



DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

N° d'ordre : M...../GP/2020

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE
MASTER ACADEMIQUE**

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Géniechimique¹.

Génie des procédés de l'environnement²

Thème

**RECUPERATION DU CO₂ REJETE VERS L'ATMOSPHERE
DANS LE BUT D'ETUDIE LA DIMENTIONNEMENT D'UN
SEPARATEUR**

Présenté par :

1-Mr...CHAREF GORINE.....¹.

2-Mr...AMAR MEKKI.....².

Soutenu le 02/ 07 / 2020 devant le jury composé de :

Présidente :Dr. Z.MEKIBESSEMAA Université de Mostaganem

Examinatrice : Dr. I.S.ABDELI MCB Université de Mostaganem

Rapporteur : Dr. HADDOU MCB Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2019 / 2020

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier DIEU notre créateur, pour nous avoir donné la force d'accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de manière directe ou indirecte à l'aboutissement de ce travail.

Tout d'abord, nous adresse mes respectueux remerciements à tous les membres du jury qui m'ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de mon travail.

Nous remercions également profondément D^r. M^{me}. Z.MEKIBESSE maître assistance à l'université de Mostaganem, pour avoir accepté de présider ce jury.

Nous exprimons mes profonds remerciements à D^r. M^{me} I.S.ABDELI Maître de conférence à l'université de Mostaganem, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant d'examiner ce travail et de participer à ce jury.

Nous s'adressons également à D^r. M^{me} N. HADDOU, notre encadrant, nos remerciements pour son soutien et encouragements.

SOMMAIRE

Remerciements	
liste des abréviations	
Introduction générale	01
Chapitre I. Procède du traitement du gaz naturelle	
I.1 Traitement du gaz naturel au niveau du complexe GL1/Z	02
I.2. Section de traitement gaz	03
I.2.1. procéder d'absorption du CO ₂ (F-502)	03
I.2.2. Colonne de régénération (F-501)	04
Chapitre II. Aperçu théorique sur le CO₂	
II.1 Le dioxyde de carbone (CO ₂)	06
II.1.1. Techniques de séparation CO ₂	06
II.1.1.1. Absorption	06
II.1.1.2. Membranes	06
II.1.1.3. Adsorption	06
II.1.1.4. Cryogénie	07
II.2. propriétés physico-chimique de CO ₂	07
II.3. Utilisations	08
II.4. Transport du CO ₂	09
II.5. Stockage du CO ₂	09
II.6. Gaz à effet de serre	10
II.6.1. Emission	10
II.6.2. L'impact de l'effet de serre	11
Chapitre III. procédé de récupération et choix des équipements	
III.1 Procédé de récupération proposé	12
III.2 Choix des équipements	13
III.2.1 Les conduites	13
III.2.2 Echangeur	14
III.2.3. Ballon de séparation	14
III.2.3.1. Séparateur vertical	14
III.2.3.2. Séparateur horizontal	15
III.2.4. Compresseur	16

III.2.4.1. Définition	16
III.2.4.2. But de la compression	16
III.2.4.3. Classification des compresseurs	17
Chapitre IV Dimensionnement des équipements	
IV.1 Bilans	18
IV.1.1. Introduction	18
IV.1.2. Bilan quantitatif	18
IV.1.3. Bilan qualitatif	20
IV.2. Dimensionnement d'un séparateur	21
IV.2.2. Dimensionnement des séparateurs liquides vapeurs verticaux	23
IV.2.2.1. Calcul de la vitesse critique de la vapeur	23
IV.2.2.2. Calcul du diamètre du séparateur D	23
IV.2.2.3. Calcul de la hauteur de séparateur	23
IV.2.2.4. Vérification si H_T/D est supérieure à 1,5	25
Conclusion générale	27
Référence bibliographiques	

Liste des abréviations

LISTE DES ABREVIATION

T :Température.

M : masse.

PVS :Pression du vapeur saturant.

Pc : point critique.

Tc : température critique.

H_r : enthalpie de la réaction.

μ : Viscosité dynamique.

IR : infrarouge.

GES : gaz a effet de serre.

ppm : Partiepar million.

ppb : partie par milliard.

UIOM : Unité d'Incinération d'Ordures Ménagères.

CO₂: Dioxyde de Carbone.

ES : effet de serre.

G_{CO₂} : débit du CO₂ dans le gaz d'alimentation en (kmole/hr).

G : débit du gaz d'alimentation (Nm³ / hr).

V_G : volume molaire du mélange GN en (Nm³ / K mole).

Y_{CO₂} : Concentration molaire du CO₂ dans le gaz d'alimentation à l'entrée de l'absorbeur.

Y_{sCO₂} :Concentration molaire du CO₂ dans le gaz d'alimentation à la sortie de l'absorbeur.

Q_L : débit volumique du liquide (ft³/min).

T_H : temps de rétention (min).

T_s : temps d'alarme (min).

Liste des abréviations

H_{H1a} : Hauteur de rétention

GN : gaz naturel

INTRODUCTION GENERALE

Le gaz naturel, mélange d'hydrocarbures saturés composé essentiellement de méthane, appartient au groupe des combustibles fossiles, comme le charbon, le pétrole ou le lignite. Comme ces derniers, il peut être utilisé aussi bien comme source d'énergie que comme matière première. Non renouvelable mais relativement abondant et assez bien réparti dans le monde, il dispose de nombreuses qualités (souplesse d'utilisation, qualités écologiques) et présente donc, potentiellement, une large gamme d'usages massifs. Toutefois, il reste difficile à transporter car il doit être concentré, soit par compression contre transiter dans les gazoducs, soit par liquéfaction à très basse température pour être chargé dans des méthaniers.

Deux complexes GL1/Z et GL2/Z forment le plus grand ensemble de liquéfaction, connue sur la côte méditerranéenne. L'usine de GL1/Z a été conçue pour permettre d'assurer le transport sous forme liquide du gaz naturel.

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 process par sa congélation (CO_2). L'élimination du gaz carbonique s'effectue dans les sections traitement gaz de chaque train de production par traitement chimique.

Notre étude consiste à dimensionner l'équipement principal.

I.1. Traitement du gaz naturel au niveau du complexe GL1/Z

Le gaz naturel arrivant au complexe à une pression d'environ de 42 bars et à une température généralement ambiante passe en premier lieu dans chaque section de traitement gaz des trains pour éliminer le CO₂ ensuite il passe dans les différentes sections pour éliminer successivement l'eau, le mercure et les hydrocarbures lourds tel que les pentanes.

Une fois le gaz débarrassé de tous les éléments qui peuvent causer un bouchage lors de leur congélation dans les sections froides, il passe dans la section froide de liquéfaction où il subit la transformation de l'état gazeux à l'état liquide par échange thermique avec un réfrigérant appelé MCR (multiple composants réfrigérant).

Avant qu'il soit refoulé dans des bacs de stockage le gaz naturel liquide passe à travers un ballon de détente appelé déazoteur afin de réduire au maximum sa teneur en azote.

Les tableaux. I.1 et I.2 montrent les compositions moyennes annuelles du gaz naturel et du gaz naturel liquéfié [1].

Tableau. I.1. Composition du gaz naturel (gazeux).

COMPOSANTS	% MOLAIRES
He	0,18
N ₂	5,61
METHANE	83,22
CO ₂	0,22
ETHANE	7,69
PROPANE	2,03
ISO-BUTANE	0,36
NOR-BUTANE	0,46
ISO-PENTANE	0,09
NOR-PENTANE	0,10
HEXANE	0,04
EAU (ppm)	50
MERCURE (microgramme)	10

Tableau .I 2. Composition du gaz naturel (liquide).

COMPOSANTS	% MOLLAIRE
N ₂	1.10
METHANE	87.81
ETHANE	8.35
PROPANE	2.01
ISO-BUTANE	0.28
NOR-BUTANE	0.45

I.2. Section de traitement gaz

Afin de situer exactement le point de récupération du gaz carbonique, un aperçu de la section traitement gaz au niveau du train est nécessaire.

Le processus d'absorption et de régénération s'effectue suivant la réaction ci-dessous :



Q : la chaleur dégagée lors de la réaction (réaction exothermique)

Cette section se compose de deux colonnes, une d'absorption de CO₂ est l'autre de régénération de la solution d'absorption (MEA) (figure. I.1).

I.2.1. procéder d'absorption du CO₂ (F-502)

Le gaz naturel d'alimentation entre dans l'unité à une pression contrôlée, qui est égale généralement à 41,4 bars, ce gaz est admis d'abord dans la partie inférieure de la colonne d'absorption (F-502) afin de séparer les hydrocarbures lourds du gaz naturel (voir schéma I-2). Ces derniers sont envoyés vers le système de décantation, où le gaz ressort du fond de la colonne et traverse un réchauffeur (E-504) pour atteindre la température de réaction d'absorption qui est égale à 38°C.

Une fois chauffé le gaz naturel chargé de CO₂ pénètre dans la partie latérale inférieure de la colonne d'absorption et circule de bas en haut à travers 25 plateaux à contre courant d'une solution de monoéthanolamine (MEA) exempte de CO₂ descendante de la partie supérieure de la colonne [2].

Une fois le gaz débarrassé de sa quantité de CO₂, il quitte la tête de la colonne d'absorption pour se diriger vers la section de déshydratation.

La solution d'amine (MEA) chargée en CO₂ quitte le fond de la colonne d'absorption pour alimenter la colonne de régénération (F-501) afin de la régénérer en enlevant le CO₂ absorbé dans la colonne d'absorption.

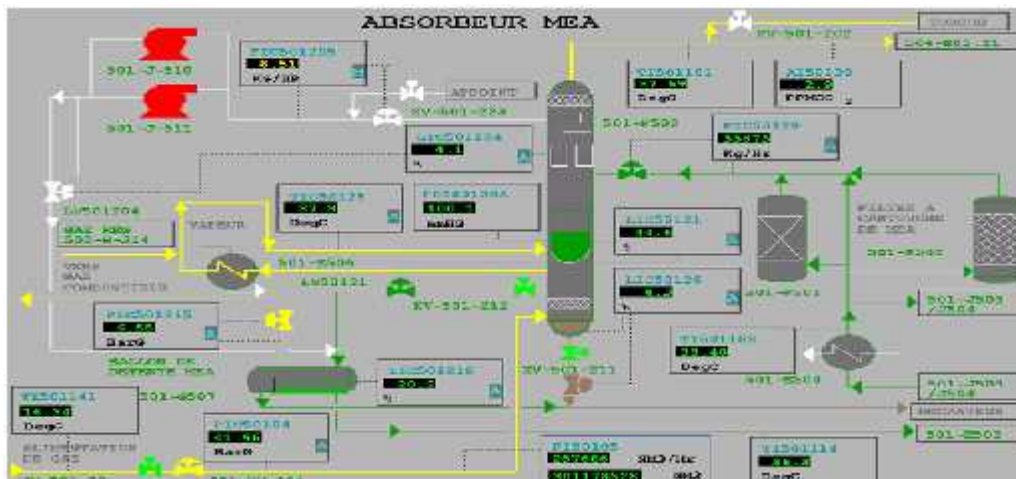


Figure.I.1. L'absorption du CO₂.

I.2.2. Colonne de régénération (F-501)

La solution de MEA riche en CO₂ est envoyée par un système à contrôle de niveau du fond de l'absorbeur à une température de 49°C. Avant d'atteindre l'entrée du sommet du régénérateur, cette solution est chauffée jusqu'à une température de 93°C par échange thermique à travers deux échangeurs en série (E-503 A et B) avec la même solution mais pauvre en CO₂ (figure I.2).

La solution riche en CO₂ est amenée au sommet du de la colonne de régénération (F-501) au-dessus du plateau supérieur, point auquel survient une détente rapide.

Une fois cette solution séparée du CO₂, elle quitte le fond du régénérateur à destination de la colonne d'absorption pour un nouveau cycle.

La vapeur présente au sommet du régénérateur est composée principalement de CO₂ et de vapeur d'eau, les vapeurs de tête quittent la colonne de régénération à une température de 107°C et une pression de 1.7 bars [3].

Afin de récupérer l'eau, les vapeurs acides sont refroidies à une température de 51°C à travers un échangeur à eau de mer (E-501). Ces conditions de température et de pression

permettent la condensation de la vapeur qui s'accumule par la suite dans un ballon de séparation (G-502) ou elle est pompée du fond de la colonne.

Le gaz carbonique débarrassé de la quantité d'eau quitte le ballon séparateur pour se disperser dans l'atmosphère.

C'est cette quantité de gaz carbonique rejeté à ce niveau en continu dans l'atmosphère qui fait l'objet de notre étude.

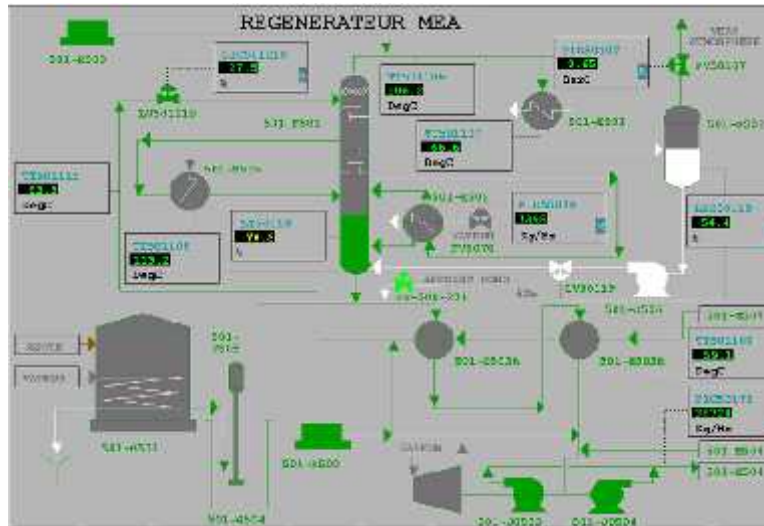


Figure.I.2. La régénération de MEA.

II.1 Le dioxyde de carbone (CO₂)

Le dioxyde de carbone est l'un des principaux gaz à effet de serre dont les émissions d'origine anthropique contribuent au réchauffement climatique. L'une des solutions envisagées afin de limiter les émissions de CO₂ est de le capter sur les sites où il est produit en grandes quantités et/ou fortes concentrations puis de le stocker sous pression par injection dans des formations géologiques souterraines

II.1. Techniques de séparation CO₂

- Absorption
- Adsorption
- Membranes
- Cryogénie

II.1.1. Absorption

L'absorption est un procédé de dissolution ou de réaction chimique pendant lequel des molécules de gaz sont dissoutes dans un solvant. L'absorption de gaz acides en faible concentration (CO₂, NOX, H₂S) avec des amines est un procédé connu depuis longtemps dans l'industrie chimique. L'adapter au captage du CO₂ issu des effluents de cheminée de centrale thermique est donc une solution envisageable puisque la concentration en CO₂ est faible [4].

II.1.2. Membranes

La séparation par des membranes est un procédé utilisé dans l'industrie dans de nombreux domaines. Elles présentent de nombreux avantages de par leur coût mais aussi par leur forte efficacité de séparation et par le peu de place nécessaire à leur installation. Ce procédé est déjà utilisé pour la séparation des composés de l'air, pour la séparation de l'hydrogène et du CO₂ issu du gaz de synthèse obtenu après gazéification et reformage du gaz naturel. Cette technologie pourrait donc s'adapter à un captage en précombustion. Naturellement, il a aussi été évoqué d'utiliser des membranes pour le captage de CO₂ venant des fumées de centrales en postcombustion [5].

II.1.3. Adsorption

L'adsorption est un procédé utilisant un solide appelé adsorbant comme solvant. De nombreux adsorbants existent pour le captage de CO₂ issu des fumées de centrales. Les plus utilisés actuellement sont les zéolites et les charbons actifs. L'inconvénient majeur est qu'ils nécessitent une forte consommation énergétique pour la régénération [4].

II.1.4. Cryogénie

Avec plusieurs étapes de condensation et refroidissement, le CO₂ est séparé du gaz sous forme liquide ce qui est intéressant pour le transport. La séparation cryogénique présente deux inconvénients majeurs : elle nécessite beaucoup d'énergie pour les étapes de refroidissement du gaz et certains composés comme les NOX, les SOX et l'eau doivent être enlevés [4, 5,6].

II.2. propriétés physico-chimique de CO₂

Le dioxyde de carbone (appelé parfois, de façon impropre « gaz carbonique ») est un composé chimique composé d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène et dont la formule brute est : CO₂.

Cette molécule linéaire a pour formule développée de Lewis : 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 communément appelée gaz carbonique ou encore anhydride carbonique.

Il est présent dans l'atmosphère dans une proportion approximativement égale à 0,0375 % en volume, dans cette décennie (années 2000), soit 375 ppmv (parties par million en volume). Mais elle augmente rapidement, d'environ 2 ppmv/an, de par les activités humaines de consommation des combustibles fossiles : charbon, pétrole, gaz. C'est un gaz à effet de serre.

Tableau II.1. Les propriétés physico-chimiques de CO₂ .

<i>Propriété</i>	<i>Valeur</i>
<i>Poids moléculaire</i>	44.01
<i>Gravité spécifique</i>	1.53 à 21 °C
<i>Densité critique</i>	468 kg/m ³
<i>Concentration dans l'air</i>	370,3 * 10 ⁷ ppm
<i>Stabilité</i>	Elevée
<i>Liquide</i>	Pression < 415.8 kPa
<i>Solide</i>	Température < -78 °C

<i>Constante d'Henry de solubilité</i>	298.15 mol/ kg * bar
<i>Solubilité dans l'eau</i>	0.9 vol/vol à 20 °C

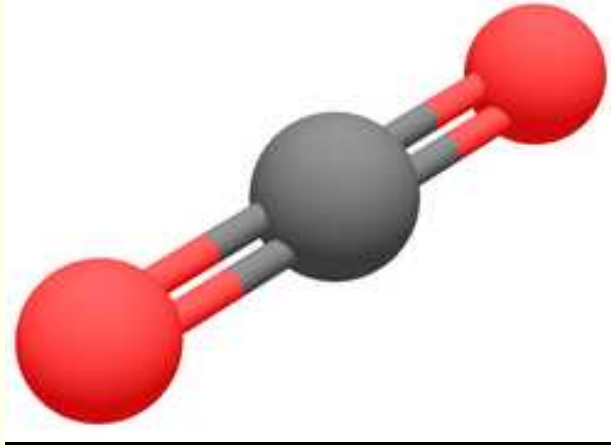


Figure. II.1. Représentation 3D du dioxyde de carbone

II.3. Utilisations

a) Forme gazeuse

Sous forme gazeuse, il est utilisé pour :

- carbonater des boissons (soda ou eau).
- créer une couche isolante (flux) dans l'industrie alimentaire ou pour la soudure.
- stimuler la croissance des plantes.

b) 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.

c) Forme solide

Le dioxyde de carbone sous forme solide ou glace carbonique appelée aussi Carboglace ou glace sèche est issue du CO₂ liquide sous forme de neige carbonique qui est ensuite compactée pour devenir glace carbonique.

Cette glace carbonique se sublime en ne laissant aucun résidu et produit très rapidement une grande quantité de froid (150 fr/h/kg à -78,5 °C), l'homme lui a donc rapidement trouvé de multiples utilisations.

II.4. Transport du CO₂

Le transport du CO₂ du lieu de captage vers le lieu de stockage est une technique maîtrisée puisqu'elle est semblable à celle appliquée au transport des autres gaz. Il peut être transporté selon la distance par gazoducs, bateau ou camion [4].

Il existe plusieurs moyennes de transport de CO₂ :

- Transport terrestre par camion ou par train.
- Transport par bateau.
- Transport par canalisation.

II.5. Stockage du CO₂

Le stockage du CO₂ dans les formations géologiques profondes sous terre ou sous la mer est la principale solution envisagée. Une autre solution consisterait à minéraliser le CO₂ avec des oxydes métalliques [4]. Le CSC consiste à capter le CO₂ émis par les installations industrielles (principalement les centrales électriques, mais également les cimenteries, les aciéries, etc.) pour ensuite le stocker dans le sous-sol. Différentes zones géologiques sont envisagées pour stocker le CO₂ :

- Les aquifères salins profonds,

• Les réservoirs d'hydrocarbures des champs matures : - soit après exploitation dans les réservoirs déplétés, - soit en cours de production avec le bénéfice additionnel d'aider à drainer les hydrocarbures hors des réservoirs, les veines de charbon non exploitables, un stockage sous forme minérale dans les roches ultrabasiqes. Seuls les champs matures ou les aquifères salins permettront de stocker des quantités suffisantes à l'échelle du problème pose. Les aquifères salins ont une plus grande couverture géographique, mais du fait de leur manque d'intérêt économique à ce jour, ils sont peu étudiés et donc encore mal connus [7].

II.6. Gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre (GES) sont des gaz dont les propriétés physiques sont telles que leur présence dans l'atmosphère terrestre contribue à un effet de serre à la surface de la terre.

Les principaux gaz à effet de serre sont :

- La vapeur d'eau (H₂O) ;
- Le dioxyde de carbone (CO) ;
- Le méthane (CH₄) ;
- Le protoxyde d'azote (N₂O) et l'ozone (O₃).

Les gaz à effet de serre industriels incluent les halocarbones lourds :

- Les chlorofluorocarbones (CFC) et HCFC-22 comme le fréon,
- Le perfluorométhane.

Ainsi que :

- L'hexafluorure de soufre (SF₆).

II.6.1. Emission

La concentration de certains gaz à effet de serre a augmenté au fil des années, principalement à la suite d'activités humaines, comme :

- Utilisation de combustibles fossiles, ce qui augmente les concentrations en dioxyde de carbone ;

- Utilisation des CFC dans les systèmes de réfrigération et climatisation (réglementé par le Protocole de Montréal).
- Le protoxyde d'azote et le méthane sont également pris en compte dans les accords internationaux, mais pas l'ozone.
- L'ozone stratosphérique a un rôle complexe, elle filtre les ultraviolets.
- La diminution d'ozone jouerait un rôle mineur par rapport à son importance en tant que filtre.

II.6.2. L'impact de l'effet de serre

L'effet de serre est déséquilibré par les activités humaines, en particulier l'utilisation des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon). Celles-ci provoquent artificiellement l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et, par conséquent, accentuent le réchauffement de notre planète. Le CO₂ (dioxyde de carbone) représente près des 2/3 des émissions mondiales de gaz à effet de serre induites par les activités humaines et a la particularité de rester présent longtemps dans l'atmosphère.

C'est pourquoi on mesure usuellement l'effet des autres gaz à effet de serre en équivalent CO₂ (eq.CO₂). Les émissions de CO₂ actuelles auront un impact sur les concentrations dans l'atmosphère et sur la température du globe pendant des dizaines d'années.

Le changement climatique est une réalité. La perturbation des grands équilibres écologiques s'observe déjà : un milieu physique qui se modifie et des êtres vivants qui s'efforcent de s'adapter ou disparaissent. On commence aussi à envisager les conséquences sur les sociétés humaines : migrations forcées, multiplication des conflits (utilisation des ressources en eau, appropriation des terres fertiles...).

III.1 Procédé de récupération proposé

Le procédé de récupération comme il est présenté dans le schéma III-1 consiste à récupérer toutes les quantités de gaz carbonique rejetées vers l'atmosphère par les six trains du complexe à partir de leurs lignes respectives en aval des vannes (PV) des ballons de séparation (G-502).

Les lignes des trains vont alimenter un collecteur principal qui alimentera l'échangeur afin d'éliminer l'humidité entraînée par le flux du gaz carbonique et protéger les compresseurs des goulettes d'eau.

L'eau contenue dans le flux gazeux sera condensée et séparée dans un ballon de séparation pour finir dans le système de décantation des hydrocarbures.

Ce flux de gaz carbonique sera aspiré ensuite par un compresseur et refoulé à une pression de 7 bars.

Pour assurer en permanence l'alimentation en gaz carbonique de nos clients, deux compresseurs sont recommandés (un en service et l'autre en stand-by).

Afin d'éviter tout dysfonctionnement des colonnes de régénération des trains en cas de problème en aval des compresseurs, on recommande l'installation d'un évent (ligne vers atmosphère) au niveau du ballon d'aspiration avec une vanne de régulation de pression (PV) et un clapet anti - retour.

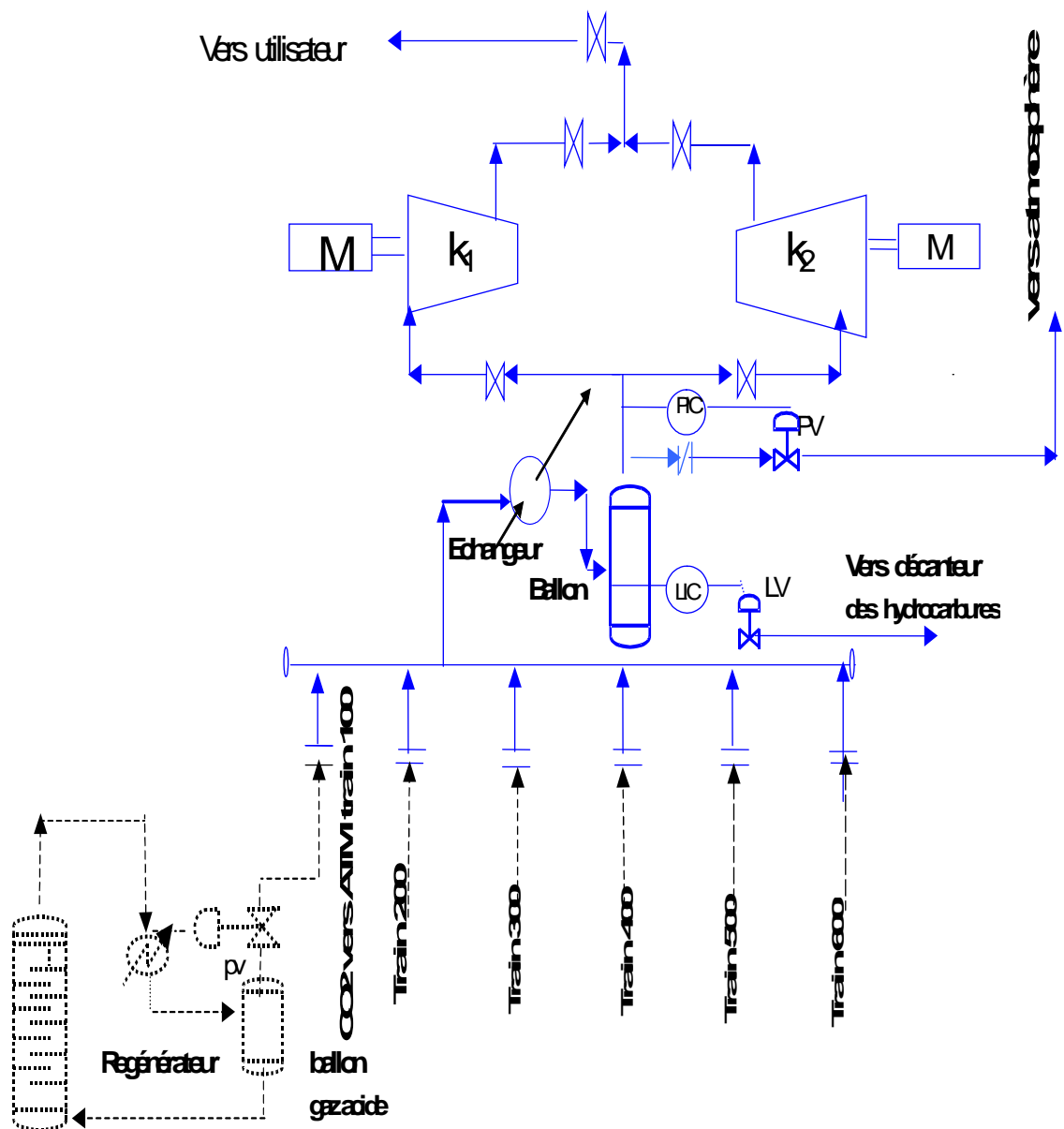


Figure.III.1 Procédé de récupération proposé.

III.2. Choix des équipements

Dans ce paragraphe nous allons donner un aperçu sur le principe du choix des équipements principaux composant le procédé proposé ci-dessus.

III.2.1 Les conduites

Des conduites en acier inoxydable à faible teneur en carbone sont utilisées pour toute partie en contact avec le CO₂ humide

III.2.2 Echangeur

L'étape de dimensionnement permet de s'orienter vers l'appareil qui convient le mieux. La meilleure exploitation du potentiel thermique existant entre la source chaude et la source froide en agencant au mieux la circulation des fluides dans les divers échangeurs dans une usine commence à être étudiée.

La technologie d'échangeurs la plus souvent rencontrée sur les grosses installations sera du type « tube-calandre ». Le matériau utilisé est : cupro –Nickel 0.5% Iron.

III.2.3. Ballon de séparation

Un séparateur est un réservoir qui fonctionne à une pression constante grâce à un système de vanne a ouverture réglable sur les sorties huile et gaz. (Figure.III.1).

Par un système de grillages et de chicanes convenablement disposées à l'intérieur, l'écoulement du mélange est retardé de façon à éviter l'entraînement de gouttelettes liquide dans le gaz et de bulles de gaz dans l'huile. Il existe deux types de ballon de séparation :

- ❖ Le ballon vertical
- ❖ Le ballon horizontal

III.2.3.1. Séparateur vertical

Ces séparateurs sont constitués par un cylindre vertical terminé par des fonds bouchés. Les deux phases à séparer entrent tangentiellement et rencontrent un déflecteur ; une première Séparation est ainsi réalisée par gravite, centrifugation et de collision.

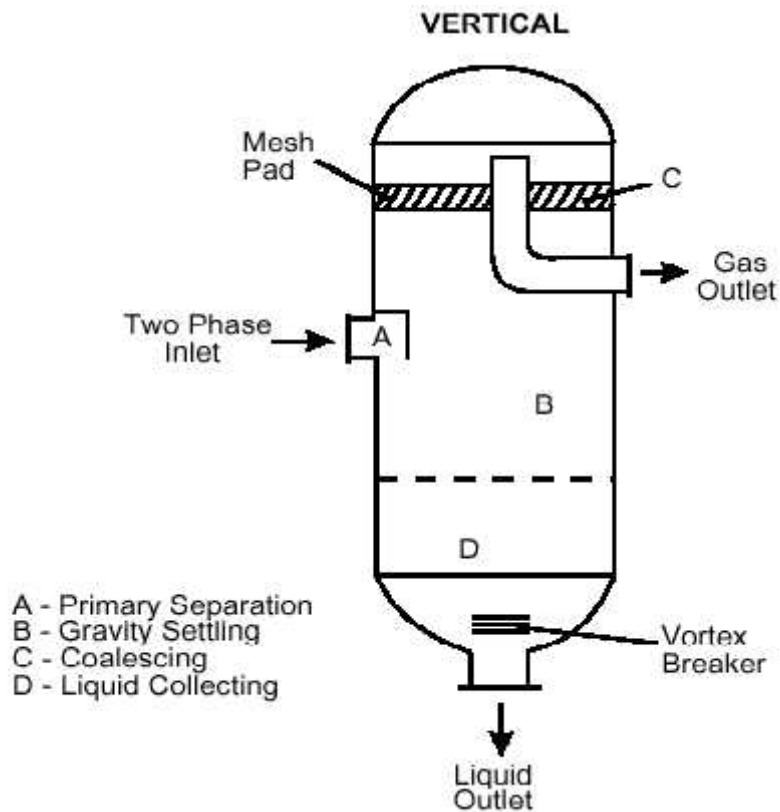


Figure.III.2. Séparateur vertical

III.2.3.2. Séparateur horizontal

C'est un récipient cylindrique horizontal contenant différents éléments pour réaliser la séparation. (Figure.III.3). Le mélange des phases passe également à l'entrée du séparateur par un déflecteur, les gouttes étant ensuite séparées par gravité et par collision sur les plaques internes.

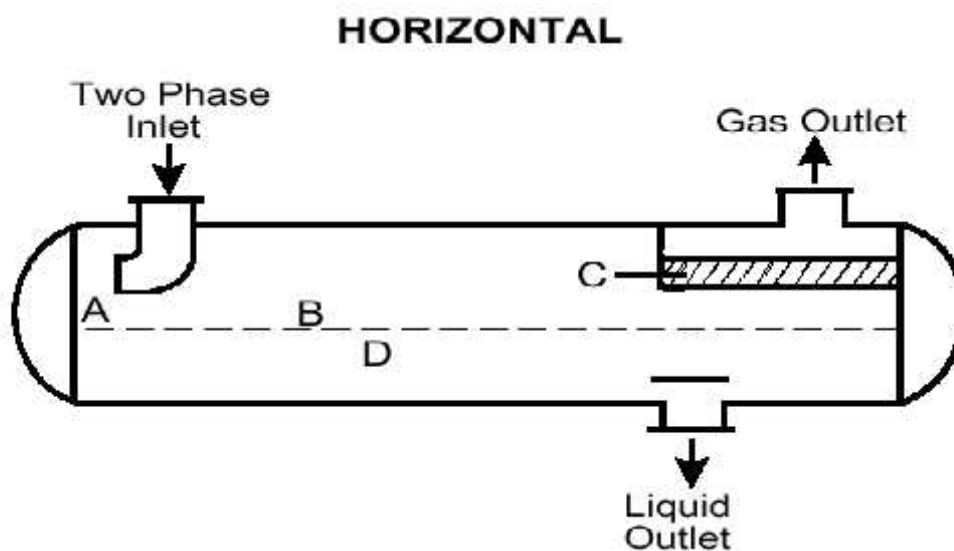


Figure.III.3. Séparateur horizontal

III.2.4 Compresseur

III.2.4.1. Définition

Un compresseur est une machine qui a pour fonction d'élever la pression du fluide compressible qui le traverse. Son nom traduit le fait que le fluide se comprime (son volume diminue) au fur et à mesure de l'augmentation de pression. L'élévation de pression d'un gaz pour un compresseur est utilisée pour atteindre un niveau de pression déterminé par des processus tels que Les réactions chimiques (pression convenable le catalyseur). Le stockage dans les cavités La liquéfaction ou la séparation les cycles de réfrigération L'alimentation des réseaux d'air comprimé.

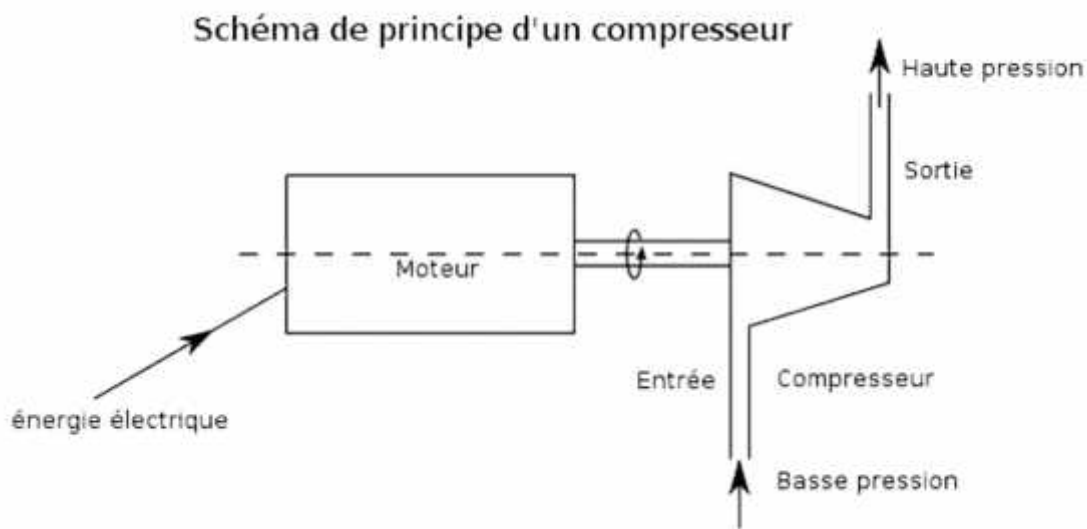


Figure III.4. schéma de principe d'un compresseur

III.2.4.2. But de la compression

La compression en générale, peut être imposée par la nécessité technique de déplacer une certaine quantité de gaz d'un système à une certaine pression, vers un autre système à une autre pression plus élevée. Cette opération a pour but de: faire circuler un gaz dans un circuit fermé. Produire des conditions favorables (de pression) pour des réactions chimiques, de faire envoyer un gaz dans un pipe-line de la zone de production vers l'utilisateur, obtenir de l'air comprimé pour la combustion.

III.2.4.3. Classification des compresseurs

Les compresseurs peuvent être classés selon caractéristiques suivants :

- Le principe de fonctionnement (volumétrique, dynamique).
- Mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire, rotatif).
- Les compresseurs d'air. les compresseurs des gaz.

Généralement il existe deux grandes familles de compresseur, les compresseurs volumétriques et turbocompresseurs. Dans les premiers, l'élévation de pression est obtenue en réduisant un certain volume de gaz par action mécanique, dans les seconds, on augmente la pression en convertissant de façon continue l'énergie cinétique communiquée au gaz en énergie de pression due à l'écoulement autour des aubages dans la roue.

Dans les premiers, de beaucoup les plus importants en quantité, l'élévation de pression est obtenue en réduisant un certain volume de gaz par action mécanique. Dans les seconds, on élève la pression en convertissant, de façon continue, l'énergie cinétique communiquée au gaz en énergie de pression. Cet échange d'énergie est dû à l'écoulement autour des aubages dans la roue.

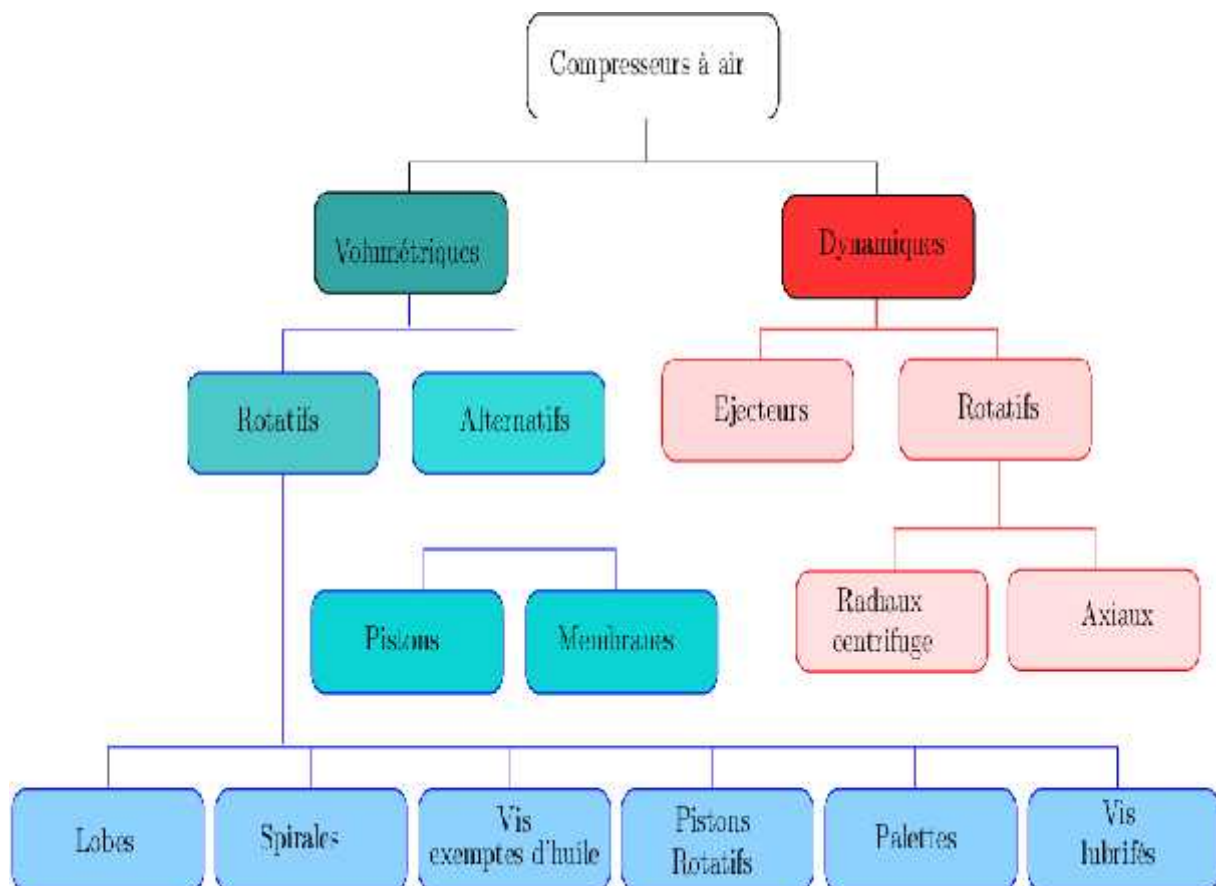


Figure.III.5. Classification des compresseurs

IV.1 Bilans

IV.1.1.Introduction

Afin de déterminer si la quantité et la qualité de CO₂ récupérée :

- ❖ répond aux besoins et aux exigences des clients.
- ❖ permet l'amortissement du projet .
- ❖ contribue de façon significative dans la réduction d'émission des gaz à effet de serre

Nous allons procéder à des bilans qualitatifs et quantitatifs. Ces mêmes bilans vont nous permettre de proposer les différents équipements de l'unité de récupération et son dimensionnement.

IV.1.2. Bilan quantitatif

- Calcul de la quantité de CO₂ récupéré pour 100 % de production :

$$G_{CO_2} = \frac{G^*(Y_{sCO_2} - Y_{eCO_2})}{V_G} \dots\dots\dots IV.1$$

D'où

- G_{CO₂} : débit du CO₂ dans le gaz d'alimentation en (K mole/hr).
- G : débit du gaz d'alimentation (Nm³ / hr).
- V_G : volume molaire du mélange GN en (Nm³ / K mole).
- Y_{eCO₂} : concentration molaire du CO₂ dans le gaz d'alimentation à l'entrée de l'absorbeur.
- Y_{sCO₂} : concentration molaire du CO₂ dans le gaz d'alimentation à la sortie de l'absorbeur.

Sachant que :

- le débit du gaz naturel d'alimentation à 100 % charge est de 250105 Nm³/hr
- la concentration molaire du CO₂ dans le gaz d'alimentation à l'entrée de l'absorbeur est de 0.22 % molaire
- la concentration molaire du CO₂ dans le gaz d'alimentation à la sortie de l'absorbeur est de 90 ppm

Le volume molaire du gaz naturel est calculé dans le tableau ci –dessous :

Tableau. IV.1. calcul du volume molaire du gaz naturel

constituant	fraction moléculaire	volume molaire	fraction de volume molaire nm ³ /kg mole
Helium	0	22,400	0
Azote	5,1	22,26	1,16
Méthane	8,70	22,40	18,973
CO ₂	0,22	22,260	0,05
Ethane	7,20	22,170	1,596
Propane	1,86	21,840	0,406
Isobutane	0,239	21,780	0,052
Butane	0,347	21,500	0,075
Isopentane	0,066	21,030	0,014
Pentane	0,116	20,860	0,024
Hexane	0,035	20,300	0,007
	100,00		22,36

Le volume molaire du gaz naturel = 22.36 Nm³/ K mole

On remplaçant dans IV.1

$$G_{CO_2} = \frac{250105 * (0.0022 - 0.00009)}{22.36} = 23.60 \quad (\text{moles / hr})$$

De la même manière, et sachant que les débits du gaz naturel d'alimentation à 110 % et 115 % sont respectivement :

- le débit du gaz naturel d'alimentation à 110 % charge est de 275115.5 Nm³/hr.
- le débit du gaz naturel d'alimentation à 115 % charge est de 287620.75 Nm³/hr.

Les quantités de CO₂ récupérées sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau.IV.2. Les quantités de CO₂ rejeté par train pour 100 %, 110 % et 115 % de production

Production du train	Débit GN (Nm ³ /h)	Débit GN (kmole/h)	Quantité CO ₂ (kg/h)	Débit CO ₂ (nm ³ /h)	Quantité CO ₂ (tonne/jour)	Quantité CO ₂ (tonne/an)
100 %	250105	11185,37	1038,63	527,693	24,92	9095,8
110 %	275115,5	12303,91	1142,49	580,462	27,41	10005,4
115 %	287620,75	12863,18	1194,43	606,847	28,66	10460,2

Tableau.IV.3. La quantité totale de CO₂ rejeté pour 100 %, 110 % et 115 % de production

Production (Tonne/an)	100 % de production	110 % de production	115 % de production
Total (6 trains)	54574,8	60032,4	62761,2

Interprétation

On déduit qu'il y a une quantité très importante de gaz carbonique qui est rejeté vers atmosphère au niveau des sections de décarbonatation du complexe et qui peut être facilement récupérée et commercialisée.

IV.1.3. Bilan qualitatif

La qualité de fluide dégagé vers atmosphère au niveau des ballons séparateurs des gaz acides (G-502) est répertoriée dans le Tableau suivant :

Tableau. IV.4. Composition des rejets du gaz carbonique vers l'atmosphère

Composants	% molaire
CO ₂	91,7
CH ₄	0,90
N ₂	0,15
H ₂ O	7
C ₂ H ₆	0,25

Interprétation

Le CO₂ et l'eau représentent 99 % du mélange, on peut dire que le mélange est binaire.

IV.2. Dimensionnement d'un séparateur

IV.2.1. Introduction

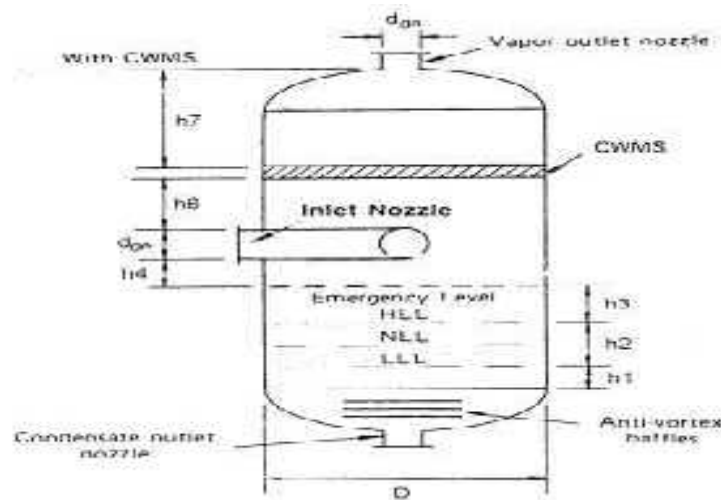


Figure. IV.1. Schéma d'un séparateur.

La séparation gaz -liquide est généralement réalisée en trois étapes :

- ❖ La première étape est une séparation primaire, qui utilise un déflecteur de sorte que la quantité de mouvement du liquide entraîné par la vapeur entraîne le placage des larges gouttelettes sur le déflecteur et tombent par la gravité.
- ❖ la deuxième étape est la séparation secondaire où les petites gouttelettes descendent par gravité lors du passage de la vapeur dans l'aire de désengagement.
- ❖ La troisième et dernière étape est l'élimination des plus petites gouttelettes par coalescence et formation de grosses gouttelettes sur le demister qui tombent par gravité.

Pour la séparation secondaire, la vitesse admissible doit être calculée de sorte que l'aire de désengagement puisse être déterminé.

Tableau .IV.5. le choix de temps de rétention et le temps d'alarme en fonction du service du ballon

	Temps de rétention (min)	Temps d'alarme (min)
Ballon d'alimentation d'une unité	10	5
Ballon séparateur alimentant		
1 - une colonne	5	5
2 - un réservoir		
a) avec une pompe a travers un échangeur	5	2
b) sans pompe	2	1
3 - alimentation d'un four	10	3
Ballon accumulateur		
1- reflux uniquement	3	2
2 - reflux plus produit	3	2
Fond de colonne		
1 -alimentation d'une colonne		
2 - alimentation d'une autre colonne	5	2
ballon d'aspiration d'un compresseur	3 entre alarme et fermeture 10 entre ligne de soudure du fond et l'alarme	

Tableau .IV.6. Les valeurs de H_{LLL} en fonction du diamètre et la pression

Diamètre (ft)	ballon vertical		ballon horizontal
	< 300 psi	> 300 psi	
< 4	15 in	6 in	9 in
6	15 in	6 in	10 in
8	15 in	6 in	11 in
10	6 in	6 in	12 in
12	6 in	6 in	13 in

IV.2.2. Dimensionnement des séparateurs liquides vapeurs verticaux

IV.2.2.1. Calcul de la vitesse critique de la vapeur

$$U_t = k \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} \dots\dots\dots \text{IV.2}$$

ρ_V : masse volumique de la phase vapeur (lb /ft³)

ρ_L : masse volumique de liquide (lb/ ft³).

On calcul k à partir de la formule de SOUDERS BROWN

$$k = 0.24 - 0.0001 (p - 100) = 0.24 - 0.0001 (18.27 - 100) = 0.248 \text{ ft}$$

$$\mathbf{k = 0.248 \text{ ft}}$$

Selon IV.2

$$U_t = k \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} = 0.248 \sqrt{\frac{62.41 - 0.128}{0.128}} = 5.47 \text{ ft / sec}$$

$$\mathbf{U_t = 5.47 \text{ ft / sec}}$$

Et on fixe $U_V = 0,75 U_t = 0,75 * 5,47 = 4,10 \text{ ft / sec}$

$$\mathbf{U_V = 4.10 \text{ ft / sec}}$$

IV.2.2.2. Calcul du diamètre du séparateur D

$$Q_V = 7.14 \text{ ft}^3/\text{sec}$$

$$D_{vd} = \sqrt{\frac{4Q_V}{fU_V}}$$

$$D_{vd} = \sqrt{\frac{4 * 7.14}{f 4.10}} = 1.49 \text{ ft}$$

$$D_{vd} = 1.49 \text{ ft}$$

$$D = D_{vd} + 6\text{in} = 1.49 + 6/12 = 1.99 \text{ ft}$$

$$\mathbf{D = 1.99 \text{ ft}}$$

IV.2.2.3. Calcul de la hauteur de séparateur

➤ Calcul du volume de rétention

$$V_H = T_H * Q_L$$

Sélectionner le temps de rétention (Tableau.IV.5)

$$T_H = 3 \text{ min}$$

$$Q_L = 0.186 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Q_L : débit volumique du liquide (ft^3/min)

T_H : temps de rétention (min)

A.N :

$$V_H = 3 * 0.186 = 0.56 \text{ ft}^3$$

$$\mathbf{V_H = 0.56 \text{ ft}^3}$$

➤ **Calcul du volume d'alarme**

$$V_S = T_s * Q_L = T_H/2 * Q_L$$

Q_L : débit volumique du liquide (ft^3/min).

T_s : temps d'alarme (min).

A.N :

$$V_S = 3/2 * 0.186$$

$$\mathbf{V_S = 0.28 \text{ ft}^3}$$

➤ **calcul de H_{LLL}**

Obtenir H_{LLL} à partir du tableau. IV.6

$$D < 4$$

$$P < 300 \text{ PSI} \quad \text{on obtient} \quad H_{LLL} = 1.25 \text{ ft}$$

➤ **Calcul de la hauteur de rétention H_H**

$$H_H = \frac{4V_H}{fD^2}$$

A;N :

$$H_H = \frac{4 * 0.56}{f(1.99)^2} = 0.18 \text{ ft}$$

$$\mathbf{H_H = 0.18 \text{ ft}}$$

➤ **Calcul de la hauteur d'alarme H_s**

$$H_s = \frac{4V_S}{fD^2} = \frac{4 * 0.28}{f(1.99)^2} = 0.09 \text{ ft}$$

$$\mathbf{H_s = 0.09 \text{ ft}}$$

➤ **Calcul de la hauteur H_{lin} (centre de l'alimentation)**

$$H_{lin} = 12 + d_n \text{ (in) avec déflecteur à l'entrée}$$

D'où d_n : diamètre de la tubulure d'entrée se calcul comme suit :

- **Calcul de d_n**

$$d_n = \frac{4(Q_v + Q_l)}{f 60 \sqrt{\dots_m}}$$

$Q_m = Q_L + Q_v$ débit moyen (ft^3 / sec)

- **Calcul de \dots_m**

$$\dots_m = \frac{Q_v \dots_v + Q_l \dots_l}{Q_L + Q_v}$$

A.N :

$$\dots_m = \frac{25710.73 * 0.134 + 67.31 * 11.2}{25710.73 + 11.20} = 0.163 \text{ lb} / \text{ft}^3$$

$$\dots_m = \mathbf{0.163 \text{ lb/ft}^3}$$

En remplaçant Q_m, \dots_m , on obtient :

$$d_n = \frac{4Q_m}{f 60 \sqrt{\dots_m}} = \frac{4 * (7.14 + 3.1110^{-3})}{f 60 \sqrt{0.163}} = 0.375 \text{ ft}$$

$$d_n = 0.375 \text{ ft}$$

donc:

$$H_{lin} = 12 + 0.375 * 12 = 16.5 \text{ in}$$

$$\mathbf{H_{lin} = 1.375 \text{ ft}}$$

➤ **Calcul de la hauteur de désengagement de la vapeur H_d**

$$H_d = 0.5 D = 0.5 * 1.49 = 0.745 \text{ ft}$$

$$\mathbf{H_d = 0.745 \text{ ft}}$$

➤ **Calcul de la hauteur totale H_T**

$$H_T = H_{lin} + H_d + H_s + H_{me} + H_H + H_{LLL}$$

$$H_T = 1.375 + 0.745 + 0.09 + 1.5 + 0.18 + 1.25$$

$$\mathbf{H_T = 5.14 \text{ ft}}$$

IV.2.2.4. Vérification si H_T/D est supérieure à 1.5

$$\frac{H_T}{D} = \frac{5.14}{1.99} = 2.58 > 1.5 \text{ ft}$$

Interprétation D'après les résultats obtenus par simulation, on déduit que ces résultats sont proches de nos calculs donc le dimensionnement convient aux choix des équipements.

CONCLUSION GENERALE

Les combustibles fossiles sont largement responsables de la production de CO₂ relargué dans l'atmosphère.

Dans ce modeste travail on a étudié un procédé très important dans l'industrie de raffinage qui est le récupération du CO₂ rejeté vers l'atmosphère qui a pour but d'étudier la dimensionnement d'un séparateur.

Notre travail consiste à effectuer une étude du dimensionnement d'un séparateur utilisé pour le procédé de récupération toutes les quantités de gaz carbonique rejetées vers l'atmosphère par les six trains du complexe.

A partir des calculs effectuées les résultats obtenus montrent dans le tableau suivant :

Paramètre	Résultats	Unité
Coefficient de souders Brown (K)	0,248	Sans unités
Masse volumique de liquide	62,41	Lb/ft ³
Masse volumique de la vapeur	0,128	Lb/ft ³
Vitesse critique U _t	5,47	ft/s
Vitesse de la vapeur U _v	4,10	ft/s
Diamètre de séparateur D	1,49	ft
Temps de rétention T _H	3	min
Débit du liquide Q _L	0,186	Ft ³ /min
Volume de rétention V _H	0,56	ft ³
Temps d'alarme T _S	1,5	min
Volume d'alarme V _S	0,28	ft ³
Hauteur de rétention H _H	0,18	ft
Hauteur d'alarme H _S	0,09	ft
Diamètre de tubulure d _n	0,375	ft
Hauteur de centre d'alimentation H _{LIN}	1,375	ft
Hauteur de désengagement de la vapeur H _d	0,745	ft
Hauteur totale H _T	5,14	ft
H _T /D	3,45	ft

Référence bibliographiques

- [1] Manuel opératoire du procédé de liquéfaction du complexe GL1 /Z.
- [2] Gaz Naturel Production Traitement Transport. Alexandre ROJEY Editions Technip
- [3] Gaz naturel, production, traitement et transport « Publication IFP, édition technip 1995 ».
- [4] A.Rojey, B.Durand, C.Jaffret, S.Jullian, M.Valais, « Le gaz naturel production traitement transport». « Editions Tec hnip 1994 ».
- [3] W.PIERRE, raffinage et génie chimique Tom I et II «édition 1972 »
- [8] P.WHUITIER, Raffinage et génie chimique tome 1, 2ème éditions TECHNIP 1972.
- [4] F.Guilhamasse. « Etude du captage post-combustion du CO₂ grâce à un procedevsa (vacuum swingadsorption) avec de nouveaux adsorbants ». Thèse de doctorat d'Ecole doctorale Ed Abbe Gregoire, 2013.
- [5] M.Tahir, N.A.Saidina Amin. «Recycling of carbon dioxide to renewable fuels by photocatalysis :prospect and challenges ». Renew. Sustain. Energy Rev.25,560-579., 2013.
- [6] I. Ganesh. « Conversion of carbon dioxide into methanol- a potential liquid fuel : fundamental challenges and opportunities (a review) ». J. Renew. Sust.Energy Rev.31.221-257,2014.