-sol lui deviennent rapidement indispensables. A commencer, au XVIII^e siècle, par le charbon, qui jouera un rôle capital dans le lancement de la révolution industrielle. Au siècle suivant, c'est l'exploitation du pétrole qui révolutionne à son tour la vie quotidienne.

Le gaz naturel, puis l'uranium pour produire l'énergie nucléaire, marquent quant à eux le XX^e siècle. Peu à peu, l'éclairage se généralise, les moyens de transport se diversifient, la production industrielle s'accroît. En un mot, l'énergie devient synonyme de bien-être de confort.

La concentration excessive de CO₂ modifie l'atmosphère. Revers de la médaille, l'exploitation des énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) provoque l'émission de gaz à effet de serre. Et plus particulièrement de dioxyde de carbone.

II.4.2. Sources d'émission du CO₂ :

La majorité des émissions de CO₂ viennent de l'utilisation des combustibles fossiles: pétrole, charbon et gaz. Leur combustion dans les installations industrielles et dans les véhicules, notamment, dégage du CO₂.

Dans le monde, les émissions de gaz à effet de serre sont de l'ordre de trente milliards de tonnes équivalent CO₂. Environ 80 % de ces émissions proviennent de l'utilisation de combustibles fossiles.

Les principales sources d'émissions de CO₂ sont les suivantes :

II.4.2.1 Carburant fossiles :

La plus grande source est aujourd'hui constituée par les carburants fossiles alimentant les usines de production d'électricité qui émettent plus d'un tiers des émissions mondiales en CO₂. Ces installations sont d'habitude organisées en grandes unités centralisées, livrant en moyenne 500-1000 MW de puissance électrique. Une centrale à charbon pulvérisé de 1000 MW émet entre 6-8 Mt/an de CO₂. Une centrale à pétrole à monocycle a peu près deux tiers, et une centrale au gaz naturel à cycle combiné, la moitié.

II.4.2.2 Procédés industriels :

Plusieurs procédés industriels produisent des ruisseaux extrêmement concentrés de CO₂ en tant que dérivé. Bien que relativement peu nombreux, ils constituent un bon candidat pour la technologie Captage Carbone Storage (CCS), parce que le CO₂ est capturé relativement facilement. Par exemple, le GN qui pourrait être capturé et emmagasiné. Un autre procédé industriel qui se prête à la séquestration de dioxyde de carbone est la fabrication d'ammoniac.

II.4.2.3 Production d'hydrogène :

Il y aura dans le futur des émissions additionnelles de CO₂ dues de la production d'hydrogène à partir de GN et de charbon. Le CO₂ dérivé produit serait très concentré et les coûts cumulatifs de capture du carbone seraient alors relativement bas. L'hydrogène pourrait être utilisé dans des cellules de carburant et par d'autres technologies, mais il y a des investissements majeurs à faire pour le développement d'un marché de l'hydrogène et d'une infrastructure massive adaptée à ces nouveaux carburants.

II.5 Sources d'émissions du CO₂ au sein du complexe GL2/Z :

Le GNL se compose essentiellement de méthane condensé à l'état liquide (réduction du volume original d'environ en effet, lorsque ce gaz est refroidi à une température d'environ -160°C à la pression atmosphérique.

Le GNL est presque du méthane pur, les autres composants du GN sont donc séparés lors de l'opération de fractionnement

Le CO₂ doit être extrait au préalable car il endommagerait les unités de liquéfaction en s'y solidifiant on le considère généralement comme un rejet atmosphérique

Au cours des différentes étapes de notre stage au niveau de complexe GL2/Z on a constaté que le gaz carbonique est parmi les principaux gaz polluants dans le complexe

Les principales sources d'émissions du CO₂ dans le complexe GL2/Z sont :

- La colonne de régénération du solvant riche en gaz carbonique
- Les chaudières
- Les torches

La figure suivante montre ces principales sources :

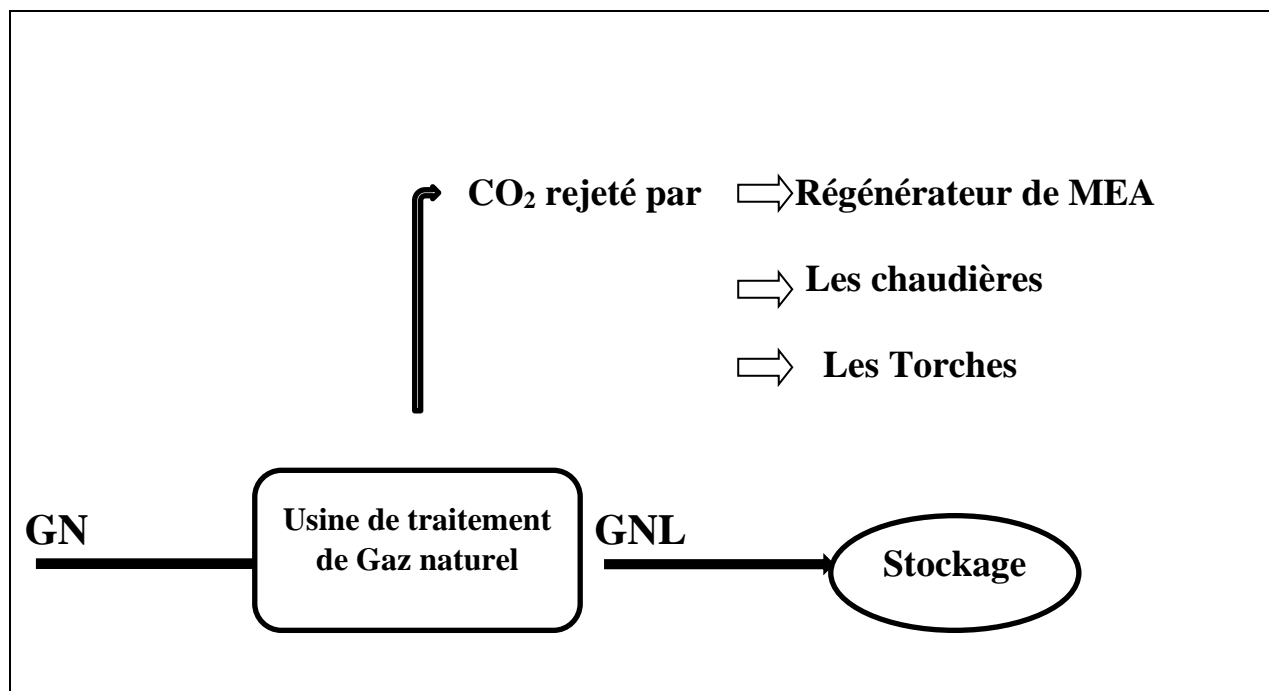


Figure II.2 : Sources d'émissions de CO₂ dans le complexe GL2/Z

II.5.1. Dioxyde de carbone issu de la colonne de régénération du solvant riche :

Le gaz carbonique CO₂ est éliminé du GN selon le procédé classique par absorption / extraction avec une solution d'amine. Cette élimination s'effectue selon la réaction chimique réversible suivante :



MEA Pauvre

MEA Riche

(Entrée de la colonne)

(Sortie de la colonne)

Cette réaction d'absorption est réalisée à haute pression et basse température, tandis que la régénération des amines s'effectue à basse pression et haute température (réaction réversible). On utilise une solution aqueuse à 15% de mono éthanol amine (MEA). Cependant sa capacité d'absorption du CO₂ est relativement faible : l'absorption d'une mole de CO₂ nécessite deux moles d'amine car le carbamate formé par la réaction entre le CO₂ et l'amine est très stable. Un carbamate est un ion contenant un groupement COO⁻. Ce carbamate n'est donc que peu hydrolysé sous forme de bicarbonate.

L'absorption du GN s'effectue au niveau des plateaux par lavage à contre-courant avec la solution aqueuse de MEA régénéré introduite au sommet de la colonne à une température 38 °C et à une pression de 42 bars. La réaction d'absorption du gaz carbonique étant exothermique, une partie de la chaleur de la réaction est évacuée par le gaz décarbonaté qui quitte la colonne à une température de l'ordre de 43°C.

Le flux de solvant riche en CO₂ est pompé et chauffé dans un échangeur régénérateur, avant d'entrer dans la tour de régénération, par le flux de solvant régénéré. Celui-ci doit en effet être refroidi avant d'entrer dans la partie supérieure de la tour d'absorption. En effet, l'absorption est d'autant plus forte que la température est faible, tandis que la régénération du solvant est d'autant plus importante que la température est élevée.

Dans la tour de régénération, la solution riche en CO₂ est vaporisée dans le bouilleur. Les vapeurs d'eau, de MEA et le CO₂ s'élèvent au-dessus de la zone de vaporisation, et arrivent au niveau de la zone de condensation où l'eau et le MEA se condensent, tandis que le CO₂ reste à

l'état gazeux, dissocié du MEA. La solution liquide débarrassée du CO₂ (dans un flash) redescend le long de la tour de régénération, et peut repartir vers l'échangeur croisé pour être refroidie avant son entrée dans la tour d'absorption. Le CO₂ gazeux est rejeté vers l'atmosphère, alors qu'il a plusieurs avantages et utilisations dans différents domaines d'une part, et qui est le principal gaz causé par l'action humaine, ayant des conséquences sur l'effet de serre et les changements climatiques d'autre part.

Le CO₂ rejeté vers l'atmosphère est parmi les principaux polluants dans le complexe GL2/Z. notre étude consiste à estimer les émissions des différentes sources du CO₂. Et la comparaison des procédés de captage.

La figure ci-dessous montre le procédé de la décarbonations et de régénération du MEA riche dans le complexe GL2/Z [2].

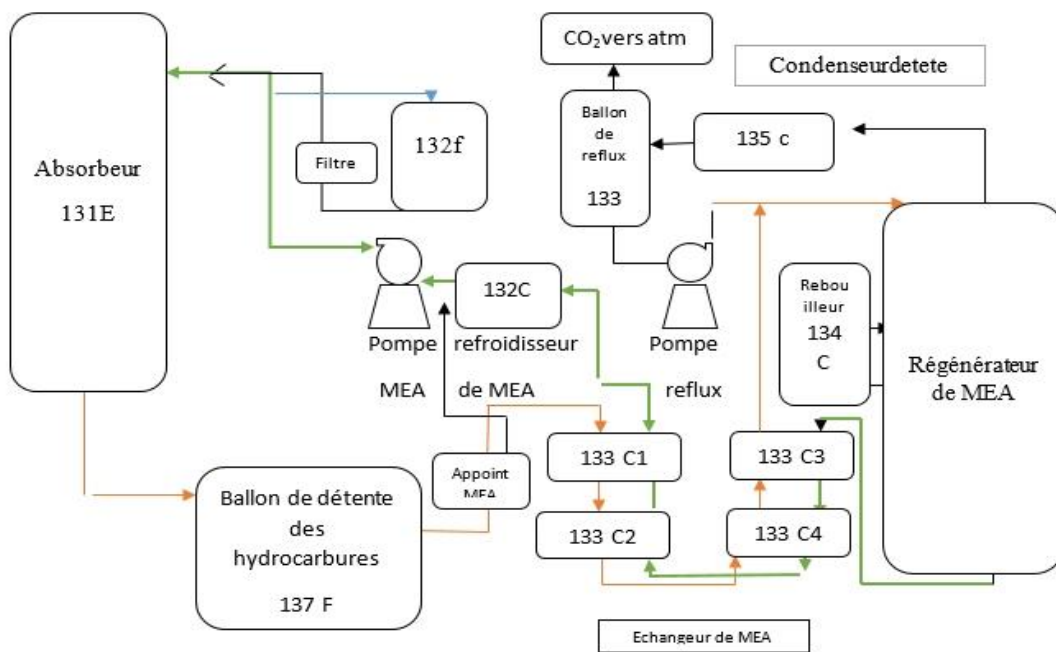


Figure II.3 : la régénération de MEA dans le complexe de GL2/Z

II.5.2. Dioxyde de carbone contenu dans les fumées des chaudières :

On utilise les chaudières pour produire de la vapeur nécessaire au fonctionnement du procédé. La source de chaleur est fournie par un combustible (gaz, fioul, charbon...) ou une résistance électrique.

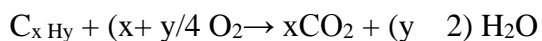
Le complexe GL2/Z est doté de :

- Deux chaudières IHI d'une capacité unitaire de production de 400 t/h 56 t/h
De vapeur Surchauffée à 65 bars et 440 °C ;
- Quatre chaudières MHI d'une capacité unitaire de production de 400 t/h de
Vapeur Surchauffée à 65 bars et 440 °C
- Trois chaudières utilités HP d'une capacité unitaire de production de 91 t/h
De vapeur Surchauffée à 65 bars et 440 °C
- Une chaudière utilité BP d'une capacité unitaire de production de 56 t/h de
Vapeur Surchauffée à 65 bars et 440 °C
- Neuf chaudières procès d'une capacité unitaire de production de 136 t/h Théoriques
De vapeur Surchauffée à 62 bars et 440 °C. La capacité réelle de ces Chaudières est de 455
à 90 t/h.

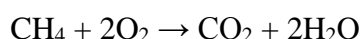
Toutes les chaudières de complexe GL2/Z sont alimentées soit par le gaz naturel, le fuel gaz ou un mélange des deux produits (fuel gaz à 95% environ, et GN brut à 5% environ). La combustion de ce combustible est à l'origine d'émission à l'atmosphère des principaux gaz de combustion, et surtout le CO₂

Réaction de combustion :

Envisageons la combustion complète d'un hydrocarbure de formule chimique fictive C_x H_y dans l'oxygène :



Les gaz dégagés lors de la combustion dans les chaudières sont dues à la réaction suivante.

**II.5.3. Dioxyde de carbone issu des torches :**

Il existe deux manières de torcher les gaz, torcher les gaz durant le fonctionnement normal des unités de productions, ou torcher les gaz suite à un dysfonctionnement d'un équipement ou un déclenchement, délestage et redémarrage, dérèglement des boucles de régulation, ou pendant un arrêt.

Parmi les sources des gaz torchés :

II.5.2.1 Gaz torché à partir de l'absorbeur :

Le GN décarbonaté est envoyé vers la torche chaude lorsque la teneur en CO₂ n'est pas inférieure à < 70 ppm

II.5.2.2 Gaz torché à partir des sécheurs :

Durant la phase de déshydratation, le gaz humide est envoyé vers la torche chaude tant que la teneur en eau est supérieure à 1 ppm

II.5.2.3 Gaz torché à partir de la tour de lavage :

Les gaz de la tour de lavage sont envoyés vers la torche froide lorsque la teneur en gazoline est supérieure à 0.05%. Il est à noter que la tour de lavage constitue la source la plus importante des gaz torchés, environ 60%.

II.5.2.3 Gaz torché à partir de l'échangeur principale et circuit cryogéniques :

Au démarrage et avant la stabilisation de l'unité de liquéfaction, tous les gaz froids de l'échangeur principal sont envoyés vers la torche froide, de même que les gaz utilisés lors des opérations de dégivrage, pré-refroidissement, et de refroidissement final. Les durées de ces opérations sont dépendantes de l'état de préservation de l'échangeur principal.

II.5.2.4 Torché lors de l'opération de fractionnement :

Les quantités torchées sont difficiles à apprécier (dégivrages, démarrages arrêts et stabilisation) Quelque fois, il y a des pertes dues aux non fermetures des vannes de purges des capacités de liquide et les événements des lignes de vapeurs ne se referment pas complètement et il y a donc passage constant de gaz ou de liquide vers la torche.

II.6. Impact sur l'être humain

Les émissions de CO₂ s'accompagnent généralement d'émissions de suies de fumées, de métaux lourds et d'autres polluants ayant des effets sur la plupart des organismes vivants

Contrairement au monoxyde de carbone, le CO₂ n'est pas un toxique à faible dose, mais il tue asphyxie à partir d'un certain seuil et d'une certaine durée d'exposition, ses propriétés chimiques le rendent capable de rapidement traverser de nombreux types de membranes biologiques (il est environ 20 fois plus soluble dans les liquides biologiques de l'organisme humain que l'oxygène), c'est pourquoi il produit de rapides effets sur le système nerveux central.

- A partir de 0.1% (1000ppm) le CO₂ devient un des facteurs d'asthme ou du syndrome des bâtiments cette concentration constitue la valeur maximale admise pour le dimensionnement des systèmes de conditionnement de l'air, à l'intérieur des bâtiments et maisons d'habitation.
- Au-dessus de 0.5% (5000ppm), la valeur maximale d'exposition professionnelle retenue dans la plupart des pays et la valeur maximale admise pour le dimensionnement des appareillages d'air conditionné dans les avions sont dépassées.
- 1.5% ou 15000ppm est la valeur maximale d'exposition professionnelle sur une durée maximale de 10 minutes.
- A partir de 4% de CO₂ dans l'air (4000ppm) le seuil des effets irréversibles sur la santé est atteint (c'est le seuil qui justifie une évacuation immédiate de locaux)
- A partir de 10% et d'une exposition dépassant 10minutes sans une action médicale de réanimation, c'est la mort.

Notre système respiratoire et circulatoire est très sensible au CO₂ une augmentation minime de la concentration en CO₂ de l'air inspire accélère quasi-immédiatement le débit respiratoire qui est normalement de 7litre/minute (sous 0.03% de CO₂ dans l'air inspiré) et qui passe 26litre/minute (pour 5% de CO₂ dans l'air inspiré) [3].

II.7. Impact sur le végétal :

A faible dose, le CO₂ favorise la croissance, mais des expériences en serre et dans un environnement naturel enrichi en CO₂ ont montré que ceci n'était valable que jusqu'à un certain seuil, au-delà duquel la croissance restait stable ou au contraire diminuait, ce seuil varie selon espèces végétales considérées. On ignore de même si cet effet est durable. Après quelque année, des phénomènes d'acidification environnementale pourraient éventuellement agir en sens inverse.

Rappelons aussi que le gaz carbonique est la source fondamentale de la photosynthèse sans laquelle la vie n'est pas possible sur la terre.

L'écologie et les spécialités de la chimie de l'atmosphère ont confirmé dans les années 1990 que l'excès de dioxyde de carbone était une forme de pollution.

II.8. Impact sur le milieu marin :

L'ensemble des océans absorberait un tiers des émissions humaines de CO₂ neuf milliard de tonnes de CO₂ sont passés dans le milieu marin en 2004, et depuis le début de l'ère industrielle, un total de 120 milliards de tonnes de CO₂ issues de la combustion des carburants fossiles

L'apport massif de CO₂ dans les océans entraîne une diminution de PH des eaux, ce qui les rend plus acides. Ceci a pour effet de rendre la formation du carbonate de calcium plus difficile ce qui affecte l'écosystème marin car le carbonate de calcium est l'un des composants essentiels dans la fabrication utilisée par les crustacés et les mollusques pour fabriquer leur exosquelette calcaire cette diminution pourrait selon divers spécialistes varier de 5 à 50% d'ici la fin du XXI^e siècle.

Le PH moyen est passé de 8.2 unités au début de l'ère industrielle à 8.1 unités aujourd'hui ce qui correspond sur une échelle logarithmique à une hausse de l'acidité de 26%. Une diminution supplémentaire de 0.5 unité correspondrait à un doublement de l'acidité.

L'acidification des mers a un effet immédiat sur diverses espèces. Pour les coraux, c'est le blanchiment lié à une diminution de la calcification, mais c'est aussi dans l'océan atlantique nord l'explosion des coccolithophores sous l'effet de la lumière au printemps du fait d'une pression plus élevée en CO₂ plus grave, l'acidification a un effet plus important en eaux

froides que dans les mers chaudes , dans la situation la plus pessimiste , d'ici la fin du siècle la calcification pourrait devenir impossible dans l'océan austral et sur les côtes de l'Antarctique , rendant impossible la fabrication de l'aragonite , une forme de calcaire que l'on trouve dans la coquille des ptéropodes , or ceux-ci constituent la base de l'alimentation du zooplancton, lui-même base de l'alimentation de nombreux poissons et mammifères marins.

Mais, en ce qui concerne ce sujet de l'acidification des océans, un chercheur a récemment reconnu que dans ce domaine : << nous savons peu de choses, nous avons un retard considérable en matière de recherches sur ce sujet >>. Une des conséquences du réchauffement climatique pourrait être l'arrêt ou le ralentissement de la circulation des océans si les courants océaniques s'arrêtent, les couches d'eau superficielle vont se saturer en CO₂ et ne vont plus en capter comme aujourd'hui. pire : la quantité de CO₂ que peut absorber un litre d'eau diminue à mesure que l'eau se réchauffe. Ainsi, du CO₂ pourrait être relâché si les océans ne circulent plus comme aujourd'hui.

III.1 procèdes de captages de CO₂ :

La lutte contre les émissions de gaz à effet de serre a motivé de nombreuses recherches sur les procédés de captages du CO₂, qui constituent la partie la plus pénalisante en terme énergétique de la chaîne captage-transport –stockage.

La séparation du CO₂ des autres constituants présents dans les fumées (azote, argon et oxygène) est nécessaire pour deux raisons majeures :

- Limiter la consommation d'énergie lors de la compression du CO₂ avant le transport
- Limiter la quantité de gaz injecté dans le lieu de stockage

Trois concepts majeurs liés à la récupération du CO₂ se démarquent :

- Le captage du CO₂ en postcombustion à partir des fumées grâce à un solvant chimique
- L'oxy-combustion qui consiste à brûler le combustible avec de l'oxygène séparé préalablement de l'azote de l'air. Ce procédé permet de concentrer le CO₂ dans les fumées et d'en faciliter la récupération.
- La décarbonisation du combustible : conversion en gaz de synthèse (H₂+CO) suivi d'une conversion de CO en CO₂ dans un réacteur shift. Le captage du CO₂ s'effectue en précombustion, c'est-à-dire en amont du système de production d'électricité

La première approche est logiquement de chercher à diminuer la production de CO₂ en diminuant la consommation d'énergie, cette recherche d'une meilleure efficacité énergétique est contrebalancée non seulement le cas échéant par l'accroissement d'activité économique, mais aussi par certaines demandes sociétales (par exemple, de climatisation, de sécurité...).

D'autres moyens consistent à substituer des combustibles (substitution du charbon par du gaz naturel, par du nucléaire, par de la biomasse) et à développer les sources renouvelables.

Le captage de CO₂ à l'émission est une approche fondamentalement différente. Il faut peut-être la considérer comme une « roue de secours », permettant de gagner de temps pour mettre en place des mesures plus en amont. Si toutefois on disposait de solutions de stockage définitives, du moins à très long terme, le statut de cette approche pourrait cesser d'être temporaire. D'où de nombreuses études sur le stockage en aquifère profond, ou dans des gisements de pétrole ou de gaz plus ou moins épuisés.

Piéger le CO₂ à sa source nécessite de le séparer des autres constituants (vapeur d'eau, azote, soufre) issus des processus de combustion industriels d'hydrocarbures, de charbon,

De GN ou de biomasse. Trois technologies paraissent, à l'heure actuelle, les plus propices pour y parvenir. Elles sont développées principalement dans les régions où se déroulent également les expérimentations de stockage géologique : États-Unis, Japon, l'Europe, et même dans notre pays. En Algérie, ces procédés ne sont pas encore appliqués, mais il existe un site de séquestration au niveau de champs gazier de Krechba Aïn Salah, la séquestration de CO₂ est une opération réalisable ; mais coûteuse sur le plan énergétique et financier ce qui influe sur le prix du produit fini GNL.

Ce projet permet d'étudier le stockage dans un aquifère salin, mais cette fois sur terre, tous les ans, 1,2 million de tonnes de CO₂, extraites du gaz naturel puisé sur le site, sont réinjectées dans un aquifère souterrain [8].

III.1.1 captage du CO₂ en postcombustion

Le captage du CO₂ en la postcombustion est une option envisageable à court terme. Le lavage de gaz par un solvant chimique ou physique est utilisé depuis de nombreuses années pour la production d'ammoniac et la purification du gaz naturel. Un procédé de captage postcombustion peut être mis en application sur des centrales existantes sans modification majeure du système de production électrique.

L'objectif du captage du CO₂ en postcombustion est de récupérer le CO₂ présent dans les fumées en sortie de chaudière. Le principe repose sur l'utilisation de deux colonnes : une colonne d'absorption permettant de séparer le CO₂ des autres constituants gazeux à l'aide d'un solvant et une colonne de régénération permettant de récupérer le CO₂ sous forme gazeuse et de régénérer le solvant.

Les solvants chimiques permettant, quant à eux, une bonne séparation du CO₂ même à faible pression partielle. Le CO₂ sous forme gazeuse se solubilise dans le solvant puis réagit avec une autre molécule (amine, carbonate de potassium...).

La réaction chimique permet de limiter la présence du CO₂ sous forme moléculaire dans le solvant et donc de diminuer la pression partielle en CO₂ à l'équilibre. Cela permet une séparation du CO₂ même à faible pression partielle.

L'absorption chimique du CO₂ est basée sur la réversibilité de la réaction chimique par rapport de puissance thermique. Les solvants chimiques sont sélectifs par rapport aux gaz inertes tels que l'azote et permettent de récupérer jusqu'à 95% et plus du CO₂ présent dans les fumées tout en ne contenant que des traces des autres composés gazeux.

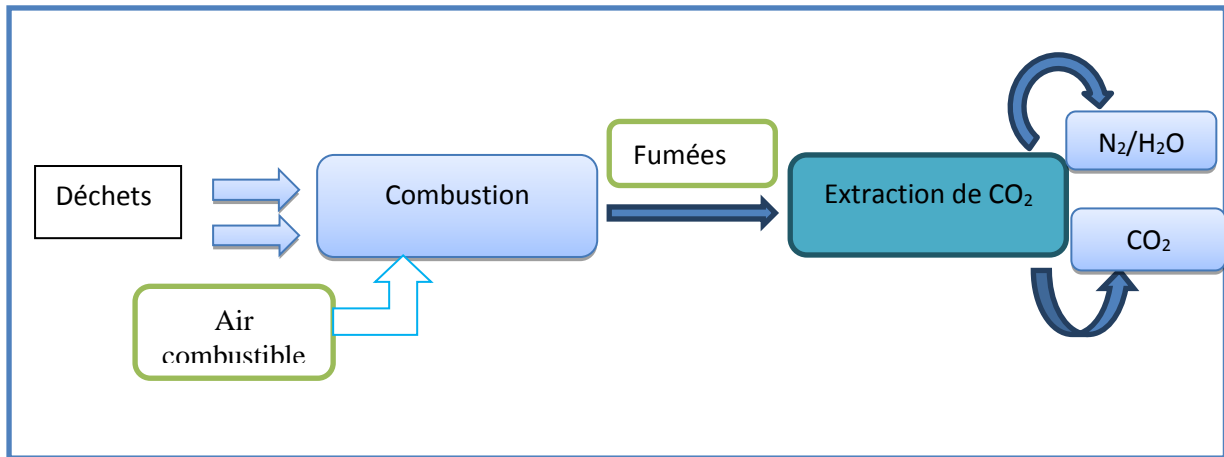


Figure III.4: captage postcombustion

III.1.2. Captage oxy combustion

Quand un carburant fossile (le charbon, le pétrole et le gaz naturel) est brûlé dans l'air, la fraction du CO_2 dans le gaz produit est de 3-15%, en fonction du contenu en élément carbone du carburant et de la quantité d'air supplémentaire nécessaire pour le procédé de combustion.

L'oxy combustion n'est pas à proprement parler un captage du CO_2 , la question est ici réglée à l'entrée et non pas à la sortie, il s'agit de produire une fumée concentrée à 90% de CO_2 en réalisant une combustion à l'oxygène pur, ce dernier sert directement de comburant et il n'y aura plus d'azote à la ((cheminée)).donc, la combustion se fait en une seule étape, dans une atmosphère contenant uniquement de l'oxygène et non pas de l'air (oxygène+ azote) comme dans les procédés classique. la fumée produite est alors très concentrée en CO_2 , comme il est mentionné en haut, ce qui facilite sa récupération, mais il faut encore les purifier et compresser le flux de CO_2 final. Etant donné la grande concentration en CO_2 , un procédé frigorifique fonctionnant aux alentours de 223°K est tout indiqué pour séparer le CO_2 des gaz non-condensables à cette température tels que l'argon, l'oxygène ou encore l'azote.

Cependant, la séparation de l'oxygène de l'air obtenue principalement par la voie cryogénique est coûteuse et consommatrice d'énergie.

L'oxy combustion est particulièrement adaptée à une remise à niveau d'une installation existante.

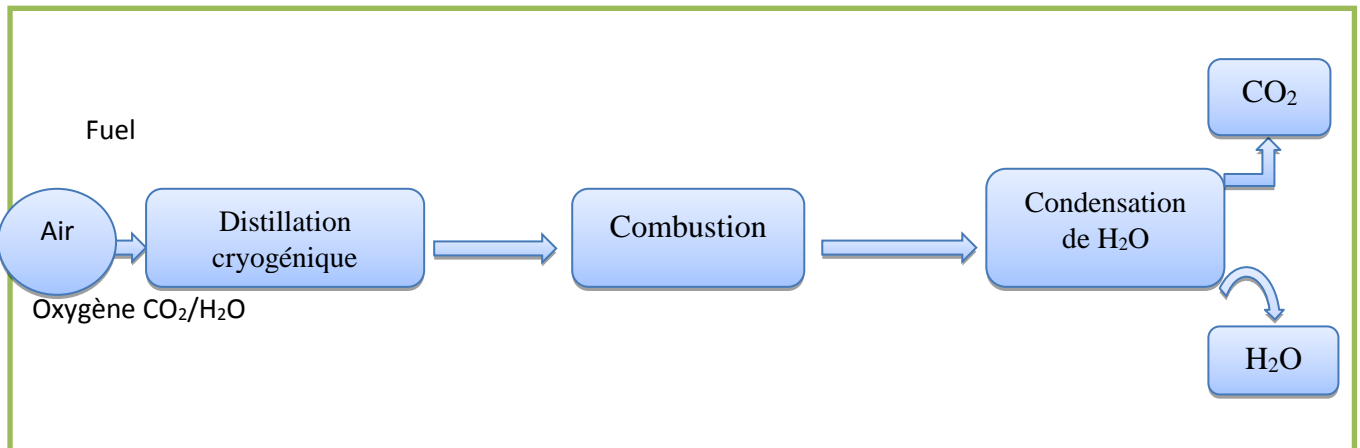


Figure III.5 : captage par oxy combustion

III.1.3. Captage précombustion

Capter le CO_2 avant la combustion offre quelque avantage. Le CO_2 n'est ainsi pas encore dilué dans l'air de combustion donc, des méthodes plus efficaces de séparation peuvent être appliquées.

Le combustible (charbon ou gaz naturel) est converti, avant le système de production d'électricité, en un gaz de synthèse composé de H_2 , CO et CO_2 , il est alors possible de séparer le carbone de l'élément énergétique H_2 en amont de la chambre de combustion.

Dans le cas du charbon la conversion du combustible se fait dans des gazéificateurs où se déroule la combustion partielle du charbon à l'oxygène. On parle alors de centrale cycle combine a gazéification intégrée (IGCC). Dans le cas du gaz naturel, on fait appel à un four de reformage, procédé bien connu dans les usines de production d'ammoniaque et de dihydrogène.

Le reformage du gaz naturel consiste en la conversion des hydrocarbures en gaz de synthèse contenant du CO et du H_2 . Cette opération se déroule dans un four catalytique. Quand le reformage est associé au captage du CO_2 , des réacteurs catalytiques de conversion shift sont utilisés pour convertir en présence d'eau, le CO en CO_2 et H_2 le gaz de synthèse est alors très riche en CO_2 et H_2 . Dans la suite, on assimilera, pour simplifier les annotations, le gaz naturel au méthane, composant majoritaire.

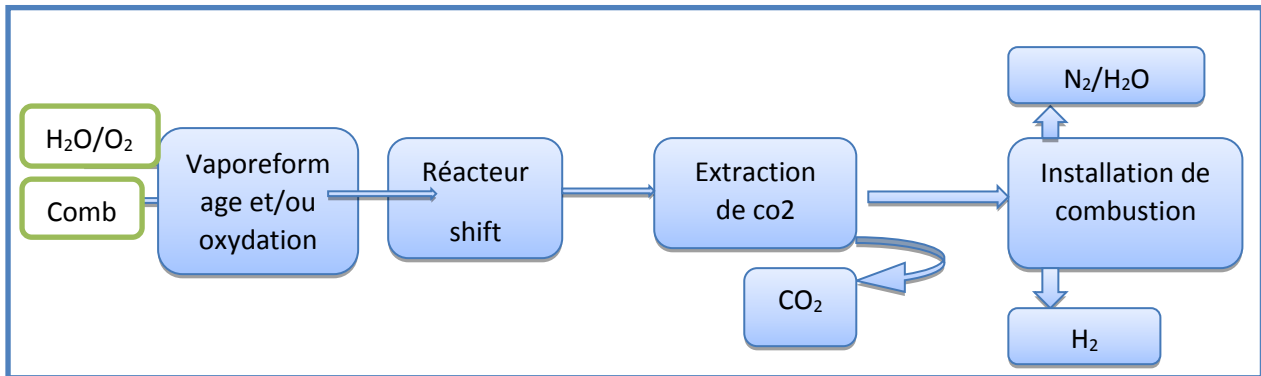


Figure III.6: captage précombustion

III.2 Comparaison des différents procédés du captage

D'un point de vue captage de CO_2 , le procédé de référence dans le domaine de la postcombustion reste indubitablement le lavage des fumées par absorption chimique, réalisé en faisant appel à un solvant liquide du type amine (mono éthanol amine (MEA), méthyle di éthanol amine (MDEA)...), cependant, à la différence du traitement du gaz naturel pour lequel cette opération permet d'éliminer simultanément les composés indésirables pour le transport en gazoduc (CO_2 et H_2S principalement), l'application de ce procédé à la récupération du dioxyde de carbone d'une fumée conduit à un coût prohibitif. Les travaux récents conduisent à un coût de captage de l'ordre de 60\$/tonne CO_2 , considéré comme trop élevé. Traduit en termes énergétiques, le lavage aux amines demande 4 milliard de joules par tonne de CO_2 récupérée, dépenses principalement lors de la régénération du solvant.

D'autres voies que l'absorption chimique ne doit pas être négligée. L'oxy-combustion ne s'applique pas directement au captage du CO_2 mais permet d'en faciliter la récupération, le combustible est directement brûlé avec l'oxygène préalablement séparé de l'air. Cela permet d'augmenter la concentration du CO_2 dans les fumées, augmentant l'efficacité du captage. Étant la grande concentration du CO_2 dans les fumées. Un procédé frigorifique est indiqué pour liquéfier le CO_2 afin de séparer ce composé des autres constituants gazeux (azote, argon, oxygène...). La température minimale du procédé de captage est limitée par le point triple du CO_2 au-delà duquel ce constituant risque de se solidifier. Il est aussi envisageable de capter le CO_2 en amont du système de production électrique. Ce type de captage est appelé captage en précombustion. Le reformage du gaz naturel ou la gazéification du charbon permettent de convertir ces combustibles en un gaz de synthèse riche en CO et H_2 , qui constitue l'élément

énergétique .le CO est converti en CO₂ qui est alors séparé de l'hydrogène avant le système de production électrique.

Les différents procédés de captage ne sont pas équivalents d'un point de vue pureté du flux de CO₂ les solvants chimique ont une excellente capacité de séparation du des autres constituant CO₂.la séparation avec les solvants physique est généralement moins bonne.de même le fonctionnement d'un procédé de séparation frigorifique, utilisable avec l'oxy combustion, devra être adapte pour obtenir la pureté du flux de déCO₂sirée.

III.3 Stockage de CO₂ dans GNL2/Z

Le CO₂ peut être emmagasine principalement dans des gisements d'hydrocarbures des veines de charbon non minières et dans les aquifères salins.il faut noter que le stockage non géologique au fond des océans avait été envisagé, mais n'est plus retenu aujourd'hui, étant donne les risques pour les écosystèmes sous –marin. Ces réservoirs sont abondamment disponibles à travers le monde et les champs de pétrole et gaz sont bien connus. Ces réservoirs pourraient emmagasiner le dioxyde de carbone pour des milliers d'années.

Projet d'in Salah (Krechba) : Au niveau national un seul projet a été réalisé

Le site gazier d'In Salah, en Algérie, permet lui aussi d'étudier le stockage dans un aquifère salin, mais cette fois sur terre : tous les ans, 1.2 million de tonnes de CO₂, extraites du gaz naturel puisé sur le site, sont réinjectées dans un aquifère souterrain.

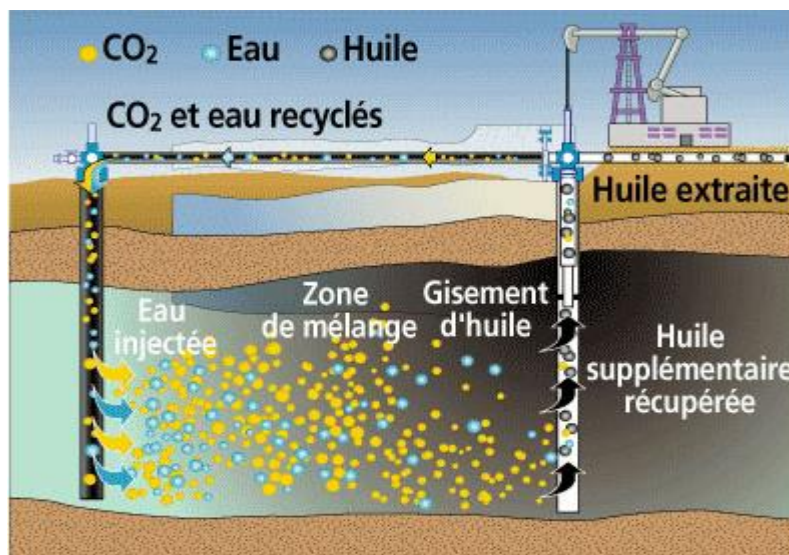


Figure III.7 : Stockage de CO₂ dans des réservoirs de Pétrole et du Gaz.

IV.1. Estimations des émissions de CO₂ dans le complexe du GL2/Z :

Les principales sources de production de CO₂ dans le complexe sont situées au niveau de la section de décarbonatation, les fumées des chaudières et les torches.

IV.1.1 Estimation des quantités de CO₂ émises par la colonne de régénération du MEA :

On peut calculer la quantité de CO₂ émis par la colonne de régénération, dans le cas où les données sur le régénérateur sont disponibles, si non, on peut l'estimer directement d'après un bilan sur l'absorbeur

IV.1.2 Quantité de dioxyde de carbone absorbé par la MEA :

On considère que la quantité de CO₂ rejetée vers l'atmosphère par la colonne de régénération du MEA est équivalente à la quantité de CO₂ absorbé par la MEA, en négligeant la perte de charge et la quantité de CO₂ retenue par la MEA à la sortie de régénérateur. Donc, on peut estimer la quantité de CO₂ rejetés à l'atmosphère en établissant un bilan matière sur l'absorbeur.

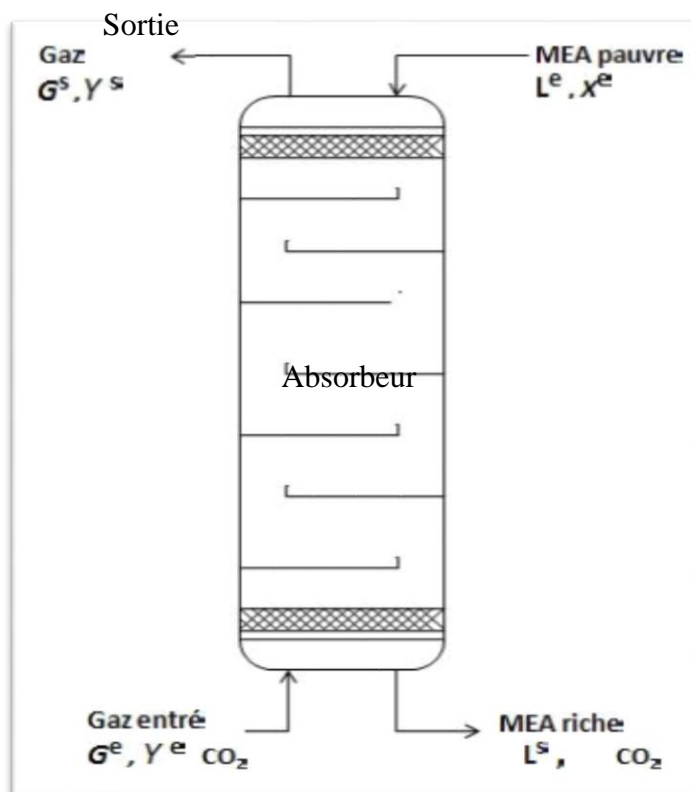


Figure IV. 8 : estimation des quantités de CO₂ émises par le régénérateur

On a pris la valeur moyenne du débit de GN à l'entrée et à la sortie de l'absorbeur pour une meilleure précision. Les résultats d'analyses sont présentés dans le tableau (3).

Tableau IV. 2 : Résultats d'analyse du GN à l'entrée et à la sortie de l'absorbeur.

Date \$ heure de l'échantillonnage	Débit du GN à l'entrée	% Molaire à l'entrée	Teneur du CO ₂ à la sortie
27/12/2021 12 :04	275000	0.00195	2
27/12/2021 12 :05	273000	0.00213	4
27/12/2021 12 :06	272000	0.00204	1
27/12/2021 12 :07	274000	0.00212	6
27/12/2021 12 :08	271000	0.00205	9
Moyenne	273000	0.002058	4.4

Bilan matière de l'absorbeur

On a comme données :

Débit volumique du GN à l'entrée de l'absorbeur : 273000 Nm³ / h.

Débit molaire du GN à l'entrée de l'absorbeur :

$$273000 \text{ Nm}^3/\text{h} / 224 \text{ Nm}^3 / \text{kmol} = 12187.5 \text{ kmol} / \text{hr}$$

Débit de la MEA pauvre à l'entrée de l'absorbeur : 51 m/h.

Teneur en CO₂ à l'entrée de l'absorbeur : 0.2%.

Teneur du GN en CO₂ à la sortie de l'absorbeur : 4.4 ppm.

Le débit du CO₂ absorbé par la MEA est calculé d'après le bilan global suivant :

$$G^e + L^e = G^s + L^s \quad \dots \quad (\text{IV.1})$$

On fait le bilan partiel sur le CO₂ :

$$(G^e * Y_{\text{CO}_2}^e) + (L^e * X_{\text{CO}_2}^e) = (G^s * Y_{\text{CO}_2}^s) + (L^s * X_{\text{CO}_2}^s) \quad \dots \quad (\text{IV.2})$$

On considère que la MEA à l'entrée de l'absorbeur est pure, donc la fraction molaire de CO₂ sera nulle ($X_{\text{CO}_2}^e=0$), donc le débit molaire du CO₂ absorbé sera :

$$G^{\text{absorbé}}_{\text{CO}_2} = (L^s * X_{\text{CO}_2}^s) = (G^e * Y_{\text{CO}_2}^e) - (G^s * Y_{\text{CO}_2}^s) \quad \dots \quad (\text{IV.3})$$

Avec :

L^S : débit molaire du MEA à la sortie de l'absorbeur.

G^e : débit molaire du GN à l'entrée de l'absorbeur.

$Y_{CO_2}^e$: fraction molaire de CO_2 à l'entrée de l'absorbeur.

$G_{CO_2}^{absorbé}$: débit molaire du CO_2 absorbé.

G^S : débit molaire du GN à la sortie de l'absorbeur.

$Y_{CO_2}^S$: fraction molaire de CO_2 à la sortie de l'absorbeur.

On a le débit du GN qui varie en fonction du débit de CO_2 de l'entrée jusqu'à la sortie de l'absorbeur, donc il est nécessaire d'établir un bilan sur les inertes, car leurs débits restent constant au cours de l'opération de l'absorption ; on appelle les inertes tous constituants du GN qui ne présentent pas une affinité chimique vis-à-vis la MEA

$$G_{inerte}^e = G^e * (1 - Y_{CO_2}^e) = G^S * (1 - Y_{CO_2}^S) \dots (IV.4)$$

$$G_{inerte}^e = G^e * (1 - Y_{CO_2}^e) = 12187.5 * (1 - 0.0021) = 12161.906 \text{ Kmol / hr}$$

D'après l'équation (4) on déduit

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

$$G^S = G_{inerte}^e / (1 - Y_{CO_2}^S) \dots (IV.6)$$

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

$$G_{CO_2}^{absorbé} = [(G_{inerte}^e / (1 - Y_{CO_2}^S)] * Y_{CO_2}^e - [(G_{inert}^e / (1 - Y_{CO_2}^S)] * Y_{CO_2}^e \dots (IV.7)$$

$$G_{CO_2}^{absorbé} = (12161,906 / (1 - 0.0021)) * 0.002 - [(12161.906 / (1 - 0.000004)) * 0.000004$$

Le débit de CO_2 absorbé sera :

$$G_{CO_2}^{absorbé} = 25,546 \text{ Kmol / hr}$$

Sachant que M_{CO_2} est de 44kg/kmol, le débit du CO_2 absorbé sera :

$$G_{CO_2}^{absorbé} = 1124.0454 \text{ (Kg/hr) Absorbeur}$$

Sachant que nous avons sic trains le débit total sera :

$$G^{\text{absorbé}}_{\text{co}_2} (\text{total}) = 1124.0454 * 6 = 6744.2724 \text{ (Kg/hr)} = 6.7442 \text{ (t/hr)}$$

IV.1.3 Quantité de dioxyde de carbone émise par le régénérateur de MEA :

Les vapeurs de tête de régénérateur du MEA riche, se composent essentiellement de CO₂, de l'eau et des traces de MEA. Ces vapeurs sont condensées partiellement par 135 C° (échangeur à eau de mer refroidissant à 62°C). À cette température, le CO₂ reste sous forme de vapeur ce qui facilite son évacuation vers l'atmosphère par la PIC 106 (presseur indicateur Controller). Cet indicateur n'indique que la pression.

D'après le design, le débit massique de l'alimentation à l'entrée de régénérateur du MEA riche G_{Alim} est égal à la somme de débit massique de MEA riche mentionné par l'indicateur (616) tel que $G^{\text{ent}}_{\text{MEA}} = 68862 \text{ Kg/hr}$, et le débit du reflux mentionné par l'indicateur (618) tel que

$G_{\text{rêlux}} = 3538 \text{ Kg/hr}$, et le débit d'eau d'appoint en cas ou la concentration de MEA dans le régénérateur augmente.

$$G_{\text{Alim}} = G^{\text{entré}}_{\text{MEA}} + G_{\text{Ref}} + G_{\text{Appoint}}^{\text{r>eau}} \dots \text{(IV.8)}$$

On considère que la concentration de MEA dans le régénérateur n'augmente pas. Donc on peut négliger la quantité d'eau d'appoint pour faciliter les calculs.

$$G_{\text{Alim}} = 68862 + 3538 = 72400 \text{ Kg/hr}$$

La quantité de MEA pauvre à la sortie de régénérateur est mentionnée par l'indicateur (617) tel que $G^{\text{Pauvre}}_{\text{MEA}} = 67163 \text{ Mg/hr}$.

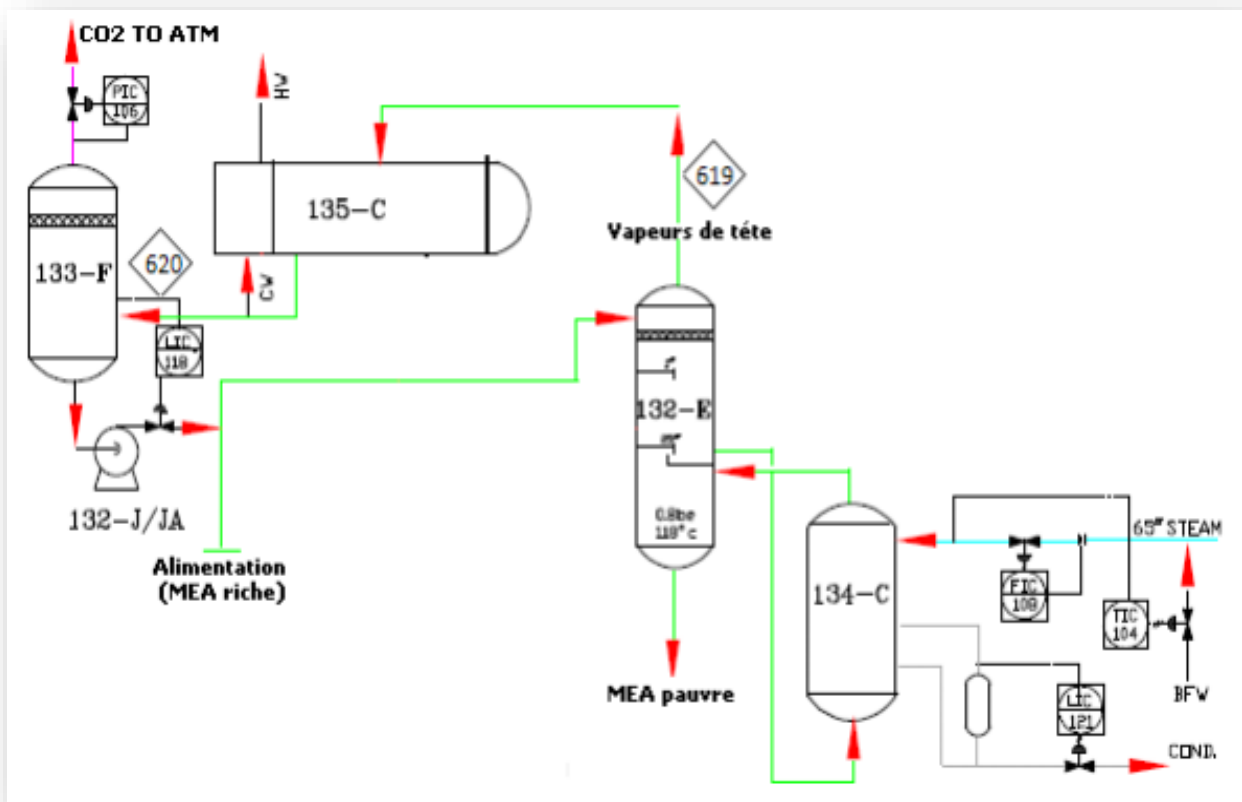


Figure IV.9 : procédé de régénération du MEA au niveau du complexe GL2/Z. [2]

Après avoir négligé la perte de charge, la quantité de CO_2 extraite par le régénérateur est calculée d'après le bilan global suivant :

$$G_{\text{Alim}} = G_{\text{vapeur}}^{\text{tete}} + G_{\text{MEA}}^{\text{pauvre}} \dots \text{(IV.9)}$$

$$G_{\text{vapeur}}^{\text{tete}} = D_{\text{alim}} - Q_{\text{MEA}}^{\text{pauvre}} \dots \text{(IV.10)}$$

Donc la quantité de CO_2 enlevé le régénérateur sera :

$$G_{\text{vapeur}}^{\text{tete}} = 72400 - 67163 = 5237 \text{ Kg /hr}$$

Le débit massique des vapeurs de tête de régénérateur est mentionné par l'indicateur (619), tel que $G_{\text{vapeur}}^{\text{tete}} = 523 \text{ Kg/hr}$ qui vérifie nos calculs.

Le débit massique de ces vapeurs, après leurs condensations partielles par l'échangeur 135 °C, se répartit en deux phases. Celle du liquide et du vapeur ; le débit de liquide condensé est indiqué par (620L), tel que $G_{\text{APR} < \text{conds}} = 353 \text{ Kg/hr}$, et le débit du vapeur est mentionné dans la figure 05 ci-dessous par (620V). Tel que $G_{\text{aprèsconde}}^{\text{v}} = 1699 \text{ Kg/hr}$

La quantité de CO₂ rejetée vers l'atmosphère à travers la PIC 106 sera :

$$G_{\text{CO}_2}^{\text{rejeté}} = G_{\text{aprèscondens}}^{\text{v}} = G_{\text{vapeur}}^{\text{tete}} - G_{\text{aprèscondens}}^{\text{l}} \dots \text{(IV.11)}$$

$$G_{\text{CO}_2}^{\text{rejeté}} = 5237 - 3538 = 1699 \text{ Kg/hr}$$

IV.2. Estimation de la quantité de CO₂ dans les fumées des chaudières :

Le débit mesuré sur une chaudière est considéré comme représentatif de toutes les installations similaires.

Les résultats d'analyses des fumées des chaudières sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.3 : Résultats d'analyse des fumées des chaudières.

Equipement	Nombre	Débit des fumées Kg/hr/chaudière	% Molaire du CO ₂ dans les fumées
Chaudière HP 100 tonnes	3	5653,6496	27.52
Chaudière BP	1	2654,3978	27.5
Chaudière MP 100 tonnes	9	9970,0169	26.84
Chaudière HP 400 tonnes	4	35107,0824	27.58
Chaudière HP 400 tonnes	2	34646,8722	28.203

La quantité du CO₂ dans les fumées de chaque chaudière est calculée d'après la formule suivante :

$$G_{\text{CO}_2}^{\text{fumée}} = Y_{\text{CO}_2}^{\text{fumée}} * G^{\text{Fumée}} \dots \text{(IV.12)}$$

Avec :

$G^{\text{fumée}}_{\text{CO}_2}$: Débit molaire du CO₂ dans les fumées de chaque chaudière.

$Y^{\text{fumée}}_{\text{CO}_2}$: Fraction molaire de CO₂ dans les fumées de chaque chaudière.

$G^{\text{Fumée}}$: Débit des fumées dans chaque chaudière.

Il faut convertir le débit massique en débit molaire.

$$G^{\text{fumée}}_{\text{CO}_2} \text{ (Kmol / hr)} = G^{\text{fumée}}_{\text{CO}_2} \text{ (Kg / hr)} / M_{\text{mélange}} \dots \text{ (IV.13)}$$

Avec :

$M_{\text{mélange}}$; Masse molaire des mélanges contenant dans les fumées

Le tableau suivant montre le résultat de calcul de la masse molaire du mélange :

Tableau IV.5 : Compositions des constituants présents dans les fumées de chaudière 770 UA

Composition des fumées	O ₂	CO ₂	CO	NO ₂
Fraction molaire (Y _i)	0.116	0.2752	0.6085	0.000284
Masse molaire (M _i)	32	44	28	46
Y _i * M _i	3.712	12.1088	17.038	0.015904
Masse molaire de mélange (Kg/mol)	32.871864	/	/	/

A partir de l'équation (12) et (13) on déduit ;

$$G^{\text{fumée}}_{\text{CO}_2} \text{ (Kmol/hr)} = G^{\text{fumée}}_{\text{CO}_2} \text{ (Kg/hr)} / M_{\text{mélange}} * Y^{\text{fumée}}_{\text{CO}_2}$$

Exemple de calcul de débit du CO₂ dans les fumées de chaudières HP 100 tonnes.

$$G^{\text{fumée}}_{\text{CO}_2} \text{ (Kmol / hr)} = (5653.949 / 32.871) * 0.2752 = 47.33 \text{ (Kmol / hr)}$$

Les autres débits sont calculés de la même méthode, et les résultats d'estimation de la quantité de CO₂ dans les fumées des chaudières sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.6 : l'estimation de la quantité totale du CO₂ dans les fumées des chaudières.

Equipement	Nombre	Fumées	Dans les fumées
Chaudières HP 100 tonnes	3	47.335	142.0032
Chaudière BP	1	22.20625	22.20625
Chaudières MP 100 tonnes	9	81.40572	732.65148
Chaudières HP 400tonnes	4	294.544	1178.2176
Chaudières MP 400 tonnes	2	297.25962	594.51924
total	19	742.76039	2669.59777

Le débit total de CO₂ issu des fumées de toutes les chaudières du complexe GL2/Z est égale à :

$$G^{\text{fumée}}_{\text{CO}_2}(\text{total}) = 2669.5977 \text{ (Kmol / hr)} = 117462.299 \text{ (Kg/hr)} = 117.462 \text{ (t/hr)}$$

Le débit total du CO₂ issu de tout l'absorbeur est égal à :

$$G^{\text{absorbé}}_{\text{CO}_2}(\text{total}) = 6744.2724 \text{ (Kg/hr)} = 6.74427 \text{ (t/hr)}$$

Le débit total du CO₂ issu du complexe GL2/Z sera donc la somme des deux débits :

$$G^{\text{rejeté}}_{\text{CO}_2}(\text{total}) = G^{\text{fumée}}_{\text{CO}_2}(\text{total}) + G^{\text{absorbé}}_{\text{CO}_2}(\text{total}) \dots \text{ (IV.15)}$$

$$G^{\text{rejeté}}_{\text{CO}_2}(\text{total}) = 124.2 \text{ (t/hr)}$$

IV.3. Estimation de la quantité de CO₂ issue des torches :

L'impossibilité et la difficulté des mesures du débit de composition des fumées des torches, à cause de la haute température de la flamme, et la hauteur élevé des torches (émission d'une flamme à l'aire libre) : pas de résultats de mesures des émissions.

Les émissions de dioxyde de Carbone susceptibles d'être émis ont été quantifié à partir des paramètres du désigne de débit max du gaz combustible entrant.

On a pris qua les résultats d'estimation de la quantité de CO₂ dans la fumée de chaque torche et qui sont présentés dans le tableau 7 suivant :

Equipement	Combustible entrant	Teneur CO ₂	Hauteur	Hauteur d'émission	D'émission (°C)
Torche chaude	137180 Ib/h	-	131	-	-
Torche froide	2046000 Ib/h	-	161	-	-
Torche boil off gaz	-	-	-	32	-
Torche retour méthanier	-	-	-	32	800

IV.4. Estimation de la quantité totale du CO₂ rejetée par le complexe GL2/Z :

On évalue que, la quantité du CO₂ rejetée par le complexe GL2/Z d'après nos estimations, est égale à :

$$G^{\text{rejetée}}_{\text{CO}_2} (\text{total}) = 124.2 (\text{t/hr}) = 1.088 * 10^6 (\text{t/an})$$

Ces énormes débits de CO₂ rejetée, nous poussons de chercher à réduire ses émissions, à cause de son effet sur le réchauffement climatique d'une part, et leur valeur économique d'autre part ; donc, il est nécessaire de penser sur leur captage et leur valorisation.

Sachant que le captage d'une tonne de CO₂ par l'absorption chimique à titre d'exemple, coute environ 20 euros par tonne de CO₂, équivalent à 2000 DA par tonne de CO₂, et le prix de vente d'un kilo gramme de CO₂ et de 50 DA. Donc pour capter le débit estimé il nous faut à peu près : $2.176 * 10^9$ DA et $5.44 * 10^{10}$ DA, comme prix de vente.

En plus, on n'oubliera pas que le débit estimé et calculé sans tenir compte du débit de CO₂ rejetée par les torches, à cause d'un manque de donnés, ce qui confirme la nécessité de prendre en charge la réduction et le captage du CO₂ parmi les majeures préoccupations.

Conclusion :

Le travail réalisé durant notre stage, nous a permis d'estimer les émissions du CO₂ issues des différentes sources au niveau du complexe GL2/Z, notamment : la colonne de régénération, les chaudières, et l'étude que nous avons menée, nous a permis de quantifier les rejets du CO₂ vers l'atmosphère (environ de $1.088 \cdot 10^6$ t/an), ce qui déclenche une situation d'urgence de trouver des solutions appropriées à savoir le captage.

Ce procédé est devenu primordial d'un point de vue environnemental et économique. Cela motive de nombreuses recherches pour abaisser le cout de captage. Toutes les options sont étudiées. A court et moyen terme, on peut envisager :

- Des procédés de captage du CO₂ postcombustion avec des solvants à base d'amines.
- Des procédés de captage du CO₂ en précombustion avec dé carbonisation du combustible grâce au développement du reformage du gaz naturel.
- L'utilisation de l'oxy combustion pour faciliter la séparation du CO₂ des autres constituants gazeux.

Les procédés du captage évoqués précédemment, font partie de la réduction des émissions, mais ils ne sont pas encore appliqués en Algérie, sauf le procédé de séquestration au niveau du site gazier d'IN SALAH à KRECHBA.

Puisque l'absorption chimique par le MEA est déjà maitrisée au niveau du complexe GL2/Z, on propose de l'utiliser comme procédé de captage du CO₂ issu des fumée des chaudières et des colonnes de régénérations, qui nécessite d'installer une unité de récupération et de valorisation du CO₂, donc des dépenses en plus, ce qui influe sur la surconsommation de l'énergie, d'où l'augmentation de prix de revient du GNL.

Les systèmes à absorption chimique ont les meilleures chances de s'imposer, étant donné leur plus grande maturité technique. De plus, leur performance a encore un potentiel.

Références bibliographiques

[1] : Manuel opératoire du complexe GL2Z ,1993

[2] : Soft traitement gaz (service formation GL2Z)

[3] : Soft chaudières (Service formation GL2Z)

[4] Jean-Marc Amann. Etude de procédés de captage du CO₂ dans les centrales thermiques. Chimie. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2007,190.

[5] : Chaudières à vapeur à combustible - Christophe Alleau - Edition du 08/02/07

[6] : Capter et stocker le CO₂ pour lutter contre l'effet de serre L'action de l'IF

Jorge Rodriguez, Florian Venant - Projet réalisé au sein de l'Atelier Changement Climatique ENPC document de prospective INSU-CNRS – mai 2003.

[7] : étude de procédés de captage du CO₂ dans les centrales thermiques, thèse

Doctorat, Jean - Marc AMANN le 13 décembre 2007

[8] : <http://www.captage-stockage-valorisation-co2.fr/comment-capter>

[9] : [https://votreimpact.org/gaz-a-effet-de-serre/sources-de-CO₂](https://votreimpact.org/gaz-a-effet-de-serre/sources-de-CO2)

