

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

Abdelhamid Ibn Badis University - Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculty of Sciences and Technology

قسم هندسة الطرائق

Department of Process Engineering



Department of Process Engineering

قسم هندسة الطرائق

The Date

التاريخ :

Ref : .../U.M/F.S.T/2023

رقم : / ج. م. ك. ع. ت. / 2023

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie Chimique

Thème

**Etude du fonctionnement d'une colonne d'absorption par Hysys
8.8 au niveau du complexe FERTIAL**

Présenté par

1- CHERIF Nesrine

2- CHEDED Sabah

Soutenu le 08/06/ 2023 devant le jury composé de :

Président :	MOHAMED SGHIR Zahira	MCB	Université de Mostaganem
Examineur:	BENMEKKI Fadila	MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur:	TERKHI Sabria	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

On tien à exprimer nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Tout d'abord, on tien à remercier mon encadrante, Dr. Terkhi, pour son précieux soutien, ses conseils judicieux et son dévouement tout au long de cette étude. Sa supervision attentive, ses critiques constructives et ses orientations ont grandement contribué à l'élaboration de ce travail.

On souhaite également exprimer notre gratitude envers les membres du jury, la présidente Mme. Mohamed Sghir et l'examinatrice Mme. Benmekki, pour avoir pris le temps de lire et d'évaluer ce mémoire avec soin. Leurs commentaires et leurs suggestions ont été très utiles pour nous, et nous ont permis d'enrichir notre travail de recherche. On tien également à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, notamment mes amis et ma famille, pour leur soutien infaillible tout au long de cette période.

Enfin, on est convaincu que cette expérience nous a permis de développer nos compétences en recherche et de mieux comprendre le sujet de notre mémoire. On est reconnaissant envers toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce travail.

On vous remercie encore une fois pour votre soutien et votre contribution à la réussite de ce mémoire

Dédicace

À ma mère et mon père, qui m'ont toujours soutenu dans toutes les étapes de ma vie, je dédie ce mémoire de fin d'étude. Votre amour, vos encouragements et votre soutien indéfectible m'ont permis d'arriver jusqu'ici. Vous êtes ma source d'inspiration et ma motivation constante.

À mes sœurs Siham e Chaima, qui ont été à mes côtés tout au long de cette aventure, je dédie également ce travail. Votre soutien et votre présence ont été d'une grande aide pour moi.

À ma nièce Rahaf, ma plus grande source d'inspiration.

À mes amis Tadjeddine et Imene, qui ont été mes compagnons de route tout au long de mes études, je souhaite également dédier ce mémoire. Votre amitié et votre soutien moral ont été d'une grande importance pour moi.

Enfin, je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui ont croisé ma route et qui ont contribué de près ou de loin à ma formation et à mon développement personnel.

Merci à tous pour votre soutien, votre encouragement et votre inspiration tout au long de cette étape importante de ma vie.

Dédicace

À ma mère et mon père, qui m'ont toujours soutenu dans toutes les étapes de ma vie, je dédie ce mémoire de fin d'étude. Votre amour, vos encouragements et votre soutien indéfectible m'ont permis d'arriver jusqu'ici. Vous êtes ma source d'inspiration et ma motivation constante.

À mes frères et ma sœur, qui ont été à mes côtés tout au long de cette aventure, je dédie également ce travail. Votre soutien et votre présence ont été d'une grande aide pour moi.

À mon cher mari, vous avez toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

À ma nièce Amani.

Enfin, je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui ont croisé ma route et qui ont contribué de près ou de loin à ma formation et à mon développement personnel.

Merci à tous pour votre soutien, votre encouragement et votre inspiration tout au long de cette étape importante de ma vie.

Résumé

L'objectif de notre travail d'étude est d'analyser le fonctionnement de la colonne d'absorption 101-E de Complex FERTIAL. Cette étude a été réalisée à l'aide du simulateur HYSYS et du modèle thermodynamique "Acid Gas-Chemical Solvents". La colonne 101-E est alimentée par l'aMDEA et le gaz riche en CO₂ d'une quantité de 18%. Après simulation, les résultats montrent une efficacité élevée de l'aMDEA pour capturer le CO₂, qui est égale à 0,001%.

Mots clés : Colonne d'absorption 101E ; Simulation ; HYSYS ; AMDEA ; CO₂ ; gaz

Abstract

The objective of our study is to analyze the operation of the absorption column 101-E at Complex FERTIAL. This study was conducted using the HYSYS simulator and the thermodynamic model "Acid Gas-Chemical Solvents." The 101-E column is fed with aMDEA and a CO₂-rich gas with a concentration of 18%. After simulation, the results demonstrate a high efficiency of aMDEA in capturing CO₂, which amounts to 0.001%.

Keywords: Absorption column 101-E, simulation, HYSYS, aMDEA, CO₂, gas.

المخلص

الهدف من دراستنا هو تحليل تشغيل عمود الامتصاص E-101 في مجمع FERTIAL. أجريت هذه الدراسة باستخدام جهاز محاكاة HYSYS والنموذج الديناميكي الحراري " Acid Gas-Chemical Solvents ". يتم تغذية العمود E-101 بـ aMDEA وغاز غني بثاني أكسيد الكربون بتركيز 18%. بعد المحاكاة ، أظهرت النتائج كفاءة عالية لـ aMDEA في التقاط ثاني أكسيد الكربون ، والتي تبلغ 0.001%. الكلمات المفتاحية: عمود الامتصاص E-101 ، المحاكاة ، HYSYS ، aMDEA ، CO₂ ، الغاز.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Schéma de principe d'unité d'ammoniac	7
Figure I.2. Désulfuration du gaz	8
Figure II.1. Distribution du soluté A à l'équilibre entre la phase gazeuse et la phase liquide à une température donnée	14
Figure II.2. Schéma simplifié de colonne à plateaux.....	17
Figure II.3. Schéma simplifié de colonne à garnissages.....	18
Figure II.4. Différents arrangements de distribution des phases dans les colonnes à garnissages.	19
Figure II.5. Mécanisme réactionnel de l'aMDEA	23
Figure III.1. Schéma PFD de la colonne d'absorption 101-E.	35
Figure III.2. Les conditions opératoires du produit de gaz d'alimentation de 101-E.	36
Figure III.3. Les conditions opératoires MDEA pauvre d'alimentation de 101-E.....	36
Figure III.4. Les fractions des produits de gaz d'alimentation de la colonne 101-E.	38
Figure III.5. Variation de température en fonction de nombre de plateaux.	40
Figure III.6. Variation des compositions de CO ₂ en fonction de nombre de plateaux.	41
Figure III.7. Variation de pression en fonction de nombre de plateaux.	41
Figure III.8. Variation de débit de vapeur en fonction de nombre de plateaux.....	42
Figure III.9. Variation de débit de liquide en fonction de nombre de plateaux.	43
Figure III.10. Variation de composition de CO ₂ en fonction de nombre de plateaux.	44
Figure III.11. Variation de composition de CO ₂ en fonction de pression de tête.....	45
Figure III.12. Variation de composition de CO ₂ en fonction de pression de fond	46
Figure III.13. Variation de CO ₂ en fonction débit de liquide.	47

LA LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1. Schéma PFD de la colonne d'absorption 101-E.	35
Tableau III.2. Composition design de gaz d'alimentation du l'absorbeur 101-E.	37
Tableau III.3. Composition du gaz de synthèse après l'absorption.	39
Tableau III.4. Paramètres de sortie du cas design et de la simulation de 101-E.	39

Liste d'abréviations

°C : degree Celsius

101-E : une colonne d'absorption

105D : le convertisseur d'ammoniac

106-F : séparateur

107-F : ballon

112-F : réfrigération

121-C : l'échangeur

2101-F : le réservoir frigorifique

A : composé

AGCS : Acid Gas-Chemical

Solvents

aMDEA : activateur Méthyl Diéthanolamine

B : réactif

B-6103, 58B-1101 : réservoir sphéroïde

BASF : Badische Anilin und Soda Fabrik

C : catalyseur

CA : concentration d'un constituant A

CEA/Z : Complexe d'Engrais Azoté/Arzew

DAB : Coefficient de diffusion de A dans le milieu considéré

GN : gaz naturel

H : Etant la constante de HENRY

IAP : l'Institut Algérien de Pétrole

MDEA : méthyl-di-éthanol-amine

NA : Flux transféré par unité d'aire interfaciale

P : Pression partielle du soluté dans la phase gazeuse

P0 : Pression de vapeur saturante

PA : Pression partielle du composé A dans la phase gazeuse

Pt : Pression totale du système

R1102 : Le convertisseur primaire

R1104 : le convertisseur secondaire

SPA : Société par Actions

SRK : Soave Riedlich Kwong

USA : United States of America

Xi : fraction molaire du constituant

Yi : Titre molaire du soluté dans la phase gazeuse

Z : Distance de transfert

α : constante d'équilibre

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviations

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Présentation du complexe FERTIAL

I.1. Introduction 3

I.2. Historique 3

I.3. Situation géographique du complexe FERTIAL 4

I.4. L'objectif et l'activité du complexe FERTIAL..... 4

I.5. Les différentes composantes du complexe FERTIAL 5

I.5.1. Unité de production d'ammoniac 5

I.5.2. Unité de production d'acide nitrique (procédé chemico) 5

I.5.3. Unité de production d'engrais azoté (procédé chemico) 5

I.6. Laboratoire 5

I.7. Les utilités 5

I.8. Unité de synthèse de l'ammoniac..... 6

I.8.1. Utilisation de l'ammoniac 6

I.8.2. Procédé de synthèse de l'ammoniac 7

I.8.2.1. Désulfuration du gaz naturel 7

I.8.2.2. Reforming du gaz naturel 8

Reforming Primaire..... 8

Reforming Secondaire..... 9

I.8.2.3. Conversion du monoxyde de carbone 9

I.8.3. Décarbonatation du gaz reformé..... 10

I.8.2.5. La méthanisation 10

I.8.2.6. Opération de compression du gaz de synthèse 10

I.8.2.7. Synthèse et réfrigération de l'ammoniac..... 10

I.8.2.8. Stockage et distribution de produit..... 11

I.8.3. Spécifications du produit..... 11

Chapitre II : Théorie de l'absorption

II.1. Introduction sur l'absorption 12

II.2. Définition de l'absorption 12

II.3. Principe générale de l'absorption 12

II.4. Types d'absorption 13

II.4.1. L'absorption chimique 13

II.4.2.	L'absorption physique.....	13
II.4.2.1.	Transfert de matière entre phases.....	13
II.4.2.1.1.	Le concept d'équilibre.....	14
❖	Loi de DALTON.....	15
❖	Loi de RAOULT.....	16
II.4.2.1.2.	Modèles de présentation du transfert entre phases.....	16
II.4.2.2.	La relation d'équilibre.....	16
II.5.	Types d'absorbants.....	16
II.5.1.	La colonne à plateaux.....	17
II.5.2.	La colonne à garnissage.....	18
II.6.	Description et principe de fonctionnement.....	19
II.7.	Les différentes variables qui influencent le fonctionnement des colonnes d'absorption.....	20
II.8.	But et les performances des absorbants.....	21
II.9.	Dynamique des colonnes d'absorption.....	21
II.10.	Les avantages et les Inconvénients.....	22
➤	Avantages.....	22
➤	Inconvénients.....	22
II.11.	Mécanisme d'absorption chimique de L'AMDEA.....	22
II.11.1.	L'avantage de L'AMDEA.....	24
II.11.1.1.	Flexibilité.....	24
II.11.1.2.	Non corrosivité.....	24
II.11.1.3.	Non toxicité.....	24
II.11.1.4.	Consommation d'énergie.....	25
II.11.1.5.	Faible absorption d'hydrocarbures.....	25
II.11.1.6.	Faible ajout de solvant de compensation.....	25

Chapitre III : Présentation de logiciel Aspen HYSYS

III.1.	Introduction.....	26
III.2.	L'objectif de simulation.....	26
III.3.	Quand doit-on utiliser un simulateur.....	27
III.4.	Principe de fonctionnement et le rôle de simulation.....	27
III.5.	Utilisation de la simulation.....	28
III.6.	L'importance de simulation.....	28
III.7.	Les avantages de simulation.....	29
III.8.	Les inconvénients de simulateur.....	29
III.9.	Définitions de Aspen HYSYS.....	30
III.9.1.	Mode de fonctionnement de HYSYS.....	30
III.9.4.1.	Simulation statique.....	30
III.9.4.1.	Simulation dynamique.....	30
III.9.2.	Le choix de modèle thermodynamique.....	31
III.9.3.	Concepts de base du simulateur HYSYS.....	32
III.9.4.	L'environnement dans Aspen HYSYS.....	33
III.9.4.1.	L'environnement de propriétés.....	33

III.9.4.2. L'environnement de simulation.....	34
III.9.5. L'importance de HYSYS.....	34
III.10. Simulation du la colonne d'absorption 101-E pour le cas design.....	35
III.11. La charge à traiter.....	37
III.12. La charge du gaz traite	38
III.13. Comparaison des paramètres de la colonne 101E du cas design et cas simulation par HYSYS V8.8...	39
III.14. Etudes des profils des paramètres de fonctionnement de la colonne d'absorption en fonction de nombre de plateaux	40
III.14.1. Profil de temperature.....	40
III.14.2. Profil de la composition de CO ₂	40
III.14.3. Profil de pression.....	41
III.14.4. Profil du débit de vapeur	42
III.14.5. Profil du débit de liquide	42
III.15. Les paramètre d'influence l'absorption du dioxyde de carbone CO ₂ dans la colonne d'absorption...	43
III.15.1. Le nombre de plateaux	43
III.15.2. Pression	45
III.15.3. Débit de liquide (MDEA).....	46
Conclusion	48
Bibliographique	



Introduction Générale

Introduction générale

L'Algérie a choisi de développer une stratégie de complémentarité entre l'industrie et l'agriculture en créant des usines de production de fertilisants qui utilisent sa richesse en gaz naturel. Au cours de la dernière décennie, les procédés de fabrication des fertilisants à base d'ammoniac n'ont pas subi de changements majeurs. Les améliorations apportées visaient principalement à réduire la consommation d'énergie et à augmenter la production d'ammoniac. En termes de tonnage produit dans le monde, l'ammoniac est l'un des produits chimiques de synthèse les plus importants, se classant au deuxième rang derrière l'acide sulfurique. Environ 87% de la production d'ammoniac est utilisée pour fertiliser les sols, ce qui signifie que la consommation d'ammoniac devrait suivre la croissance de la population mondiale. FERTIAL est l'une des principales usines exportatrices d'ammoniac dans le monde et utilise le gaz naturel provenant de Hassi-Rmel, l'eau de mer et l'air atmosphérique comme matières premières pour produire de l'ammoniac dans des conditions industrielles appropriées [1].

Cependant, l'alimentation du complexe FERTIAL par le gaz de synthèse nécessite l'apport de CO_2 , car celui-ci est nécessaire au bon fonctionnement de certaines colonnes d'absorption. Cependant, l'utilisation de ces colonnes peut entraîner des coûts élevés, car elles requièrent l'utilisation de produits chimiques coûteux pour fonctionner de manière efficace. Ainsi, cela peut augmenter les coûts d'exploitation. Notre travail porte sur l'étude de fonctionnement d'une colonne d'absorption par Hysys 8.8 au niveau du complexe FERTIAL [2].

Pour assurer une organisation claire et efficace de notre travail, ce mémoire est divisé en trois chapitres distincts.

Le premier chapitre de ce mémoire présente le complexe FERTIAL ainsi que ses objectifs et ses activités.

Le deuxième chapitre se concentre sur la théorie générale de l'absorption en décrivant ses différents types, en détaillant la description de la colonne d'absorption et en expliquant son principe de fonctionnement.

Le troisième chapitre est consacré à une présentation globale du logiciel Aspen HYSYS, utilisé pour simuler la colonne d'absorption 101-E. Ce chapitre décrit également les calculs et les discussions des résultats obtenus grâce à la simulation HYSYS.

Enfin, ce mémoire se conclut par une synthèse des résultats importants obtenus dans cette étude sur la colonne d'absorption 101-E, ainsi que des perspectives recommandées pour de futures recherches.

Chapitre

I

**Présentation du complexe
FERTIAL**

I.1. Introduction

La compagnie "FERTIAL" est une filiale d'Asmidal qui se spécialise dans la production d'engrais azotés et phosphatés et est située à Arzew. Elle a été créée à partir de la restructuration d'Asmidal, qui provient elle-même de la restructuration de Sonatrach. FERTIAL a été acquise à hauteur de 66% (environ 123 millions d'euros) par le groupe espagnol Villar Mir, tandis qu'Asmidal détient toujours les 34% restants [1].

Les exportations d'ammoniac de FERTIAL sont destinées à plusieurs pays, notamment l'Espagne, la France, l'Italie, la Grèce, la Belgique, Cuba, la Grande-Bretagne, le Maroc et la Turquie. En général, FERTIAL est très engagée dans le développement de l'agriculture en Algérie. Ce chapitre a pour objet de présenter : l'historique, la situation géographique, l'objectif et l'activité du complexe FERTIAL, ainsi que leurs différentes composantes : laboratoire, les utilités et unité de synthèse de l'ammoniac.

I.2. Historique

C'est en 1967 que fut décidée par Sonatrach la construction d'un complexe d'engrais phosphatés à Annaba. Les unités de production d'acide sulfurique et phosphorique et d'une gamme d'engrais sont entrées en production en 1972, ainsi que certaines utilités industrielles venant en appui.

Ce complexe a connu une extension en 1982 avec l'installation d'unités d'acide nitrique, de nitrate d'ammonium et de tri polyphosphate de soude. En 1975, fut créé le complexe d'engrais azotés avec la participation de Creusot-Loire industrie et Krebs (France) et Kellogg (USA) entré en production en 1984. S'agissant de l'unité d'ammoniac Kellogg, celle-ci est entrée en production en 1987.

Avec la restructuration des entreprises publiques en 1984, toutes les unités de ce complexe sont entrées en portefeuille sous la nouvelle entité Asmidal qui deviendra société par actions en 1996. De son côté, l'usine d'Arzew, ou le complexe d'engrais Azoté/Arzew (CEA/Z), a été installée dans les années 1960 à l'intérieur de la zone industrielle d'Arzew et dépendait à l'époque de l'entreprise nationale d'hydrocarbures Sonatrach [3].

En septembre 1984, l'usine fut intégrée à celle d'Annaba pour donner naissance au Complexe Asmidal, suite à la promulgation du décret 84-258 du 01 septembre 1984 qui a consacré aussi la restructuration de Sonatrach.

En 1996, le complexe Asmidal a été érigé en société par actions (SPA). Et depuis, l'usine d'Arzew a évolué en tant que filiale du Groupe algérien Asmidal par la résolution de l'assemblée générale extraordinaire signée le 31 janvier 2001.

Avec les réformes économiques engagées par le Gouvernement algérien, un accord de partenariat été conclu entre Asmidal et le groupe espagnol Villar Mir, Ainsi est né FERTIAL qui regroupe les unités d'Annaba et d'Arzew.

I.3. Situation géographique du complexe FERTIAL

Le complexe d'ammoniac, d'une superficie de 44 ha avec un effectif de 750 agents est situé au bord de la mer, sur la plateforme industrielle d'Arzew à 40 Km à l'ouest d'Oran, 04 Km à l'est d'Arzew et 03 Km à l'ouest de Bethioua.

Il est limitrophe de l'usine GNL1 à l'est, de l'usine GPL2 à l'ouest, et de l'Institut Algérien de Pétrole (IAP) au sud [1].

I.4. L'objectif et l'activité du complexe FERTIAL

FERTIAL a été conçu pour atteindre trois objectifs essentiels :

- Valoriser les hydrocarbures par un traitement local.
- Dégager un surplus pour l'exportation des engrais et de l'ammoniac.
- Satisfaire la demande nationale en matière d'engrais azoté.

Et pour réaliser ces objectifs FERTIAL dispose de :

- Deux unités de production de l'ammoniac (10-I, 10-II) avec une capacité de production de 1000 tonnes/J, suivant deux procédés différents.
- Trois unités de production de l'acide nitrique (20-I, 20-IIA/IB) fonctionnent selon le procédé CHEMICO et dans la gamme de production est de 400 tonnes/j/unité.
- Trois unités de nitrate d'ammonium (30-I, 30-IIA/B) selon CHEMICO produisant 500 tonnes/j/unité.
- Trois centres utilités pour le traitement d'eau de mer et la production d'eau distillée, de vapeur d'eau (50-I, 50-II, 50-III).
- Un groupe turbo alternateur pour la production d'énergie électrique. Deux unités de stockages et de conditionnement des engrais (U70).
- Un centre pour le stockage d'ammoniac (U80).
- Un laboratoire pour les analyses chimique et physique.

I.5. Les différentes composantes du complexe FERTIAL

I.5.1. Unité de production d'ammoniac

Production de 1000 tonnes/jour d'ammoniac liquide en partant de matière première préliminaire le gaz naturel (GN), la vapeur d'eau et de l'air.

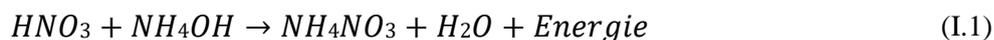
I.5.2. Unité de production d'acide nitrique (procédé chemico)

FERTIAL possède une importante unité de production d'acide nitrique avec une capacité de production annuelle 2.400.000 tonnes. L'acide nitrique est produit à partir de l'ammoniac et l'air atmosphérique dans ce complexe en présence d'un catalyseur qui est la platine rhodienne, la production de l'acide nitrique passe par 4 étapes :

- Compression de l'air atmosphérique.
- Evaporation.
- Absorption du dioxyde d'azote.
- Combustion des gaz d'échappement.

I.5.3. Unité de production d'engrais azoté (procédé chemico)

Le nitrate d'ammonium est produit sous forme de nitrate d'ammonium granulé à 34.5% d'azote. La vapeur d'ammoniac surchauffée et l'acide nitrique en solution aqueuse réagissent dans le neutraliser pour donner du nitrate d'ammonium selon cette réaction :



I.6. Laboratoire

Un laboratoire est mis en place pour le contrôle de la qualité des différents produits, matières premières semi-finis et produits finis et voir s'ils sont conformes aux normes exigées par l'organisme. Il permet aussi de contrôler la composition et les anomalies liées aux procédés de séparations et de purifications [2].

I.7. Les utilités

Le premier matériau nécessaire aux unités fonctionnelles du complexe FERTIAL est produit par ces unités [3].

Trois centres utilités pour:

- Le traitement d'eau de mer.

- La production d'eau distillée.
- La production de vapeur d'eau. Et autres unités :
- Un groupe turbo alternateur pour la production d'énergie électrique.
- Deux unités de stockages et de conditionnement des engrais.
- Un centre pour le stockage d'ammoniac.
- Un laboratoire pour les analyses chimiques et physiques.

I.8. Unité de synthèse de l'ammoniac

L'ammoniac est un composé chimique avec la formule NH_3 (groupe général azote et hydrogène). Un des composés les plus synthétisés au monde, ce gaz est produit industriellement en grandes quantités à des conditions de température et de pression typiques par une variété de processus. Il est utilisé dans la synthèse de plusieurs autres composés, y compris ceux avec des tonnages élevés utilisés comme engrais.

Les produits chimiques les plus importants de la synthèse en termes de quantités de production sont l'ammoniac, l'acide sulfurique et l'éthylène. Il est utilisé pour la fertilisation du sol dans environ 90% des cas. Les principaux engrais fabriqués à partir d'ammoniac sont l'urée, le nitrate, le sulfate et les phosphates d'ammoniums. C'est en dépit de la tendance actuelle vers une réduction légère des quantités d'engrais utilisées pour les cultures. L'ammoniac est également le réactif de base dans de nombreux processus synthétiques [4].

L'ammoniac permet la nitration des traitements d'acier dans la transformation des métaux. Il est également un agent de réfrigération traditionnel dans l'industrie du froid.

L'idée fondamentale derrière le processus de synthèse de l'ammoniac est de réguler rigoureusement les rapports de réaction (raison molaire : $\text{H}_2/\text{N}_2 = 3$).

I.8.1. Utilisation de l'ammoniac

L'utilisation principale de l'ammoniac est dans la production d'engrais et d'une variété de produits touchant différents domaines. Dans l'industrie de la réfrigération industrielle, il sert de gaz réfrigérant. L'ammoniac anhydre est également utilisé comme engrais pour l'agriculture. Il est incorporé directement dans le sol sous forme d'ammoniac liquéfié sous pression. Lorsqu'il est dissous dans l'eau, l'ammoniac se transforme en une base ammoniacale ayant pour formule NH_4OH .

I.8.2. Procédé de synthèse de l'ammoniac

La synthèse directe de l'ammoniac est le principal procédé de production utilisé, qui utilise de l'hydrogène et de l'azote comme matières premières et est réalisée sous haute pression en utilisant des méthodes telles que le reformage KELLOGG pour $\text{NH}_3(2)$ et le CHEMICO pour $\text{NH}_3(1)$

Le schéma du procédé est présenté dans la Figure (I. 1).

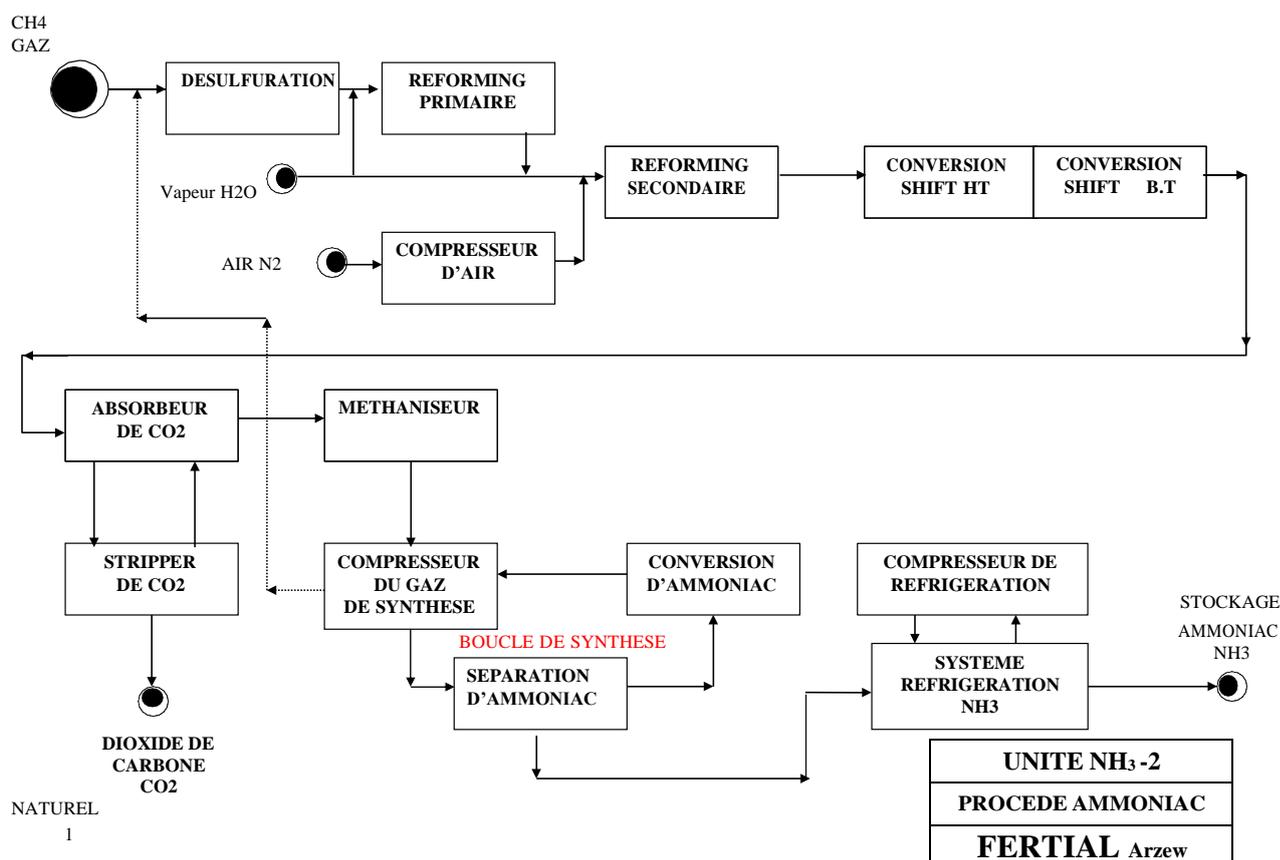
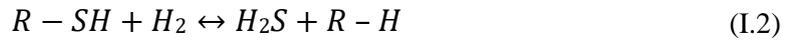


Figure I.1. Schéma de principe d'unité d'ammoniac.

I.8.2.1. Désulfuration du gaz naturel

Lorsque le gaz naturel est utilisé comme alimentation de l'unité d'ammoniac, il peut contenir des composés de soufre qui sont considérés comme des polluants pour les catalyseurs à base de nickel et de cuivre. Pour éliminer ces polluants et protéger les catalyseurs, une désulfuration est nécessaire. Cette étape utilise l'hydrogène pour réagir avec le gaz naturel, qui est préalablement comprimé à une pression de 40 bars et chauffé à une température de 400°C . La désulfuration se déroule en deux parties distinctes [5].

Le processus de désulfuration commence par la conversion du soufre organique en H_2S sur un lit catalytique de cobalt, situé dans la partie supérieure. Cette réaction est décrite par l'équation suivante :



Dans la partie inférieure du réacteur de désulfuration, le sulfure d'hydrogène produit lors de la conversion du soufre organique est absorbé sur un lit catalytique d'oxyde de zinc. La réaction qui se produit est la suivante :



À la sortie de cette section, la teneur en soufre est réduite à moins de 0,25 ppm grâce à la désulfuration du gaz naturel. Il est également important de noter que le catalyseur ZnO occupe un volume de $9,9 \text{ m}^3$ et peut absorber jusqu'à 18% en poids de soufre, tandis que le catalyseur Co/Mo occupe un volume de 6 m^3 . La figure (I.2) illustre le processus de désulfuration.

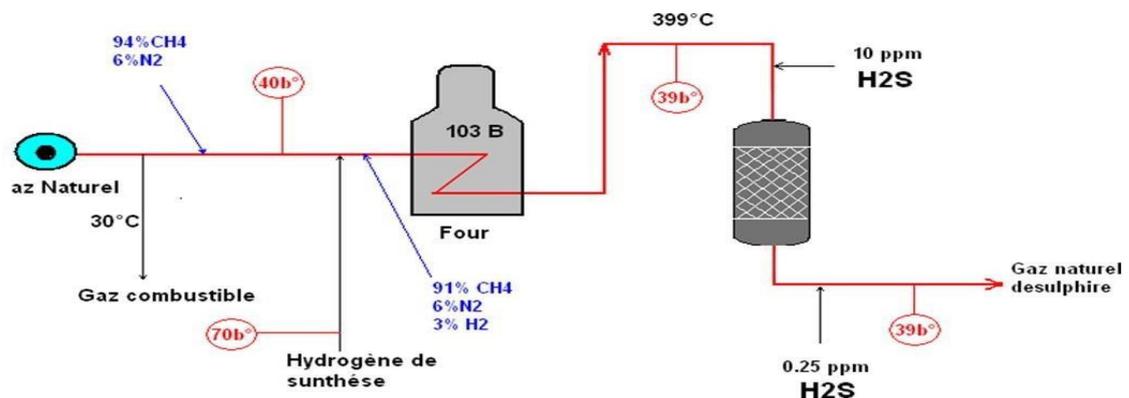


Figure I.2. Désulfuration du gaz.

I.8.2.2 Reforming du gaz naturel

Le processus de reforming du GN se déroule en deux étapes distinctes :

Reforming primaire.

Reforming Secondaire.

Reforming Primaire

Le mélange de vapeur d'eau et de gaz naturel (qui est désulfuré et contient moins de 0,25 ppm de soufre) est chauffé dans la section de conversion du four de reformage. Ce processus a lieu à travers.

378 tubes remplis de catalyseur à base de Nickel, et le mélange sort à une température de 820 °C et à une pression de 32 bars conformément à la réaction suivante :



Les réactions (I.4) et (I.5) sont endothermiques et la réaction (I.6) est exothermique.

Reforming Secondaire

Le reforming secondaire produit du méthane avec un catalyseur à base de nickel, tandis que la réaction dans le reforming primaire est ajustée pour atteindre une teneur de méthane de 9 à 10%. Avant d'être brûlé pour produire de l'énergie, le gaz de procédé est mélangé avec de l'air comprimée de la vapeur préchauffée [1].

Les réactions chimiques les plus importantes qui se produisent dans le reforming secondaire sont les suivantes :



Les réactions (I.7) et (I.9) sont exothermiques et les réactions (I.8) et (I.10) sont endothermiques.

I.8.2.3. Conversion du monoxyde de carbone

Le gaz de la chaudière de récupération est traité dans deux convertisseurs. Le convertisseur primaire R1102 à haute température convertit le CO en CO₂, réduisant ainsi son taux de 12 à 2,8%. Le CO₂ est ensuite dirigé vers le convertisseur secondaire R1104 à basse température où le taux de CO est réduit de 2,85 à 0,35%.

La réaction chimique impliquée dans cette opération de conversion est la suivante :



I.8.2.4. Décarbonatation du gaz reformé

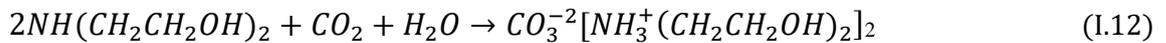
Le gaz procès est envoyé à la section de décarbonatation où il est traité dans une colonne d'absorption 101E pour éliminer le CO₂ à l'aide d'une solution aqueuse appelée l'aMDEA.

La vapeur d'eau est séparée par condensation et une partie du CO₂ récupéré est exportée pour la production de méthanol.

Le processus permet de réduire la teneur en CO₂ du gaz à des niveaux inférieurs à 500 ppm[4].

Réaction d'extraction du CO₂ par l'aMDEA :

- Réaction d'extraction du CO₂ par l'Amdea



- Réaction de régénération de l'aMDEA :



I.8.2.5. La méthanisation

Cette étape vise à éliminer les résidus de CO et de CO₂ en transformant tous les oxydes carboniques en méthane et en eau grâce à un catalyseur à base de nickel. Les réactions suivantes ont lieu :



Le méthaniseur contient 19,8m³ de catalyseur, il est calculé pour réduire la teneur en CO et CO₂ dans le gaz de synthèse inférieur à 10ppm [5].

I.8.2.6. Opération de compression du gaz de synthèse

Le gaz de synthèse provenant du méthaniseur est comprimé dans le compresseur de synthèse après avoir été refroidi en trois étapes. L'eau extraite est jetée et le gaz est comprimé à environ 63 bars avec une ligne de recyclage avant d'être refoulé à 113 bars. Le gaz refroidi par l'ammoniac est séparé dans le séparateur et l'ammoniac est récupéré dans le ballon, tandis que le gaz contenant de l'ammoniac est envoyé au convertisseur d'ammoniac [5].

I.8.2.7. Synthèse et réfrigération de l'ammoniac

Le gaz de synthèse est acheminé vers le convertisseur d'ammoniac (105D) équipé d'un catalyseur à base de fer d'une capacité de 64 m³. Le gaz est à une température de 144°C et une pression de 107 bars lorsqu'il pénètre dans le réacteur de synthèse.

Le gaz passe à travers quatre lits catalytiques à base de fer, où l'hydrogène et l'azote en circulation réagissent pour produire de l'ammoniac avec une teneur de 14,50%. La réaction se produit à une température de 410°C et une pression de 107 bars.



$$(\Delta H^\circ_{298} = -98 \text{ KJ/mole})$$

Le gaz sortant du réacteur de synthèse est à une température de 321°C et une pression de 103 bars. Il est ensuite refroidi à une température de 166°C, puis jusqu'à 43°C dans l'échangeur (121- C). L'ammoniac formé se condense et est collecté dans le ballon (107-F). Ce dernier est combiné avec le gaz pauvre en ammoniac provenant du (108-F) et chauffé à environ 21°C dans l'échangeur (139-C). La liquéfaction de l'ammoniac se fait par condensation à différents niveaux de refroidissement et dans le séparateur (106-F) à une température de 23°C et à une pression de 107 bars. Le refroidissement est réalisé en trois étapes successives : 13°C, - 7°C et -33°C. L'ammoniac liquide est extrait au 3ème étage du ballon de détente de réfrigération (112- F) à une température de -33°C [2].

I.8.2.8. Stockage et distribution du produit

Il y a trois options pour la distribution du produit ammoniac depuis l'unité de synthèse :

- A l'unité d'acide nitrique.
- Au réservoir sphéroïde (B-6103) stockage intermédiaire.
- Au réservoir sphéroïde neuf volets (58B-1101).

L'ammoniac sortant des pompes de l'unité peut être soit liquéfié et réchauffé à 10°C pour être directement distribué aux unités consommatrices ou aux réservoirs existants, soit réfrigéré à -33°C et stocké dans le réservoir frigorifique (2101-F). Ce réservoir permet ensuite le transfert de l'ammoniac aux réservoirs de stockage du port d'Arzew ou d'autres unités consommatrices via les pompes de transfert. Si besoin, une pompe installée dans le port peut renvoyer l'ammoniac au réservoir 2101-F.

I.8.3. Spécifications du produit

Le produit obtenu a les spécifications suivantes :

- $\text{NH}_3 = 99,5\%$ minimum
- $\text{H}_2\text{O} = 0,5 \%$ maximum
- Huile = 10 ppm maximum

Chapitre

II

Théorie de l'absorption

II.1. Introduction sur l'absorption

L'absorption est un processus fondamental utilisé dans de nombreux domaines de l'industrie, tels que la séparation des gaz, la purification de l'air et la production de produits chimiques. C'est un processus qui implique le transfert de matière d'un gaz à un liquide, où le gaz est généralement le composant à séparer et le liquide est le solvant utilisé pour absorber le gaz [6].

Les colonnes d'absorption sont l'un des types les plus courants d'équipements utilisés pour réaliser cette séparation. Ils sont constitués d'un lit de remplissage et d'une tour de distillation, où le liquide de solvant coule sur le lit de remplissage et absorbe le gaz. Les colonnes d'absorption sont conçues pour maximiser l'efficacité de la séparation en fonction de plusieurs variables, telles que la température, la pression, la vitesse de gaz, la concentration des composants et les propriétés physiques des liquides et des gaz [7].

Ce chapitre est consacré à la théorie générale de l'absorption : définition, principe, types ainsi qu'il décrit les types d'absorbants, leurs principes de fonctionnement et les différentes variables qui influencent leurs fonctionnements.

II.2. Définition de l'absorption

L'absorption est un processus de transfert de matière dans lequel un ou plusieurs composants d'un gaz sont dissous dans un liquide. Cette opération unitaire est largement utilisée dans l'industrie chimique pour séparer et purifier des mélanges de gaz, les colonnes d'absorption sont l'un des équipements les plus couramment utilisés pour réaliser cette opération [8].

Le principe de fonctionnement de ces colonnes repose sur la mise en contact d'un gaz à traiter avec un liquide absorbant qui peut sélectivement dissoudre les composants ciblés du gaz. La différence de solubilité entre les différents composants du mélange de gaz permet de les séparer en les dissolvant dans le liquide absorbant selon leur affinité [9].

II.3. Principe générale de l'absorption

Le principe fondamental de l'absorption repose sur la séparation des éléments d'un mélange gazeux en les absorbant dans un liquide. Cette méthode est couramment utilisée pour purifier les gaz, récupérer des solvants et éliminer les polluants atmosphériques. Les solvants, appelés liquides absorbants, peuvent être des liquides organiques tels que les hydrocarbures et les amines, ou des liquides inorganiques comme l'eau [10].

Le processus d'absorption peut être exothermique ou endothermique, selon qu'il produit ou absorbe de la chaleur. Plusieurs facteurs influent sur le taux d'absorption, notamment la surface de contact entre le gaz et le liquide [11].

L'industrie utilise principalement trois types de colonnes d'absorption : les colonnes à plateau, les colonnes à garnissage et les colonnes à membrane. Chacune de ces colonnes présente des avantages et des inconvénients selon l'application spécifique.

L'absorption est basée sur un équilibre physique qui se produit lorsque deux phases sont mises en contact : une phase gazeuse contenant une substance et une phase liquide dans laquelle cette substance est soluble [12].

II.4. Types d'absorption

Il est possible de distinguer deux formes d'absorption :

II.4.1. L'absorption chimique

La dissolution d'une substance dans un liquide qui entraîne la formation d'un composé chimique plus ou moins stable est communément appelée réaction chimique en phase liquide. Les processus industriels de traitement des effluents liquides et gazeux impliquent souvent des réactions chimiques en phase liquide. Dans un système gaz-liquide, un gaz absorbé, tel que le composé A, réagit de manière réversible ou irréversible avec le réactif B dissous dans le liquide en présence d'un catalyseur C. Le composé A est transféré de la phase gazeuse à la phase liquide où il se dissout et réagit avec B.

L'absorption d'un gaz accompagnée d'une réaction chimique en phase liquide peut améliorer l'efficacité de la séparation, comme c'est le cas pour l'absorption de CO₂ dans une solution aqueuse de carbonate, d'amine, etc. Elle peut également améliorer la sélectivité de la séparation, par exemple dans le cas de l'absorption de CO₂ et de H₂S dans des solutions d'éthanol amine [13].

II.4.2. L'absorption physique

L'absorption physique, il n'y a pas de réaction chimique entre le soluté et le solvant. Le soluté est simplement transféré de la phase gazeuse vers la phase liquide et dissout dans cette dernière. La concentration à l'équilibre du constituant absorbé dépend principalement de la pression partielle dans la phase gazeuse [13].

II.4.2.1. Transfert de matière entre phases

L'absorption est un processus qui consiste en la migration d'un gaz contenu dans un mélange gazeux ou dans un gaz pur vers une solution liquide. Les modèles théoriques de transfert de matière en phase liquide sont développés dans le but d'analyser ce phénomène

et de comprendre la migration du soluté gazeux vers la phase liquide dans les appareils d'absorption. Le flux de transfert de matière peut être décrit par la loi de Fick.

$$N_A = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z} \quad (\text{II.1})$$

D_{AB} : Coefficient de diffusion de A dans le milieu considéré (m/s).

N_A : Flux transféré par unité d'aire interfaciale (mol/m.s).

Z : Distance de transfert (m).

C_A : concentration d'un constituant A.

II.4.2.1.1. Le concept d'équilibre

Pour qu'il y ait transfert de matière ou diffusion entre deux points dans une même phase, il est nécessaire que se crée un potentiel qui se manifeste généralement par une différence de concentration. Cependant, si l'on souhaite décrire le passage d'un composé d'un mélange d'une phase à une autre, il convient plutôt de se concentrer sur l'équilibre entre les phases plutôt que sur la différence de concentration.

Dans un système hétérogène, on peut estimer la quantité maximale de matière transférable entre les phases en se basant sur les principes d'équilibre entre phases. En présence d'un temps de contact suffisant, il est possible d'observer les concentrations d'équilibre [11].

Sur la figure (II.1), on peut observer la courbe d'équilibre qui illustre la répartition d'une substance entre une phase liquide et une phase gazeuse à l'état d'équilibre.

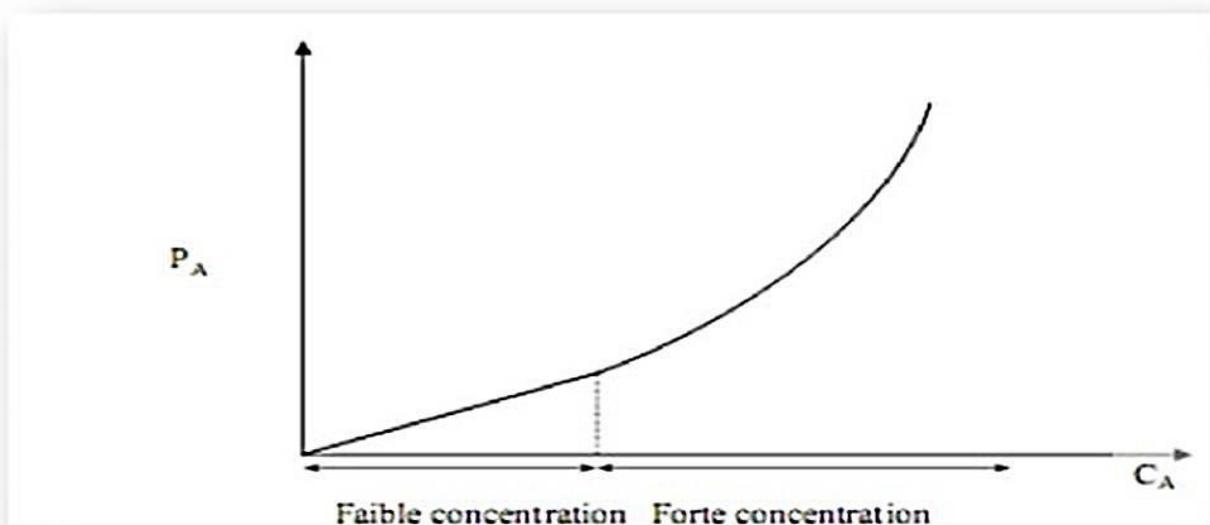


Figure II.1. Distribution du soluté A à l'équilibre entre la phase gazeuse et la phase liquide à une température donnée.

Avec :

C_A : Concentration du composé A dans la phase liquide (mol/m).

P_A : Pression partielle du composé A dans la phase gazeuse (atm).

Dans la zone des faibles concentrations (solutions diluées), la courbe d'équilibre est caractérisée par une droite. Celle-ci peut être exprimée par une relation linéaire, connue sous le nom de « loi de HENRY ».

La loi de HENRY étant :

$$P_A = H \times C_A \quad (\text{II.2})$$

Où :

H : Etant la constante de HENRY.

C_A : Etant la concentration à l'équilibre dans la phase liquide du composé A (mol/ m).

P_A : Etant la pression partielle à l'équilibre dans la phase gazeuse du composé A (atm).

Les lois de Dalton et de Raoult sont des principes fondamentaux en chimie physique utilisés pour étudier les équilibres liquide-gaz dans des mélanges spécifiques. Elles permettent de lier les pressions partielles des gaz dans le mélange liquide-gaz à la concentration du gaz dans la phase liquide ou à sa pression maximale de vapeur. En d'autres termes, ces lois décrivent comment la pression totale du mélange de gaz est répartie entre les différents gaz présents dans la solution liquide [12].

❖ Loi de DALTON

En tenant compte de la formule de DALTON, qui est valable pour les gaz parfaits, la formule de HENRY subit une transformation.

$$P = y_i \times P_t \quad (\text{II.3})$$

P : pression partielle du soluté dans la phase gazeuse.

y_i : Titre molaire du soluté dans la phase gazeuse.

P_t : Pression totale du système.

❖ Loi de RAOULT

La loi de RAOULT est considérée comme une loi limite qui s'applique aux mélanges parfaits ou idéaux, qui sont composés de corps ayant des structures similaires. Lorsque la température est maintenue constante, pour un gaz en équilibre avec une solution idéale, la pression partielle du soluté dans la phase gazeuse est égale au produit de la pression de vapeur maximale du soluté par sa concentration molaire dans la solution.

$$P = x_i \times P_0 \quad (\text{II.4})$$

P : Pression total de mélange

P₀ : Pression de vapeur saturante

x_i : fraction molaire du constituant

II.4.2.1.2. Modèles de présentation du transfert entre phases

Pendant le processus d'absorption, il existe plusieurs modèles qui décrivent le transfert de matière entre les phases liquide et gazeuse. Les modèles les plus connus sont:

- Modèle du double film de LEWIS et WHITMAN (1924).
- Modèle de la pénétration de HIGBI (1935).
- Modèle de DANCKWERTS (1951).

II.4.2.2. La relation d'équilibre

La relation suivante permet d'exprimer le rapport entre les compositions des composants(i) dans la phase liquide et la phase vapeur (gaz) :

$$Y = \alpha \times x_i \quad (\text{II.5})$$

Où :

Y : la composition en phase gazeuse (moles de soluté / mole de liquide inerte).

x_i: la composition de la phase liquide (moles de soluté / mole de vapeur inerte).

α: paramètre (constante) d'équilibre (dépend de composition, de température et parfois de la volatilité).

II.5. Types d'absorbeurs

Il y a différents types de dispositifs pour établir le contact entre gaz et liquide. Les absorbeurs les plus fréquemment employés dans l'industrie sont les colonnes à garnissage, qui fonctionnent en contre-courant, et les colonnes à plateaux [14].

II.5.1. Colonnes à plateaux

Les colonnes à plateaux ont été initialement développées pour la distillation, mais peuvent aussi être employées pour l'absorption. Les plateaux équipés de déversoirs sont particulièrement adaptés à cette fonction, mais tous les types de plateaux peuvent être utilisés à cet effet.

Les plateaux sont des éléments clés des colonnes qui dispersent la phase gazeuse dans le liquide. Les dispositifs de dispersion divisent le gaz en jets indépendants pour augmenter la surface de contact avec le liquide. Les colonnes à plateaux font circuler le liquide du haut vers le bas et le gaz de plateau en plateau via des orifices, tandis que le liquide est généralement acheminé d'un plateau à l'autre par des conduites de descente avec déversoirs [15].

Le Schéma simplifié de colonne à plateaux est présenté dans la figure (II.2).

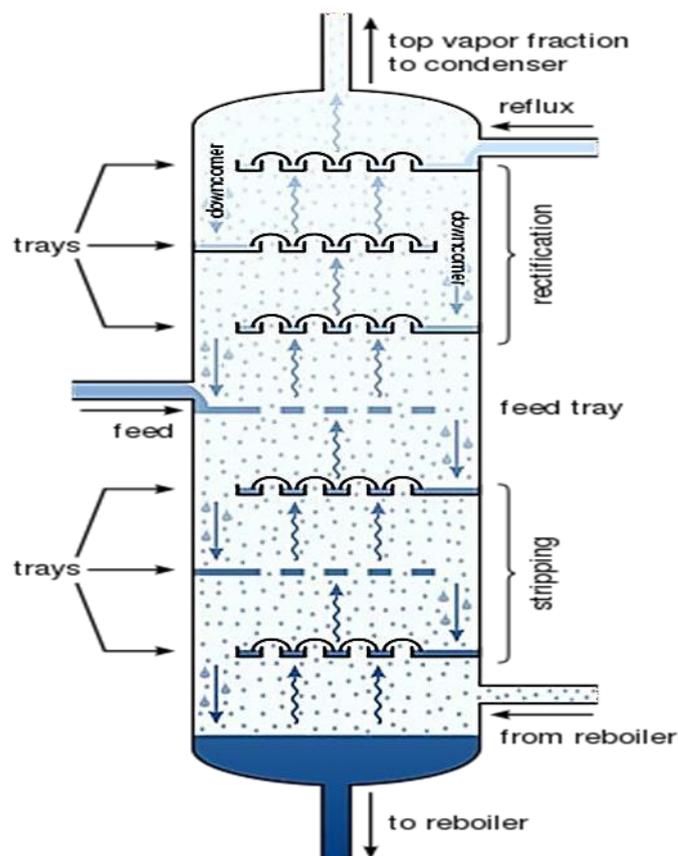


Figure II.2. Schéma simplifié de la colonne à plateaux.

A l'exception de certains dispositifs, les plateaux des colonnes peuvent être généralement regroupés en deux grandes catégories :

- Les plateaux à courants croisés.
- Les plateaux à contre-courant.
- Colonnes à garnissages.

II.5.2. La colonne à garnissage

La colonne à garnissage est un type de contacteur gaz-liquide simple et classique. Elle est constituée d'une colonne équipée d'un plateau de support et remplie d'un garnissage varié, souvent placé de manière aléatoire ou ordonnée. Le liquide circule par gravité le long du garnissage, après avoir été réparti par un plateau situé en haut de la colonne. En général, le gaz circule en contre-courant du liquide, bien que certaines configurations à co-courant ou à courants croisés puissent également être employées [11].

Les garnissages sont des composants souvent fabriqués à partir de divers matériaux tels que la céramique, le graphite, le métal, le verre ou encore la matière plastique. Au cours des dernières décennies, une variété de types de garnissages ont été développés. Le choix du type de garnissage dépend de plusieurs facteurs, notamment le coût du matériau, la surface spécifique, qui peut influencer les pertes de charge. Les dimensions des éléments de garnissage sont également importantes, car il est préférable de choisir des éléments de taille uniforme pour éviter les emboîtements lorsqu'ils sont chargés en vrac, et la résistance à la corrosion – qui peut nécessiter l'utilisation de matériaux tels que le verre, l'acier inoxydable, le graphite, la céramique ou même des métaux précieux [15].

Le Schéma simplifié d'une colonne à garnissages est présenté dans la figure (II.3).

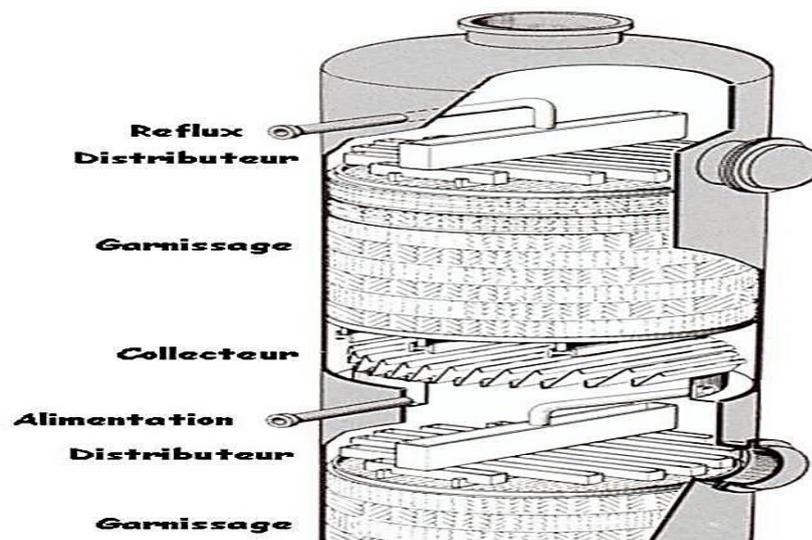


Figure II.3. Schéma simplifié d'une colonne à garnissages.

En plus du garnissage, la colonne comprend également les éléments suivants :

- Dans sa partie inférieure, un plateau pour soutenir le garnissage ainsi qu'un injecteur de gaz.
- Dans sa partie supérieure, un distributeur de liquide et parfois un dévésiculeur.

II.6. Description et principe de fonctionnement

En fonction de la manière dont le gaz et le liquide sont introduits dans la colonne, il est possible de distinguer trois types de colonnes :

- À contre-courant.
- À co-courant.
- À flux croisé.

Dans les colonnes à garnissage, le procédé consiste à pulvériser le liquide sur le garnissage, qui est disposé entre des grilles. Cela permet à la phase liquide contenant l'absorbant de former un film sur les éléments de garnissage, créant ainsi une zone de mouillage. Le garnissage, en créant des obstacles sur le parcours du liquide et du gaz à travers la colonne, permet :

- D'augmenter la surface de contact entre les deux phases.
- D'augmenter le temps de séjour des deux phases dans la colonne, et donc leur durée de contact.
- De créer un régime turbulent de la phase gazeuse [14].

La figure (II.4) illustre les différents arrangements de distribution des phases dans les colonnes à garnissage

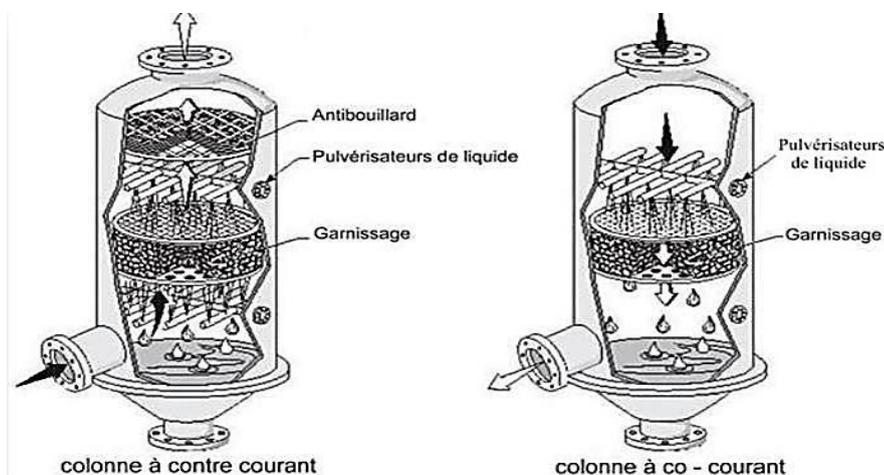


Figure II.4. Différents arrangements de distribution des phases dans les colonnes à garnissages.

II.7. Les différentes variables qui influencent le fonctionnement des colonnes d'absorption

- **Température** : la température affecte la solubilité des gaz dans les liquides. Une augmentation de la température diminue la solubilité des gaz dans les liquides et peut donc réduire l'efficacité de l'absorption.
- **Pression** : la pression peut avoir un impact important sur le fonctionnement des colonnes d'absorption. Une augmentation de la pression peut augmenter la solubilité des gaz dans les liquides, tandis qu'une diminution de la pression peut avoir l'effet inverse.
- **Vitesse de gaz** : la vitesse de gaz peut également influencer l'efficacité de l'absorption. Une vitesse de gaz plus élevée peut entraîner une dispersion plus importante des liquides, réduisant ainsi l'efficacité de l'absorption.
- **Concentration des composants** : la concentration des composants dans les liquides et les gaz peut avoir un impact sur l'efficacité de l'absorption. Des concentrations plus élevées peuvent augmenter la capacité d'absorption, mais peuvent également entraîner une saturation plus rapide des liquides.
- **Propriétés physiques des liquides et des gaz** : les propriétés physiques des liquides et des gaz, telles que la viscosité et la densité, peuvent également avoir un impact sur le fonctionnement des colonnes d'absorption [16].

Ces variables doivent être soigneusement évaluées lors de la conception et de l'optimisation des colonnes d'absorption pour garantir un fonctionnement optimal.

II.8. But et les performances des absorbeurs

L'absorbeur est un équipement qui permet de séparer les différents composants d'un mélange gazeux en les absorbant dans un liquide. Son principal but est de permettre l'isolement et la récupération des composants pour diverses applications, telles que la purification de gaz, la récupération de solvants et la dépollution atmosphérique. Le liquide utilisé dans le processus d'absorption est appelé solvant, et il peut être de nature organique, comme les hydrocarbures et les amines, ou inorganique, comme l'eau.

En absorbant les composants d'un mélange gazeux, l'absorbeur permet une séparation efficace et précise des différents composants pour une utilisation ultérieure, les objectifs des absorbeurs consistent à optimiser les échanges de matière entre deux phases en contact, à savoir une phase liquide et une phase gazeuse. Pour ce faire, les absorbeurs sont équipés de dispositifs internes visant à favoriser la dispersion de la phase gazeuse dans la phase liquide et à permettre la séparation des deux phases. Les performances des absorbeurs, à savoir leur rendement et leur sélectivité, dépendent de plusieurs phénomènes physiques et chimiques, tels que les équilibres thermodynamiques à l'interface, les lois de transport dans les phases, les lois de transfert au voisinage des interfaces et les cinétiques des réactions chimiques [17].

En effet, ces facteurs influent sur les solubilités, les diffusivités, les coefficients de transfert, les aires interfaciales, les schémas réactionnels, les constantes cinétiques et les ordres de réactions. Il est donc crucial d'optimiser ces facteurs pour obtenir des performances optimales des absorbeurs.

II.9. Dynamique des colonnes d'absorption

La dynamique des colonnes d'absorption est un aspect crucial de la conception et de l'optimisation des absorbeurs. Les colonnes d'absorption peuvent être conçues avec différentes configurations de plateaux ou de garnissages pour maximiser la surface de contact gaz-liquide et améliorer l'efficacité de l'absorption. La performance de la colonne dépend de plusieurs facteurs tels que le nombre et la hauteur des plateaux ou des garnissages, le débit de liquide de lavage, la vitesse de gaz, la composition du mélange gazeux et les propriétés du solvant. Les performances de la colonne peuvent être optimisées en modifiant ces paramètres pour atteindre les objectifs de conception spécifiques, tels que l'efficacité d'absorption, la capacité de traitement, les coûts d'exploitation et la consommation d'énergie [18]

II.10. Les avantages et les Inconvénients

Les colonnes d'absorption ont des avantages et des inconvénients :

➤ **Avantages**

- Les colonnes d'absorption sont très efficaces pour éliminer les polluants gazeux et les composés odorants de l'air.
- Elles peuvent être utilisées pour purifier de grands volumes d'air et sont souvent utilisées dans les systèmes de ventilation pour améliorer la qualité de l'air intérieur.
- Les colonnes d'absorption sont également relativement simples à installer et à utiliser, ce qui les rend pratiques pour de nombreux types d'applications [20].

➤ **Inconvénients**

- Les colonnes d'absorption peuvent nécessiter des produits chimiques coûteux pour fonctionner efficacement, ce qui peut augmenter les coûts d'exploitation [19].
- Certains types de colonnes d'absorption peuvent produire des sous-produits indésirables lors de l'interaction avec les polluants de l'air. Par exemple, certaines colonnes d'absorption utilisant des réactifs d'amines peuvent produire des composés nocifs tels que des nitrosamines.
- Les colonnes d'absorption peuvent nécessiter un entretien régulier pour maintenir leur efficacité, ce qui peut augmenter les coûts d'exploitation [19].

II.11. Mécanisme d'absorption chimique de L'AMDEA

Le procédé aMDEA développé par BASF est couramment utilisé dans l'industrie pour capturer le CO₂ présent dans les gaz de synthèse. Le solvant employé, BASF aMDEA, est un mélange de méthyl-di-éthanol-amine (MDEA), d'eau et d'un système activateur. Lorsque ce solvant est mis en contact avec le gaz de synthèse, le CO₂ réagit avec la MDEA et l'eau pour former des espèces protonées et du bicarbonate. Bien que la conversion globale soit généralement faible, la vitesse d'absorption peut être améliorée par une réaction rapide entre le CO₂ et les constituants du système activateur [2].

Une illustration de ce procédé est présentée dans la figure (II.5) ci-dessous :

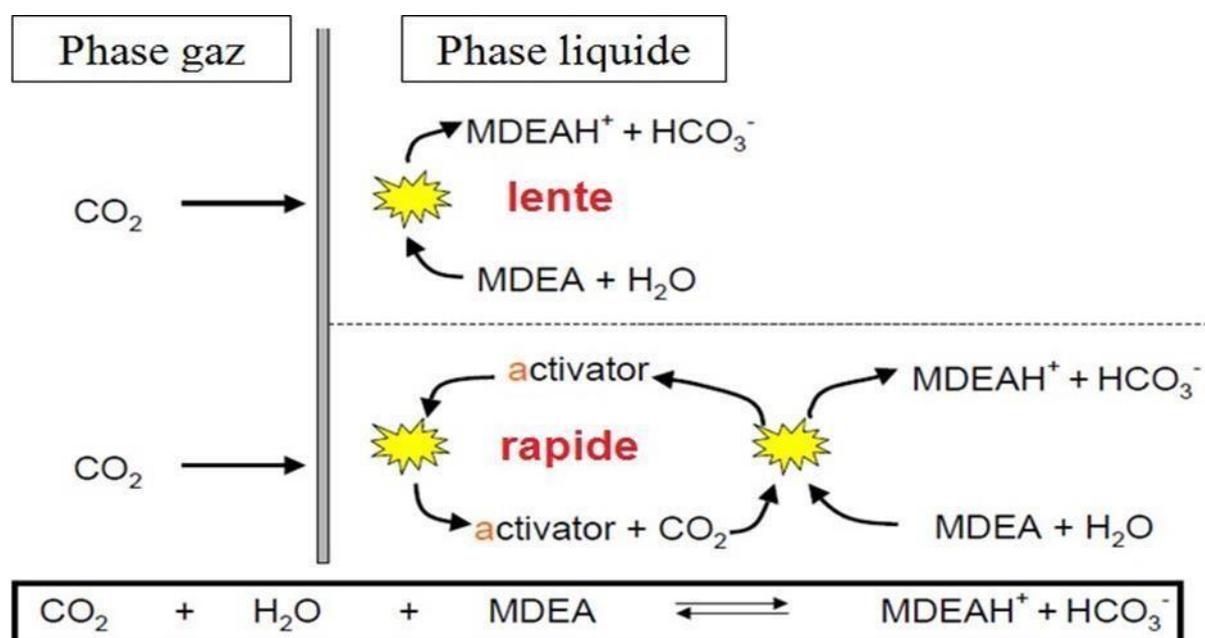


Figure II.5. Mécanisme réactionnel de l'aMDEA.

On peut différencier la vitesse de réaction entre une MDEA activée et une MDEA générique de la manière suivante : la MDEA seule présente une absorption de CO₂ relativement lente. Le système activateur joue le rôle de catalyseur en accélérant la réaction d'absorption de CO₂ par la MDEA. Les constituants du système activateur se régénèrent continuellement en faisant passer le CO₂ à travers la MDEA. Les réactions chimiques d'absorption de CO₂ dans un système aqueux d'amines tertiaires, tel que la MDEA, sont des réactions d'équilibre qui peuvent être décrites par la formation de bicarbonate ou la formation de carbamate [2].

- Protonation d'amine :



- Dissociation d'eau:



Le système activateur produit des carbamates qui réagissent avec le solvant aqueux de MDEA, transférant ainsi le CO₂ et permettant sa régénération pour une réaction ultérieure, similaire à un catalyseur homogène.

La MDEA activée (aMDEA) présente les avantages des solvants physiques et chimiques. La grande capacité d'épuisement de la MDEA permet des taux de circulation de solvant faibles (et donc une faible régénération), tandis que l'activateur maintient le niveau de l'absorbeur à un minimum. Un avantage du procédé aMDEA est la possibilité d'adapter le rapport entre les constituants et la composition du système activateur en fonction de la nature de l'application, de la composition du gaz d'alimentation et des spécifications du gaz traité. Ainsi, il permet d'obtenir une solution sur mesure pour chaque type de traitement de gaz.

II.11.1. L'avantage de L'AMDEA

II.11.1.1. Flexibilité

Le procédé aMDEA est extrêmement flexible et peut être adapté à différents niveaux d'élimination de CO₂, de H₂S et de composés sulfuriques, allant des traces à des niveaux exceptionnellement bas si nécessaire. Les spécifications du gaz traité peuvent varier, par exemple, pour le gaz destiné à la synthèse d'ammoniac, où le CO₂ doit être inférieur à 500 ppm et le taux de CO₂ peut atteindre 18%. Le procédé aMDEA est souvent utilisé pour aligner les niveaux d'élimination des installations de gaz acide existantes qui utilisent une technologie différente [1].

II.11.1.2. Non corrosivité

Grâce à sa stabilité thermique et chimique, l'aMDEA est considéré comme non corrosif, ce qui permet de construire la majeure partie de l'installation en acier au carbone. Contrairement à de nombreux systèmes utilisant du carbonate de potassium chaud, il n'est pas nécessaire d'utiliser des passivateurs de métaux lourds ou des agents anticorrosion. En outre, le système d'activateurs utilisé dans le procédé aMDEA ne produit pas de dégradations hautement corrosives, évitant ainsi les problèmes de corrosion, d'érosion, de formation d'écailles et de mousse.

Ces avantages permettent de réduire les arrêts machines imprévus et les risques pour la sécurité des installations.

II.11.1.3. Non toxicité

Le solvant utilisé dans le procédé aMDEA n'est pas sujet à la dégradation, ce qui élimine le besoin d'installation de recyclage ou de purification. En outre, l'aMDEA n'étant pas toxique, la mise en décharge ne pose pas de problème.

En cas de déversement accidentel, le produit peut être traité dans une station d'épuration des eaux résiduaires sans danger.

II.11.1.4. Consommation d'énergie

Le procédé aMDEA est connu pour sa consommation d'énergie nettement inférieure à celle d'autres procédés de traitement de gaz acide. Cela est dû à son excellent comportement d'absorption, qui permet une grande capacité d'épuisement. Cette capacité d'épuisement réduit le taux de circulation de solvant nécessaire pour absorber les constituants du gaz acide contenu dans le gaz d'alimentation. Ainsi, un faible taux de circulation de solvant permet de réduire la quantité d'énergie nécessaire pour régénérer le solvant [3].

II.11.1.5. Faible absorption d'hydrocarbures

On sait que l'aMDEA a une capacité d'absorption faible pour les constituants hydrocarbures présents dans le gaz d'alimentation, mais qu'en revanche, elle a une grande sélectivité pour le CO₂, ce qui la rend plus économique.

II.11.1.6. Faible ajout de solvant de compensation

La faible pression de vapeur de l'aMDEA entraîne une perte minimale de solvant. En conséquence, la quantité de solvant à ajouter annuellement pour compenser les pertes peut être maintenue à un niveau très bas, à condition que l'installation soit correctement exploitée et entretenue [18].

L'installation des procédés d'absorption peut être étudiée à l'aide de logiciels de simulation tels qu'Aspen Plus, Aspen Technology et HYSYS. Ces outils permettent de prédire les performances de la colonne et d'optimiser la conception de l'absorbeur.

Chapitre

III

**Présentation du logiciel
Aspen HYSYS**

III.1. Introduction

Le domaine du génie chimique utilise fréquemment des logiciels de simulation pour la conception et l'optimisation des procédés industriels. La simulation permet de représenter mathématiquement les phénomènes de transfert de masse, d'énergie et de quantité de mouvement qui se produisent dans les différentes opérations unitaires. En utilisant des modèles mathématiques pour simuler le comportement d'un système, les ingénieurs peuvent obtenir une meilleure compréhension des processus industriels et optimiser leurs performances.

Parmi les logiciels de simulation de procédés les plus populaires dans le domaine du génie chimique, on trouve Aspen HYSYS. Ce logiciel de simulation a été développé par la société canadienne Hypotech, filiale du groupe Aspen Tech, et est largement utilisé dans l'industrie pétrolière et gazière pour la simulation de procédés [21].

Ce chapitre est divisé en deux parties. Dans la première partie, nous allons discuter de l'importance de la simulation de procédés dans le domaine du génie chimique, ainsi que des avantages et des inconvénients de l'utilisation de logiciels de simulation tels que Aspen HYSYS. Nous allons également décrire les modèles thermodynamiques et la méthodologie de simulation utilisés dans Aspen HYSYS, ainsi que l'environnement de simulation proposé par ce logiciel. Enfin, nous mettrons en évidence l'importance d'Aspen HYSYS dans la simulation de procédés de génie chimique et les avantages qu'il offre aux ingénieurs en termes de temps et d'efficacité.

Dans la deuxième partie, on applique la simulation HYSYS pour l'étude du fonctionnement de la colonne d'absorption 101-E du complexe FERTIAL. Les résultats obtenus sont discutés et interprétés.

III.2. L'objectif de la simulation

L'utilisation de la simulation informatique vise à créer une représentation simplifiée d'un système au fil du temps, afin de mieux comprendre son fonctionnement et son comportement, et d'appréhender certaines de ses caractéristiques dynamiques. Cette méthode permet d'évaluer différentes décisions et d'optimiser le fonctionnement du système. La simulation informatique permet d'explorer les différentes possibilités de fonctionnement du système et de prévoir son comportement en fonction des paramètres choisis [22].

III.3. Quand doit-on utiliser un simulateur

- Formation : Les simulateurs sont souvent utilisés pour former les personnes à des compétences spécifiques. Par exemple, un pilote peut utiliser un simulateur de vol pour apprendre à piloter un avion [23].
- Recherche : Les simulateurs sont souvent utilisés pour étudier des systèmes complexes. Par exemple, un économiste peut utiliser un simulateur pour étudier les effets de différentes politiques économiques sur un marché donné.
- Tests : Les simulateurs sont souvent utilisés pour tester des produits ou des systèmes avant leur mise en service. Par exemple, une entreprise peut utiliser un simulateur pour tester un nouveau produit avant de le commercialiser [24].
- Planification : Les simulateurs sont souvent utilisés pour planifier des projets. Par exemple, un architecte peut utiliser un simulateur pour planifier un nouveau bâtiment avant de commencer la construction.

III.4. Principe de fonctionnement et rôle de la simulation

Les simulateurs sont des outils qui permettent de reproduire des situations réelles de manière virtuelle. Ils sont de plus en plus utilisés dans de nombreux domaines, notamment dans l'industrie chimique, pour la conception et l'optimisation des processus.

Le fonctionnement d'un simulateur industriel de procédés chimiques repose sur plusieurs modules interconnectés.

Tout d'abord, il y a une base de données des corps purs qui contient les propriétés thermodynamiques telles que la masse molaire, la température d'ébullition sous conditions normales et les paramètres des lois de tension de vapeur, entre autres.

Cette base de données est enrichie par des modèles thermodynamiques qui permettent d'estimer les propriétés des mélanges.

Ensuite, un schéma de procédé est élaboré pour décrire les liaisons entre différentes opérations unitaires constituant l'unité. Les modules de calcul pour chaque opération unitaire contiennent les équations relatives à leur fonctionnement, par exemple un réacteur chimique, une colonne de distillation, des échangeurs de chaleur, etc.

Finalement, les ingénieurs peuvent développer un modèle du processus en mettant en commun les équations décrivant les différentes opérations unitaires, les réactions chimiques, les propriétés des substances et des mélanges. Les simulations permettent ainsi de prédire le comportement du processus chimique et d'optimiser les paramètres pour atteindre les objectifs de production désirés [24].

Les simulateurs ont un rôle essentiel dans la conception et l'optimisation des processus chimiques, en permettant aux ingénieurs de tester différentes configurations et paramètres sans avoir à réaliser de tests physiques coûteux et potentiellement dangereux. Ils peuvent également être utilisés pour la formation des opérateurs, la recherche et la planification de projets.

III.5. Utilisation de la simulation

L'utilisation d'un simulateur peut être bénéfique dans plusieurs étapes de la conception d'un procédé industriel.

Tout d'abord, dans la conception engineering, le simulateur peut être utilisé pour établir les bilans de matières et d'énergie d'un procédé industriel. Il permet également de dimensionner les équipements nécessaires pour le procédé et d'évaluer l'évolution économique du procédé au fil du temps.

Ensuite, dans le suivi des procédés, le simulateur peut être utilisé pour ajuster les paramètres de fonctionnement en cas de changements de composition de l'alimentation. Il peut également être utilisé pour déterminer les performances des équipements en cours d'utilisation.

En somme, le simulateur peut être un outil très utile dans la conception et le suivi des procédés industriels, permettant d'optimiser les performances et de réduire les coûts associés à la conception, la construction et l'exploitation des procédés [25].

III.6. L'importance de la simulation

La simulation est un outil important dans de nombreux domaines, notamment dans l'ingénierie, la science, l'économie, et même la médecine. Voici quelques-unes des raisons pour lesquelles la simulation est importante :

- Optimisation des processus : Les simulations permettent d'optimiser les processus en testant différentes configurations, conditions et paramètres pour trouver la solution la plus efficace.
- Réduction des coûts : La simulation permet d'éviter les coûts élevés associés à la création de prototypes ou de modèles physiques [26].
- Prévention des accidents : La simulation peut être utilisée pour prévenir les accidents en identifiant les risques potentiels avant qu'ils ne se produisent.
- Compréhension des phénomènes complexes : Les simulations sont utiles pour étudier des phénomènes complexes qui ne peuvent pas être facilement étudiés expérimentalement, tels que les modèles climatiques et les réactions chimiques.

- Formation et éducation : Les simulations peuvent être utilisées pour la formation et l'éducation en permettant aux étudiants et aux travailleurs de pratiquer des compétences et des tâches dans un environnement virtuel [27].

III.7. Les avantages de simulation

Les simulateurs présentent de nombreux avantages sont :

- Réduction des coûts : La simulation peut réduire les coûts associés à la création de prototypes ou de modèles physiques.
- Optimisation des processus : Les simulations permettent d'optimiser les processus en testant différentes configurations, conditions et paramètres pour trouver la solution la plus efficace.
- Réduction des risques : Les simulations permettent d'identifier les risques potentiels avant qu'ils ne se produisent, ce qui peut aider à prévenir les accidents et les erreurs.
- Économie de temps : Les simulations permettent de gagner du temps en testant rapidement des scénarios et des configurations différentes.
- Amélioration de la prise de décision : Les simulations peuvent aider à prendre des décisions éclairées en fournissant des données et des résultats précis et fiables.
- Étude de phénomènes complexes : Les simulations peuvent être utilisées pour étudier des phénomènes complexes qui ne peuvent pas être facilement étudiés expérimentalement.

Les simulateurs permettent notamment de résoudre les équations de bilans associées à chaque opération unitaire utilisée, de calculer les caractéristiques des courants en tout point de l'installation, de réaliser une analyse régulière du comportement d'une installation existante et d'évaluer les conséquences des modifications envisagées [28].

III.8. Les inconvénients de simulateur

Bien que les simulateurs de procédés offrent de nombreux avantages pour la conception, l'optimisation et l'analyse des processus, il y a également des inconvénients associés à leur utilisation. Voici quelques inconvénients potentiels des simulateurs de procédés:

- Coût élevé : Les simulateurs de procédés sont généralement coûteux, ce qui peut limiter leur utilisation pour les petites entreprises ou les projets à faible budget.
- Complexité : Les simulateurs de procédés sont souvent très complexes, avec des fonctionnalités avancées qui nécessitent une formation et une expertise approfondies

pour être utilisées efficacement. Les débutants peuvent avoir du mal à comprendre les concepts de base et les fonctionnalités du logiciel.

- Biais d'utilisateur : Les résultats de la simulation peuvent être influencés par les hypothèses et les biais de l'utilisateur, tels que la sélection des modèles de propriétés thermodynamiques ou les hypothèses de conception du processus.
- Limitations des modèles : Les modèles utilisés pour simuler les processus sont basés sur des hypothèses simplificatrices, et peuvent ne pas être capables de capturer tous les comportements réels d'un système.
- Évaluation de la fiabilité : Bien que les simulateurs de procédés soient utiles pour la conception et l'optimisation des processus, ils ne garantissent pas la fiabilité ou la sécurité des processus dans le monde réel. Les modèles de simulation doivent être validés par des données expérimentales pour garantir leur exactitude.
- Il est important de comprendre ces inconvénients et de les prendre en compte lors de l'utilisation d'un simulateur de procédés pour garantir des résultats fiables et précis.

III.9. Définitions de Aspen HYSYS

HYSYS est un logiciel de simulation de processus développé par AspenTech, qui permet aux ingénieurs de modéliser et d'optimiser les processus de production en utilisant des équations thermodynamiques et des modèles de réaction.

III.9.1. Mode de fonctionnement de HYSYS

Le logiciel HYSYS fonctionne selon deux modes différents :

III.9.1.1. Simulation statique (steady state):

Ce mode de fonctionnement vise à simuler statiquement un procédé, en définissant les propriétés des flux (débit, température, fraction vaporisée, etc.) ainsi que les bilans de matières et d'énergie dans un état d'équilibre stable.

III.9.1.2. Simulation dynamique (transient state):

Ce mode de fonctionnement vise à simuler dynamiquement un procédé, en définissant les propriétés des flux en fonction du temps, pendant des situations transitoires où le régime n'est pas stable.

Il permet de modéliser les variations temporelles des propriétés et de prendre en compte les phénomènes transitoires tels que les démarrages, les arrêts, les changements de régime, etc.

En utilisant ces deux modes de simulation, HYSYS permet aux ingénieurs de modéliser et d'analyser à la fois les états d'équilibre stables et les comportements dynamiques des procédés de production. Cela offre une plus grande flexibilité pour étudier et optimiser les performances des procédés industriels.

III.9.2. Le choix de modèle thermodynamique

Dans HYSYS, le choix du modèle thermodynamique revêt une importance cruciale pour obtenir des résultats précis lors de la simulation des procédés. Les utilisateurs doivent spécifier les composants du mélange ainsi que leurs propriétés physiques. Parmi les modèles thermodynamiques proposés par HYSYS, on retrouve l'équation de Peng-Robinson ou encore l'équation de Soave-Redlich-Kwong (SRK). Le choix du modèle dépend de facteurs tels que la nature du mélange, la plage de température et de pression, ainsi que les interactions moléculaires. Il est souvent nécessaire de valider et d'ajuster le modèle en comparant les résultats de simulation avec des données expérimentales. Pour obtenir des informations détaillées sur les modèles thermodynamiques disponibles, il est recommandé de consulter la documentation de HYSYS et des sources externes.

D'autre part, le modèle thermodynamique Acid Gas-Chemical Solvents (AGCS) constitue une approche utilisée pour décrire précisément les interactions entre les gaz acides et les solvants chimiques dans le cadre des processus de capture et d'élimination des gaz acides. Ce modèle tient compte des propriétés thermodynamiques des gaz acides, des solvants chimiques et de leurs interactions. Il utilise des équations et des paramètres thermodynamiques afin de calculer les équilibres de phase, les capacités de chargement des solvants, ainsi que d'autres propriétés essentielles.

L'objectif principal du modèle AGCS est de prédire le comportement des systèmes de capture des gaz acides en termes d'absorption, de désorption et de récupération des gaz acides. Il permet de déterminer les conditions de fonctionnement optimales, telles que la température, la pression et la concentration des solvants chimiques, pour obtenir une efficacité maximale dans la capture des gaz acides. L'utilisation du modèle AGCS facilite l'évaluation de différentes combinaisons de gaz acides et de solvants chimiques, ainsi que l'optimisation de la conception des équipements de capture des gaz acides.

III.9.3. Concepts de base du simulateur HYSYS

Le simulateur de processus HYSYS est basé sur des concepts de base tels que la thermodynamique, la cinétique, la fluidique et la modélisation de processus. Voici une explication plus détaillée de ces concepts, avec des références pour approfondir la compréhension :

- Thermodynamique : HYSYS utilise des modèles thermodynamiques pour calculer les propriétés des mélanges de composants chimiques tels que la densité, la viscosité, la tension de vapeur, les coefficients de partage, etc. Les modèles thermodynamiques incluent des équations d'état telles que l'équation de Peng-Robinson, l'équation de Soave-Redlich-Kwong et l'équation de Van der Waals, entre autres [29].
- Cinétique : HYSYS utilise des modèles cinétiques pour simuler les réactions chimiques qui ont lieu dans les procédés. Les modèles cinétiques incluent des lois de vitesse telles que la loi d'Arrhenius, la loi de la réaction de premier ordre, etc.
- Fluidique : HYSYS utilise des modèles de fluidique pour simuler le comportement des fluides dans les procédés, tels que le débit, la pression, la température, la viscosité, la turbulence, etc. Les modèles de fluidique incluent des équations de conservation telles que l'équation de conservation de la masse, l'équation de conservation de l'énergie, l'équation de conservation de la quantité de mouvement [30].

- Modélisation de processus : HYSYS utilise des modèles de processus pour simuler et optimiser des procédés de production chimique et pétrolière. Les modèles de processus incluent des modèles de réacteurs, des modèles de colonnes de distillation, des modèles de séparateurs, des modèles de chaudières, etc [31].

En utilisant ces concepts de base, HYSYS permet aux ingénieurs de modéliser et d'optimiser des processus de production pour améliorer l'efficacité, la sécurité et la rentabilité. Les références fournies donnent des informations supplémentaires pour approfondir la compréhension de ces concepts et de leur utilisation dans HYSYS.

III.9.4. L'environnement dans Aspen HYSYS

Le logiciel ASPEN HYSYS propose plusieurs environnements qui servent d'espaces de travail pour accéder et saisir des informations liées à la simulation. Ces environnements peuvent être regroupés en deux catégories : les environnements de propriétés et l'environnement de simulation.

III.9.4.1. L'environnement de propriétés :

Est le premier environnement auquel on accède lorsqu'on ouvre une nouvelle simulation (nouveau cas). Son objectif est de créer, définir ou modifier le "paquet de propriétés" (property package). Le "paquet de propriétés" comprend les éléments suivants:

- La liste des composés purs : il s'agit des substances individuelles qui peuvent être présentes dans le système simulé.
- Le modèle thermodynamique approprié : il permet de déterminer comment les composés interagissent et se comportent du point de vue thermodynamique. Différents modèles thermodynamiques sont disponibles dans ASPEN HYSYS, tels que l'équation de Peng-Robinson ou l'équation de Soave-Redlich-Kwong.

- Les pseudo-composés "Hypotheticals" : il s'agit de nouveaux composés chimiques fictifs qui ne sont pas répertoriés dans la base de données du logiciel. Les utilisateurs ont la possibilité de les créer et de les utiliser dans leurs simulations.
- Les réactions chimiques (le cas échéant) : si des réactions chimiques se produisent dans le système, elles peuvent être spécifiées dans cet environnement. Cela permet de modéliser les transformations chimiques et d'analyser leur impact sur le procédé.

III.9.4.2. L'environnement de simulation :

Appelé "The simulation environment", est l'environnement principal de la simulation. Son objectif est de créer le schéma de procédé (flowsheet), qui est un ensemble d'opérations unitaires connectées par des courants. Cet environnement peut également contenir d'autres environnements, tels que l'environnement de sous-flowsheet ou l'environnement de sous-flowsheet de la colonne, en fonction de la complexité du système modélisé [32].

III.9.5. L'importance de HYSYS

L'importance de HYSYS réside dans sa capacité à permettre aux ingénieurs de tester différentes options de conception et de modifier les paramètres de fonctionnement avant de mettre en place le procédé réel. Cela peut aider à réduire les coûts de développement et à minimiser les risques associés à la mise en service d'un nouveau procédé.

HYSYS offre également une grande précision dans la prédiction des performances des procédés chimiques, ce qui permet aux ingénieurs de concevoir des procédés plus efficaces et plus durables. Le logiciel peut aider à réduire la consommation d'énergie, à améliorer la qualité des produits et à minimiser les émissions de gaz à effet de serre, ce qui est particulièrement important dans le contexte actuel de l'urgence climatique [33].

Enfin, HYSYS est largement utilisé dans l'industrie chimique, ce qui en fait un outil important pour les ingénieurs qui cherchent à travailler dans ce domaine. Une connaissance pratique de HYSYS est souvent requise pour les emplois dans la conception et l'analyse des procédés chimiques, ce qui en fait un outil de développement de carrière important.

III.10. Simulation de la colonne d'absorption 101-E pour le cas design

La colonne considérée 101-E, est une colonne d'absorption constitué de 10 plateaux à Clapet, dans la tête de la colonne d'absorption nous alimentons la 101-E avec une solution MDEA pauvre en CO₂, ayant un débit estimé à 1270 Kg/h, une température de 46°C et une pression de 33bar. Dans le pied de la colonne, nous introduisons un gaz avec un débit estimé à 101.62 kg/h, une température de 63 °C et une pression de 27bar.

Le schéma PFD de la colonne d'absorption est illustré sur la figure (III.1).

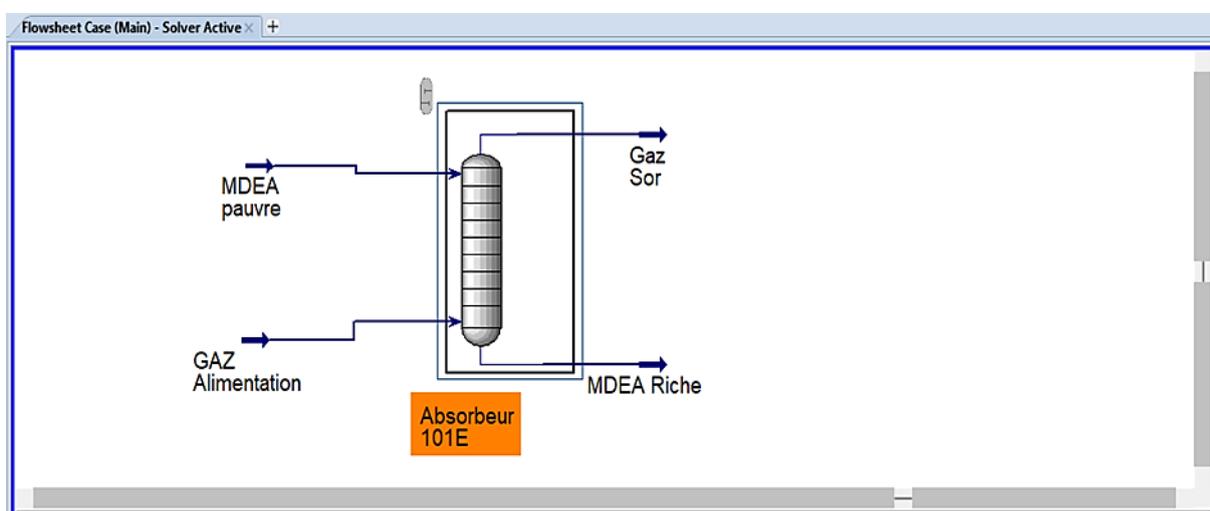


Figure III.1. Schéma PFD de la colonne d'absorption 101-E.

Les conditions d'alimentation de la colonne 101E sont regroupées dans le tableau (III.1).

Tableau III.1. Schéma PFD de la colonne d'absorption 101-E.

CONDECTIONS	Gaz d'alimentation	MDEA pauvre
Température (°C)	63	46
Pression (Bar)	27	33
Débit (kg/h)	101.627	1270

Ces conditions sont incluses dans le HYSYS V8.8 comme est illustré dans la figure (III.2) et la figure (III.3).

Material Stream: GAZ Alimentation

Worksheet	Stream Name	GAZ Alimentation	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1,0000	1,0000
Properties	Temperature [C]	63,00	63,00
Composition	Pressure [kPa]	2700	2700
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	6,752	6,752
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	101,6	101,6
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0,3616	0,3616
Electrolytes	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-7,112e+004	-7,112e+004
User Variables	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	-14,91	-14,91
Notes	Heat Flow [kJ/h]	-4,802e+005	-4,802e+005
Cost Parameters	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	0,6309	0,6309
Normalized Yields	Fluid Package	Basis-1	
Emissions	Utility Type		
Acid Gas			

Figure III.2. Les conditions opératoires du gaz d'alimentation de 101-E.

Material Stream: MDEA pauvre

Worksheet	Stream Name	MDEA pauvre	Aqueous Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	1,0000
Properties	Temperature [C]	46,00	46,00
Composition	Pressure [kPa]	3300	3300
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	46,56	46,56
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	1270	1270
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	1,254	1,254
Electrolytes	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-3,007e+005	-3,007e+005
User Variables	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	-222,2	-222,2
Notes	Heat Flow [kJ/h]	-1,400e+007	-1,400e+007
Cost Parameters	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	1,224	1,224
Normalized Yields	Fluid Package	Basis-1	
Emissions	Utility Type		
Acid Gas			

Figure III.3. Les conditions opératoires MDEA pauvre d'alimentation de 101-E.

III.11. La charge à traiter

Le gaz de synthèse renferme une quantité de dioxyde de carbone qui doit être éliminée.

Ci-dessous se trouve le tableau (III.2) résumant la composition du gaz à traiter.

Tableau III.2. Composition design du gaz d'alimentation de l'absorbeur 101-E.

Constituants		Mol %
Azote	N ₂	19.81
Hydrogène	H ₂	60.97
Monoxyde de carbone CO		0.50
Dioxyde de carbone CO ₂		18.15
Méthane	CH ₄	0.30
Hélium	He	0.03
Argon	Ar	0.24

A partir du tableau (III.2) on constate que, le gaz de synthèse contient initialement 18.15% de dioxyde de carbone à l'entrée de la section de décarbonation. Cette composition nécessite un processus d'épuration en raison de la forte toxicité du CO₂ pour le catalyseur de synthèse, ainsi que de sa réaction avec l'ammoniac présent dans la boucle de synthèse pour former du carbamate d'ammonium :



Ce produit génère des dépôts dans les machines et les équipements, ce qui peut causer des dommages importants. La concentration de CO₂ dans le gaz est réduite à 500 ppm en le traitant successivement avec une solution de méthyl diéthanolamine (appelée MDEA) dans une tour d'absorption à contre-courant. Cette opération est réalisée dans la section de décarbonation, qui comprend deux circuits :

- a. Le parcours du gaz.
- b. Le cycle du solvant à base de MDEA.

Les fractions molaires des gaz d'alimentation sont incluses dans le logiciel HYSYS V8.8, tel qu'illustré dans la figure (III.4).

	Mole Fractions	Vapour Phase
Methane	0,0030	0,0030
Nitrogen	0,1981	0,1981
Hydrogen	0,6097	0,6097
CO	0,0050	0,0050
CO2	0,1815	0,1815
Helium	0,0003	0,0003
Argon	0,0024	0,0024
H2O	0,0000	0,0000
H2S	0,0000	0,0000
MDEAmine	0,0000	0,0000

Total: 1,00000

Figure III.4. Les fractions des produits de gaz d'alimentation de la colonne 101-E.

Les données opératoires et les compositions de gaz de synthèse et de MDEA qui alimentant la colonne 101-E sont incluses dans le HYSYS V8.8, les résultats de sortie obtenus sont interprétés dans les sections suivantes.

III.12. La charge du gaz traité

La composition du gaz de sortie de la tête de l'absorbeur 101-E est résumée dans le tableau (III.3). D'après ce tableau (III.3), on constate que la majeure partie du dioxyde de carbone a été éliminée du gaz de synthèse, et la quantité de CO₂ dans le gaz de sortie est égale à 0,0001.

La composition du gaz traité est résumée dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.3. Composition du gaz de synthèse après l'absorption.

Composition du gaz	N ₂	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	He	Ar	H ₂ O
La fractions Molaire	0.2419	0.7436	0.0061	0.0001	0.0037	0.0004	0.0007	0.0037

III.13. Comparaison des paramètres de la colonne 101-E du cas design et cas simulation par HYSYS V8.8

Les résultats obtenus par simulation et du cas design sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.4. Paramètres de sortie du cas design et de la simulation de 101-E.

Paramètre	Design	Simulé	Erreur%
Débit de Gaz traité kg/h	47.576	47.47	0.22
Débit d'aMDEA riche	1328	1324	0.30
Température de tête (°C)	46	46.16	0.34
Température de fond (°C)	63	61.70	2.06
Pression tête (bar)	27	27	0
Pression fond (bar)	26.4	26.4	0
Composition de CO ₂ tête (%) molaire	0.01	0.01	0

Les résultats obtenus montrent que l'erreur pour tous les paramètres est inférieure à 4%. Ce qui indique que le modèle thermodynamique se rapproche du cas de conception. Le simulateur nous permet ainsi de visualiser le profil des différents paramètres le long de la colonne.

III.14. Etudes des profils des paramètres de fonctionnement de la colonne d'absorption en fonction du nombre de plateaux

III.14.1. Profil de température

La figure (III.5) montre la variation de la température en fonction du nombre de plateaux.

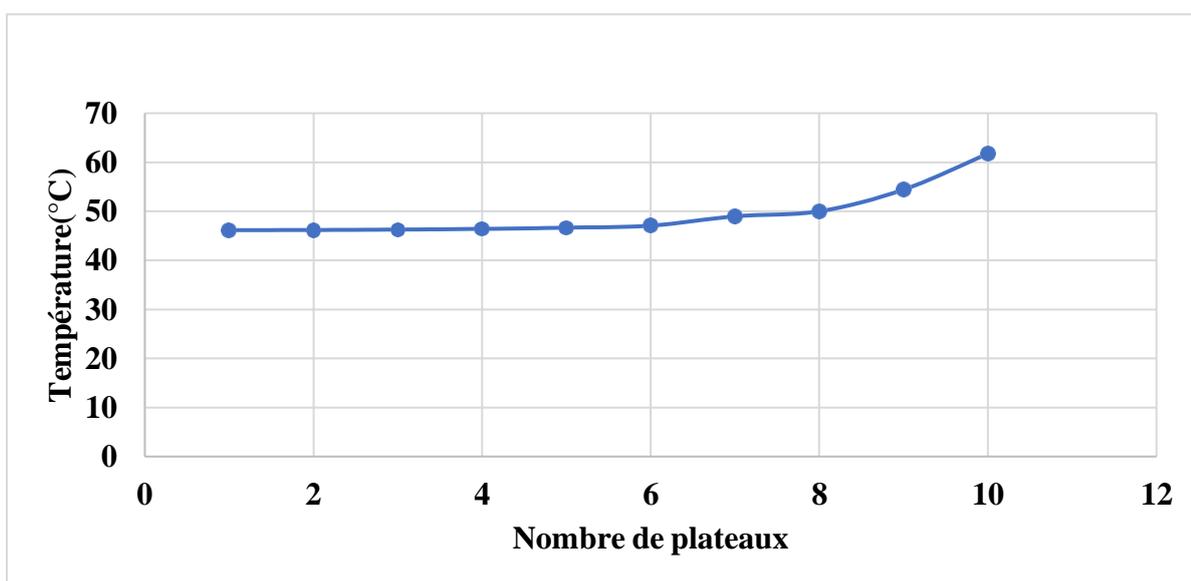


Figure III.5. Variation de température en fonction du nombre de plateaux.

Nous observons une augmentation régulière et progressive de la température le long de la colonne, attribuable à la réaction exothermique d'absorption du CO₂ par les amines. Cette variation régulière témoigne du bon fonctionnement et de la stabilité de l'absorbeur.

III.14.2. Profil de la composition du CO₂

La figure (III.6) montre la variation des compositions de CO₂ en fonction du nombre de plateaux.

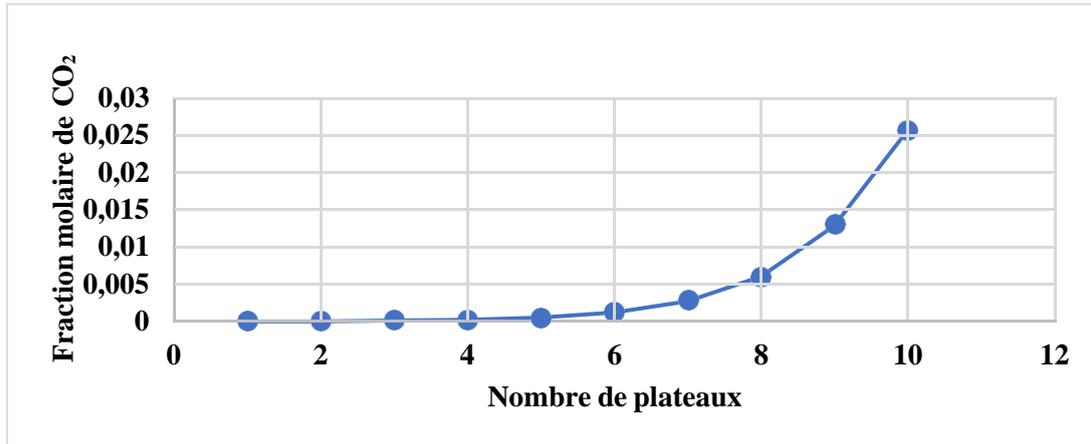


Figure III.6. Variation des compositions du CO₂ en fonction du nombre de plateaux.

En observant une augmentation de composition du CO₂ en fonction du nombre de plateaux, lors de l'absorption du CO₂ par l'amine MDEA, il est normal de constater une augmentation de la composition en CO₂ à l'intérieur de l'absorbeur à mesure que le nombre de plateaux augmente. Cette augmentation peut être expliquée par plusieurs facteurs. Tout d'abord, un plus grand nombre de plateaux permet un contact prolongé entre le gaz contenant du CO₂ et l'amine, favorisant ainsi une absorption plus efficace. De plus, une plus grande surface d'interface liquide-gaz créée par les plateaux facilite l'échange de masse entre le CO₂ et l'amine, ce qui conduit à une augmentation de la concentration du CO₂ à l'intérieur de l'absorbeur.

III.14.3. Profil de pression

La figure (III.7) présente la variation de pression en fonction du nombre de plateaux.

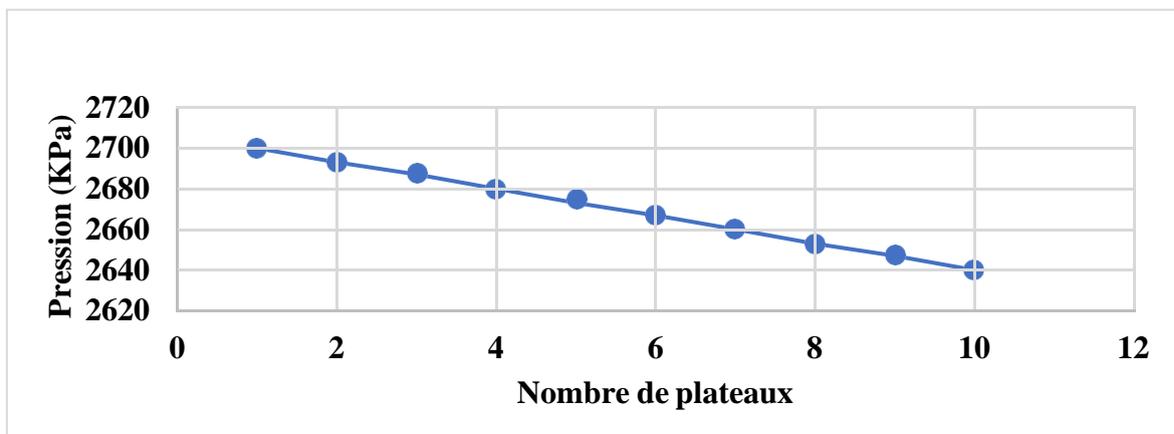


Figure III.7. Variation de la pression en fonction du nombre de plateaux.

En observant une diminution de pression en fonction du nombre de plateaux, plusieurs facteurs peuvent influencer ce phénomène dans la colonne d'absorption de CO₂ par le fluide MDEA. Les dimensions de la colonne, le nombre de plateaux, la disposition des plateaux et les caractéristiques de distribution du fluide et du gaz jouent un rôle essentiel. Une colonne plus haute, un plus grand nombre de plateaux et une disposition appropriée favorisent une absorption améliorée et une diminution de pression plus significative. Par ailleurs, une distribution uniforme du fluide et du gaz contribue également à une diminution de pression régulière.

III.14.4. Profil du débit de vapeur

La figure (III.8) montre la variation de débit de vapeur en fonction du nombre de plateaux.

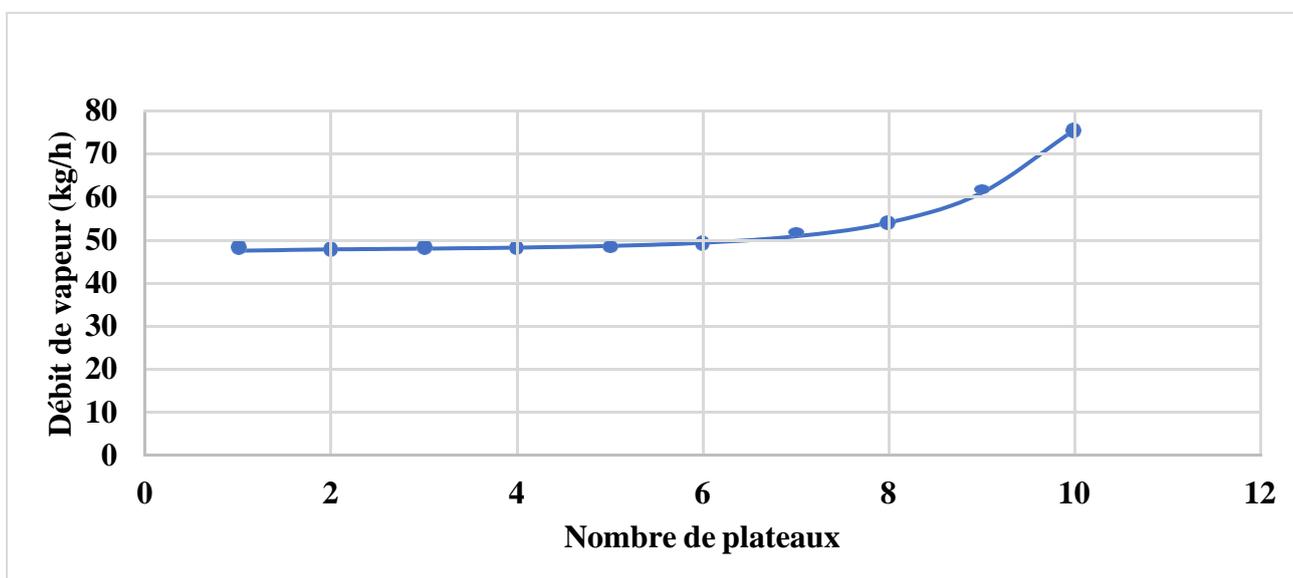


Figure III.8. Variation de débit du vapeur en fonction du nombre de plateaux.

En observant une augmentation du débit de vapeur à l'intérieur de l'absorbeur, en fonction du nombre de plateaux, conduit à une amélioration de l'efficacité de l'absorption du CO₂ par l'amine MDEA. Cela est dû à une augmentation du contact entre le gaz et le liquide, ce qui favorise le transfert de masse et permet de capturer une plus grande quantité de CO₂.

III.14.5. Profil du débit de liquide

La figure (III.9) montre la variation de débit de liquide en fonction de nombre de plateaux.

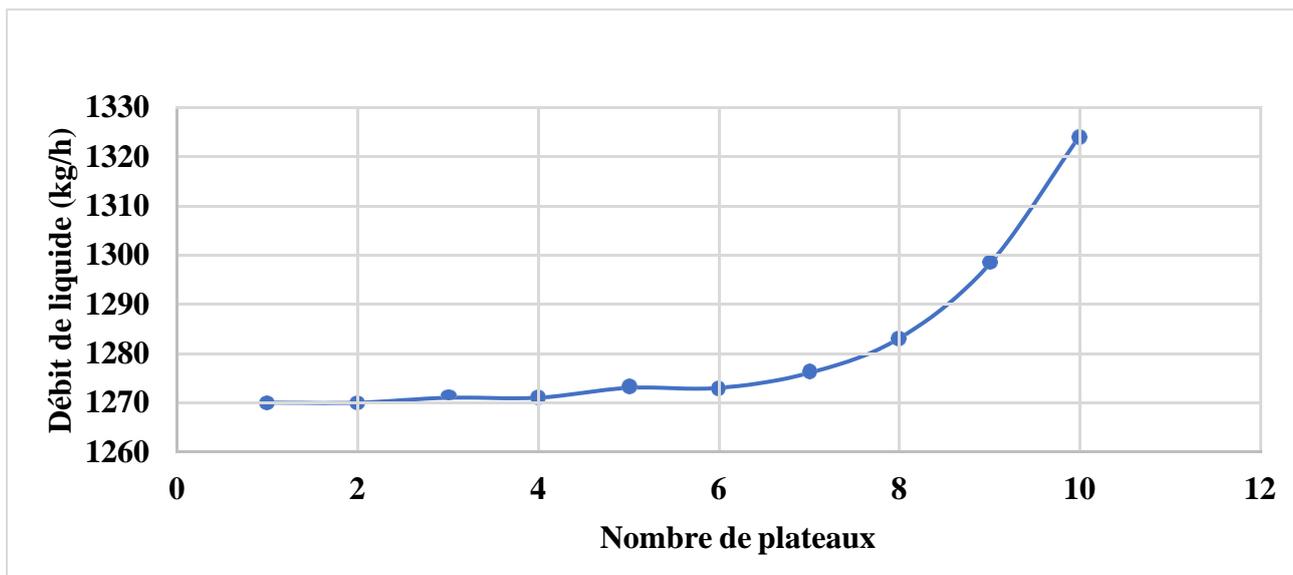


Figure III.9. Variation du débit de liquide en fonction du nombre de plateaux.

En observant une augmentation du débit de liquide en fonction du nombre de plateaux dans notre étude suggère une amélioration de l'efficacité de l'absorption du gaz par l'amine MDEA. Cette relation positive peut être expliquée par une plus grande surface de contact entre le liquide et le gaz, favorisant ainsi le transfert de masse et la capture du gaz. Le nombre de plateaux supplémentaires permet également une meilleure rétention de l'amine MDEA, prolongeant le temps de contact avec le gaz et améliorant l'efficacité globale du processus d'absorption.

En somme, l'augmentation du débit de liquide avec le nombre de plateaux indique une amélioration significative de l'efficacité de l'absorption du gaz par l'amine MDEA.

III.15. Les paramètres d'influence de l'absorption du dioxyde de carbone CO₂ dans la colonne d'absorption

Pour bien comprendre le phénomène d'absorption à l'intérieur de la colonne 101E on a étudié l'influence du nombre de plateaux, la pression et le débit de liquide (MDEA) sur la composition du CO₂ absorbé

III.15.1. Le nombre de plateaux

La figure (III.10) représente la variation de la composition du CO₂ en fonction du nombre de plateau, où on remarque que :

➤ La quantité du dioxyde de carbone absorbée augmente avec l'augmentation du nombre de plateaux de la colonne d'absorption où :

1. Si le nombre de plateaux est de 5, 17,7% du CO₂ est absorbé (18.15-0.45).
2. Si le nombre de plateaux est de 8, 18.11% du CO₂ est absorbé (18.15-0.04).
3. Si le nombre de plateaux est de 10, 18.14% du CO₂ est absorbé (18.15-18.14).
4. Si le nombre de plateaux est de 12, 18.15% du CO₂ est absorbé (18.15-18.15).
5. Si le nombre de plateaux est de 14, 18.15% du CO₂ est absorbé (18.15-18.15).

Donc, un nombre plus élevé de plateaux dans une colonne d'absorption augmente généralement son efficacité de séparation, mais cela doit être évalué en tenant compte des coûts associés.)

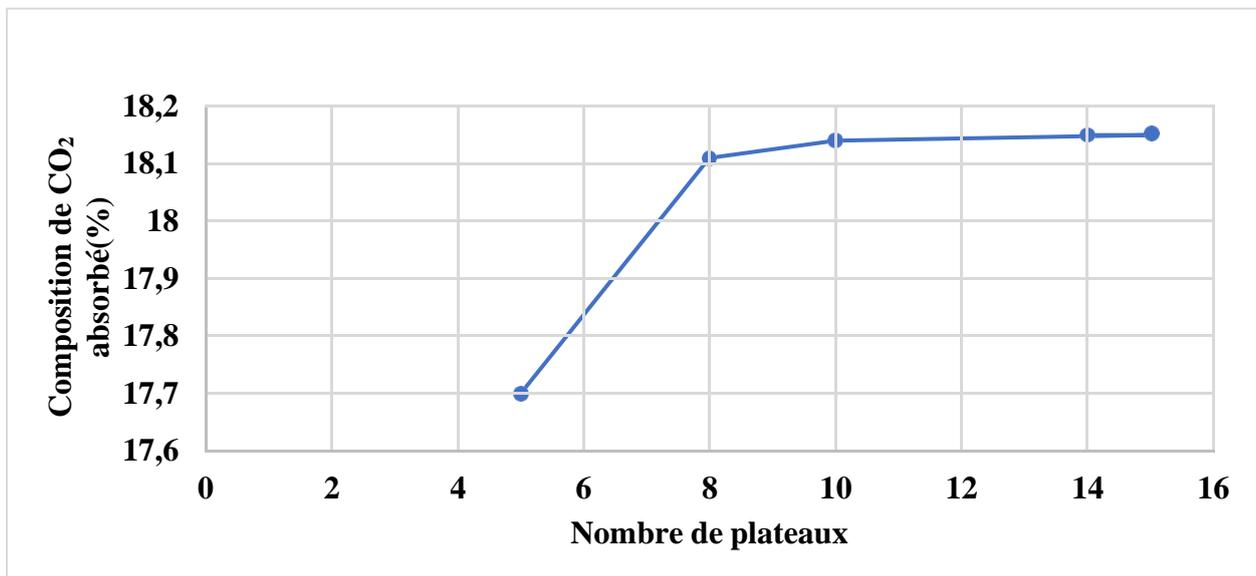


Figure III.10. Variation de la composition du CO₂ en fonction du nombre de plateaux.

III.15.2. La pression

La figure (III.11) et la figure (III.12) représente la variation de la composition du CO₂ en fonction de la pression, où on remarque que :

- La quantité de dioxyde de carbone absorbée augmente avec l'augmentation de pression de tête et de fond de la colonne d'absorption où :
 1. Si la pression de tête est 1000KPa et la pression de fond est de 500KPa, 17.77% du CO₂ est absorbé.
 2. Si la pression de tête est 1500KPa et la pression de fond est de 1250KPa, 18.10% du CO₂ est absorbé.
 3. Si la pression de tête est 2000KPa et la pression de fond est de 1000KPa, 18.11% du CO₂ est absorbé.
 4. Si la pression de tête est 2500KPa et la pression de fond est de 2250KPa, 18.14% du CO₂ est absorbé.
 5. Si la pression de tête est 2700KPa et la pression de fond est de 2640KPa, 18.14% du CO₂ est absorbé.

Donc, la pression joue un rôle crucial dans l'absorption de gaz dans une colonne d'absorption. Une pression plus élevée peut augmenter la solubilité du gaz dans le liquide, favorisant ainsi une meilleure absorption. Cependant des limites de pression doivent être respectées pour éviter des problèmes de sécurité et de conception.

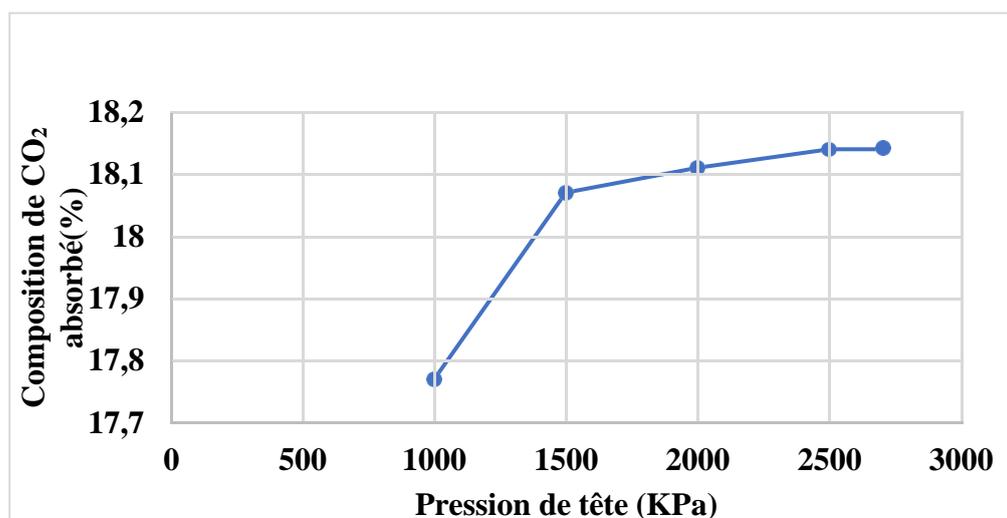


Figure III.11. Variation de la composition du CO₂ en fonction de la pression de tête.

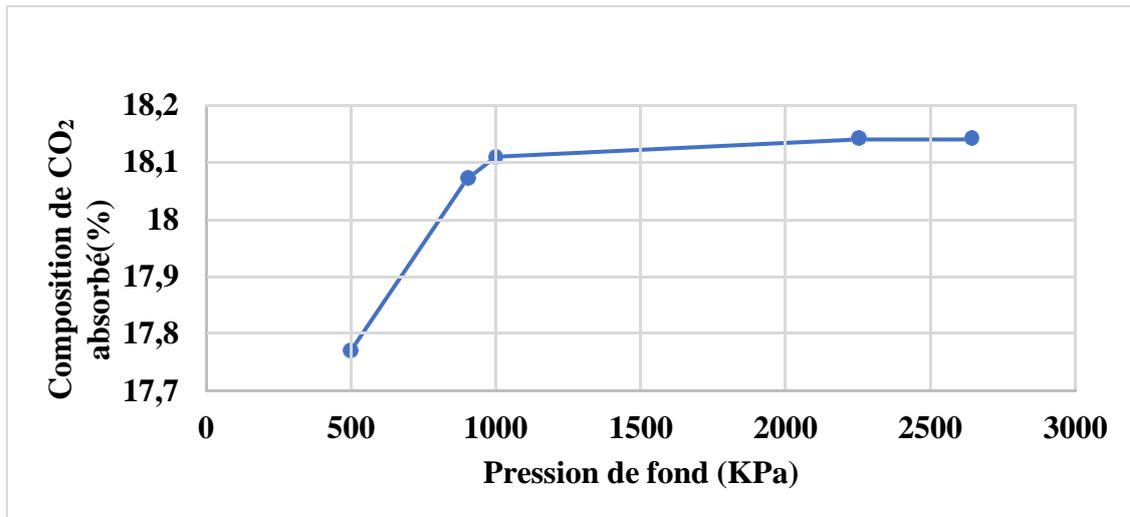


Figure III.12. Variation de la composition du CO₂ en fonction de la pression de fond.

III.15.3. Débit de liquide (MDEA)

La figure (III.13) représente la variation du débit de liquide en fonction de la composition du CO₂, où on remarque que :

- La quantité du dioxyde de carbone absorbée augmente avec l'augmentation du débit de liquide entrant dans la colonne d'absorption (débit de MDEA entrant) où :
 1. Si le débit de MDEA est de 500kg/h, 13.89 % du CO₂ est absorbé.
 2. Si le débit de MDEA est de 800 kg/h, 18.13% du CO₂ est absorbé.
 3. Si le débit de MDEA est de 1270kg/h, 18.14% du CO₂ est absorbé.
 4. Si le débit de MDEA est de 3500kg/h, 18.15% du CO₂ est absorbé.
 5. Si le débit de MDEA est de 4000kg/h, 18.15% du CO₂ est absorbé.

Donc, le débit massique du fluide (MDEA) entrant à un impact sur l'absorption de gaz dans une colonne d'absorption. Un débit massique élevé peut augmenter la surface de contact, favoriser une meilleure dissolution du gaz et améliorer l'efficacité de l'absorption. Cependant, il est important de considérer le temps de contact, la distribution de flux et les limites de capacité de la colonne pour optimiser le processus d'absorption.

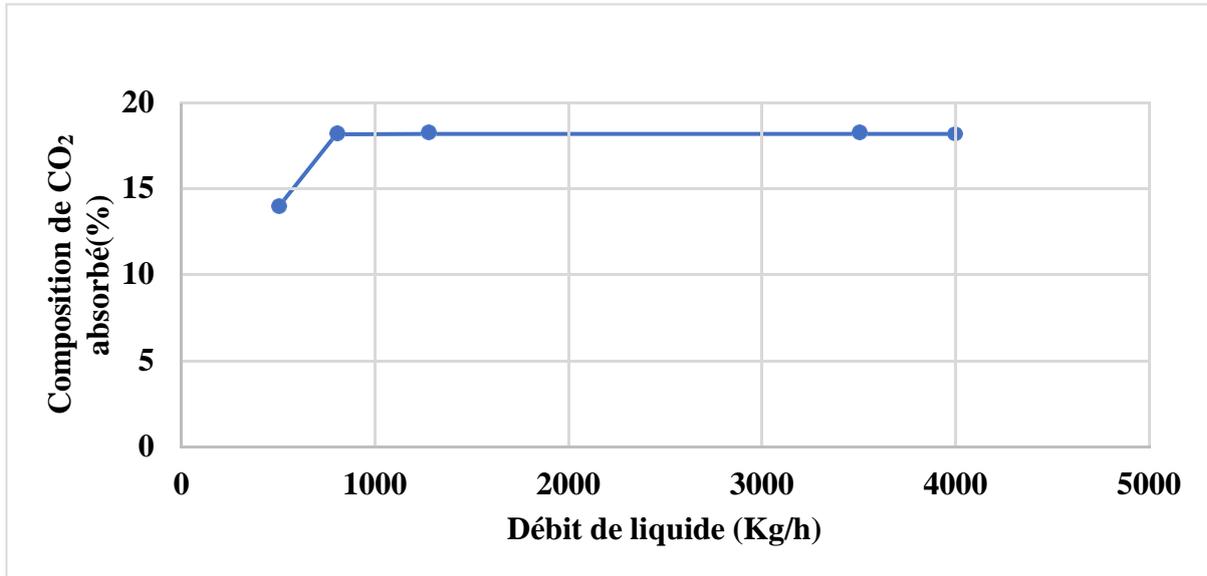


Figure III.13. Variation du CO₂ en fonction du débit de liquide.



Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce travail de recherche a été entrepris dans le cadre d'une convention entre le département de génie des procédés de l'université de Mostaganem et le complexe FERTIAL. L'objectif principal de cette collaboration est d'analyser le fonctionnement de la colonne d'absorption 101E en utilisant le logiciel HYSYS V 8.8, dans le contexte spécifique de la vérification de son fonctionnement.

Cette colonne d'absorption est étudiée par le simulateur ASPEN HYSYS VERSION 8.8, en utilisant le modèle thermodynamique : Acid Gas -Chemical solvents. On a d'abord vérifié la validité de ce modèle par une étude comparative avec les données de design. Le modèle choisi est employé par la suite dans l'étude et la détermination des profils de plusieurs paramètres de la colonne d'absorption 101E en fonction du nombre de plateaux. Après une étude effectuée sur l'influence du nombre de plateaux, la pression et le débit de liquide (MDEA) sur l'absorption du dioxyde de carbone CO_2 dans la colonne 101E. Suite aux différents résultats que nous avons obtenus, nous pouvons déduire que :

- ❖ Le modèle Acid Gas –Chemical solvents utilisé dans le HYSYS V8.8, nous a donné des meilleurs résultats qui sont très proches de ceux de design.
- ❖ A partir de la comparaison de nos résultats de simulation par ASPEN HYSYS V8.8, on trouve que cette dernière prédit bien le cas de design.
- ❖ Le profil des paramètres de fonctionnement de la colonne 101E en fonction du nombre de plateaux montre que :
 - Augmentation régulière et progressive de la température le long de la colonne, attribuable à la réaction exothermique d'absorption du CO_2 par les amines. Cette variation régulière témoigne du bon fonctionnement et de la stabilité de l'absorbeur.

- Une augmentation significative de la composition du CO₂ est constatée à cause de l'augmentation du nombre de plateaux dans l'absorbeur lors de l'absorption du CO₂ par l'amine MDEA entraîne une augmentation de la composition en CO₂ à l'intérieur de l'absorbeur. Cela est dû à un contact prolongé entre le gaz contenant du CO₂ et l'amine, favorisant une absorption plus efficace. De plus, une plus grande surface d'interface liquide-gaz créée par les plateaux facilite l'échange de masse entre le CO₂ et l'amine, augmentant ainsi la concentration du CO₂ à l'intérieur de l'absorbeur.
- La diminution de pression dans la colonne d'absorption du CO₂ est due à l'utilisation de colonnes plus hautes avec un plus grand nombre de plateaux, favorisant une absorption améliorée et une réduction significative de la pression.
- On remarque une augmentation tant du débit de liquide que du débit de vapeur et cette augmentation améliore l'efficacité de l'absorption du CO₂ par l'amine MDEA en favorisant le transfert de masse grâce à un contact accru entre le gaz et le liquide, ce qui permet de capturer davantage de CO₂.
- Le nombre de plateaux, la pression et le débit de aMDEA jouent un rôle crucial dans la composition du CO₂ absorbé. Une augmentation de ces paramètres conduit à une absorption optimale.

En perspective, on recommande:

- ❖ D'encourager l'utilisation du logiciel Aspen HYSYS V8.8 pour l'exploration d'autres procédés industriels.

L'encouragement à utiliser Aspen HYSYS dans l'industrie est motivé par sa capacité à fournir des solutions de modélisation précises et avancées, permettant aux ingénieurs d'améliorer les performances des procédés et de prendre des décisions stratégiques basées sur des analyses approfondies.



Bibliographies

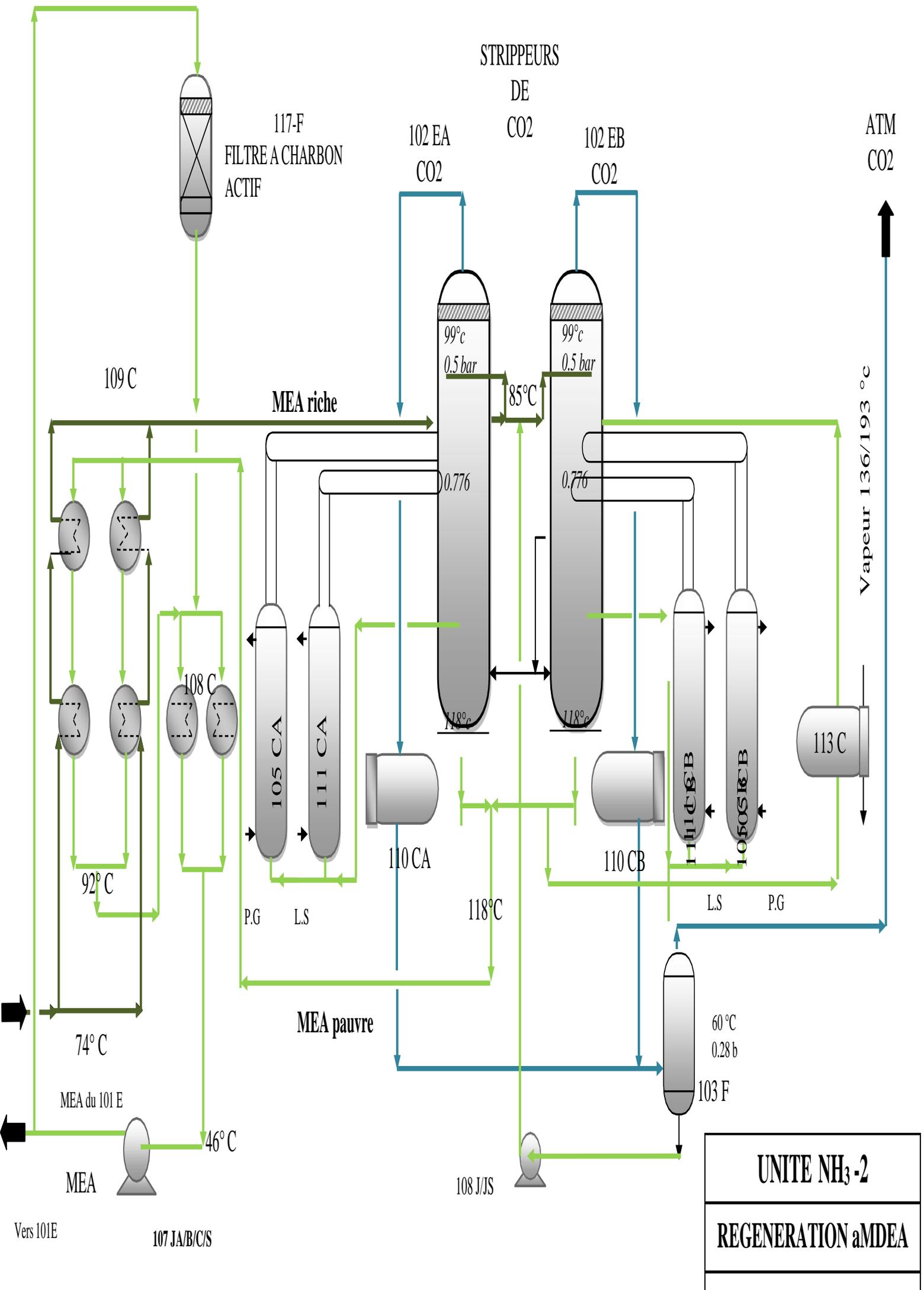
Bibliographies

- [1] "Archive ammoniac centre interprofessionnel".
- [2] "section décarbonatation unité NH3 II," in *fertial-usine d'arzew*.
- [3] "section décarbonatation unité NH3 I," in *fertial-usine d'arzew*.
- [4] KREBS, "Manuel opératoire de Nitrate d'ammonium," 1985.
- [5] W. L. McCabe, Julian and P. Harriott, Unit operation of chemical, 5 édition ed., New York, 1993.
- [6] W. L. McCabe, J. C. Smith and P. Harriott, Opérations unitaires en génie des procédés, 7ème ed., McGraw-Hill, Ed., 2004.
- [7] J. Y. Hwang, "Absorption de gaz," *Chemical Engineering Education*, vol. 32, pp. 28-35, 1998.
- [8] J. M. Coulson, J. F. Richardson and J. R. Backhurs, Génie des procédés industriels, vol. 2, D. B. Supérieur, Ed., 1999.
- [9] P. Harriott, J. C. Smith and W. L. McCabe, Traité de génie chimique, vol. 5, Dunod, Ed., 2005.
- [10] R. E. Treybal, Mass Transfer Operations, McGraw-Hill, Ed., 1980.
- [11] D.K. Roper, Ernest J. Henley and J.D. Seader, Separation Process Principles, Wiley, Ed., 2011.
- [12] K.A.M. Gasem , Gas Purification, G. P. Company, Ed., 2005.
- [13] V. J, Génie des procédés - Équipements chimiques : Tome 2, 3ème édition ed., Paris, 2006.
- [14] K. Sattler, Absorption : Fundamentals & Applications, 1ère édition ed., 978-3527331659, 2012.
- [15] D. V. Krevelen and P.J. Hoftijzer, "Cinétique des réactions gaz-liquide" dans le journal "Recueils des travaux chimiques de Pays-Bas", " vol. 67, pp. 563-586, 1948.
- [16] Richard Turton, Wallace B. Whit and Richard C. Bailie, Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes, 4ème édition ed., 2018.
- [17] G. T. Rochelle, "A review of solvent systems for CO2 capture," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 90, pp. 3-18, 2002.
- [18] H. Zhai, X. Li and J. Li, "A review of structured packings for absorption and stripping processes," *Separation and Purification Technology*, vol. vol. 74, pp. 235-248, 2010.
- [19] C. E. Capes, Absorption de gaz, 9 édition ed., McGraw-Hill, Ed., New York, 2018, pp. 14-32.
- [20] Haddad, "Optimisation énergétique des procédés de séparation par membrane : Application au traitement du biogaz," 2017.
- [21] W. B. B, Process Dynamics: Modeling, Analysis and Simulation, P. Hall, Ed., New Jersey, 1998.
- [22] erry Banks, John S. Carson II and Barry L. Nelson, Simulation de systèmes à événements discrets, 5 ed., Pearson, Ed., Paris, France, 2019.
- [23] J. Banks, Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice, 1998.
- [24] W. David Kelton, Randall P. Sadowski and Deborah A. Sadowski, Simulation avec Arena, 2009.
- [25] M. Bounif, Conception et simulation des procédés, Dunod ed., 2018.
- [26] M. Fliess, Simulation de systèmes dynamiques : Méthodologie, outils et applications, Ellipses Marketing ed., 2009.
- [27] T. Lelièvre, Introduction à la simulation numérique en physique : Cours et exercices corrigés, De Boeck Supérieur ed., 2017.
- [28] Romain Privat and Guillaume Stoltz, Simulation numérique en génie chimique : méthodes, techniques, applications, 2019.
- [29] AspenTech, An Introduction to Chemical Engineering Simulation, AspenTech, Ed., 2006.
- [30] D. Scott and Tranter, Introduction to Chemical Engineering Processes/Print Version, Wikibooks, Ed., 2019.
- [31] Michael E and Hanyak Jr., Chemical Process Simulation and the Aspen HYSYS Software, C. I. P. Platform, Ed., 2013, p. 290.

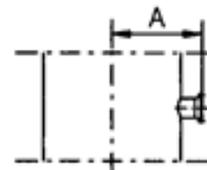
- [32] Gavin Towler and Ray Sinnott, Chemical Engineering Design and Economics of Plant and Process Design, E. Science, Ed., 2021, p. 1 040.
- [33] M. E. Hanyak, Chemical Process Simulation and the Aspen HYSYS Software, B. U. Department of Chemical Engineering, Ed., 2012, p. 264.



ANNEXE 01



Nozzle Lengths (Upper Part)

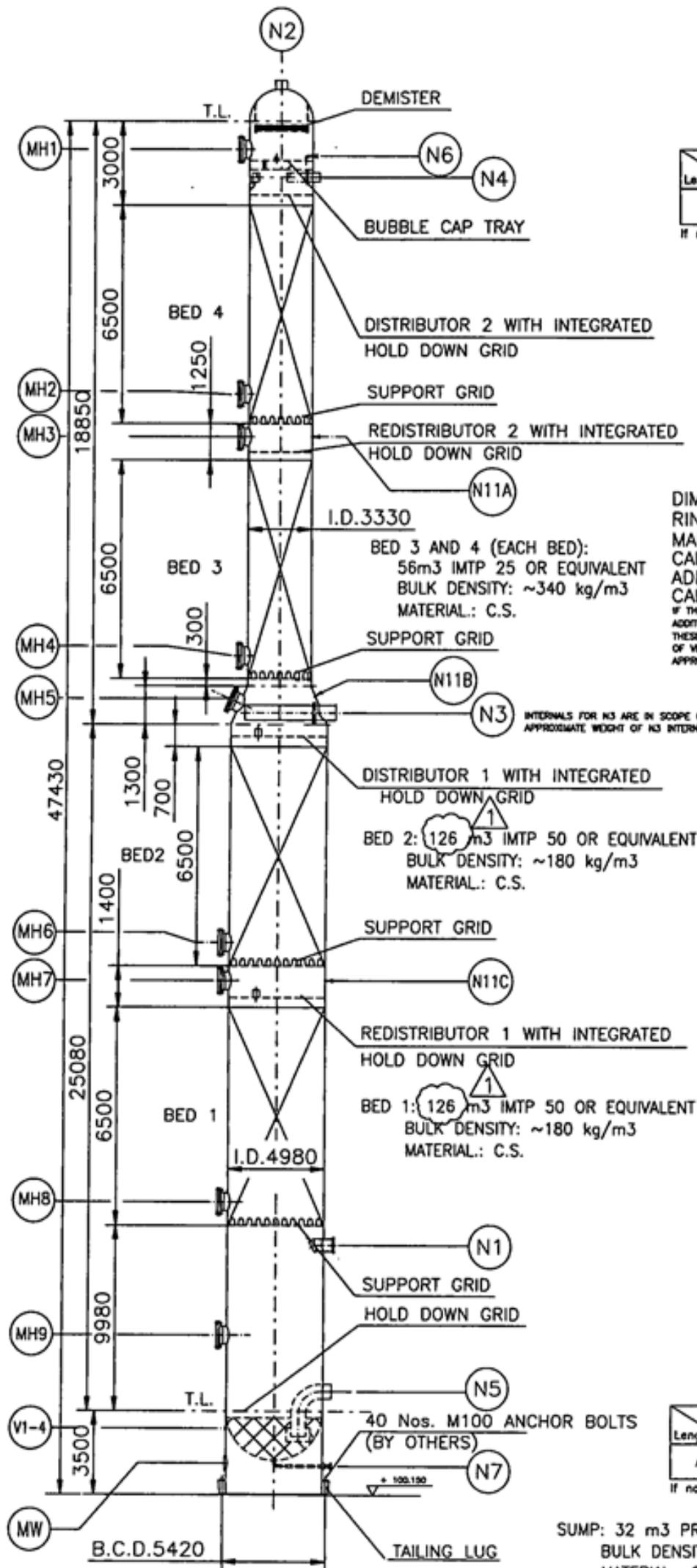


NPS Length	<=4"	6"-10"	>=12"
A	1940	1990	1990

If not otherwise indicated in the sketches

DIMENSIONS OF SUPPORT RING SUBJECT TO INTERNAL MANUFACTURERS STRESS CALCULATION. ADDITIONAL STRAIN CALCULATION (max.0.2 bar). IF THIS CALCULATION PROVES THAT ADDITIONAL SUPPORT BEAMS ARE NECESSARY THESE BEAMS SHALL BE IN THE SCOPE OF SUPPLY OF VESSEL MANUFACTURER. APPROXIMATE WEIGHT OF SUPPORT BEAMS = 8500 kgs.

INTERNALS FOR N3 ARE IN SCOPE OF SUPPLY OF VESSEL MANUFACTURER. APPROXIMATE WEIGHT OF N3 INTERNALS = 3000 kgs.



Nozzle Lengths (Lower Part)



NPS Length	<=4"	6"-10"	>=12"
A	2770	2820	2820

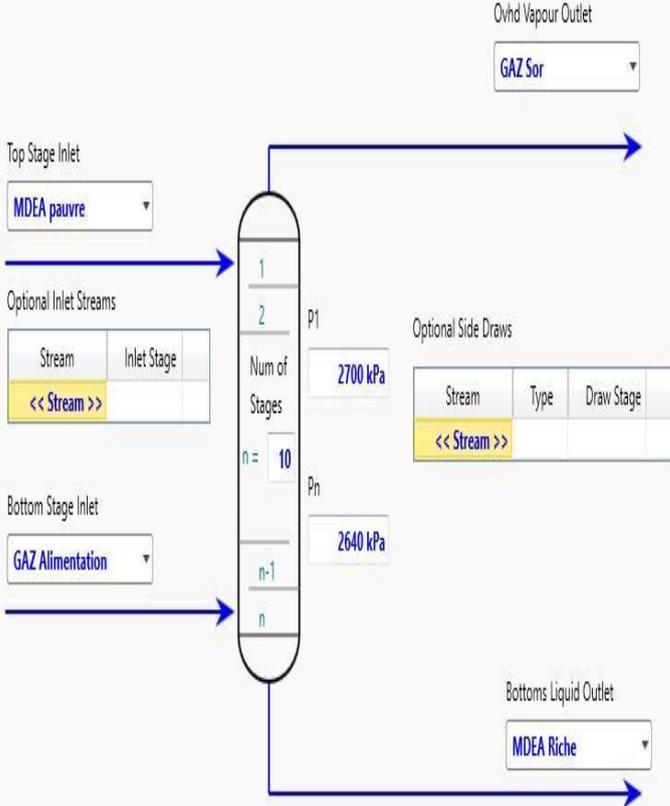
If not otherwise indicated in the sketches

SUMP: 32 m³ PRM 90 OR EQUIVALENT
BULK DENSITY: ~180 kg/m³
MATERIAL: C.S.

Design Parameters Side Ops Internals Rating Worksheet Performance Flowsheet Reactions Dynamics

Design Column Name **Absorbeur 101E** Sub-Flowsheet Tag **COL1**

- Connections
- Monitor
- Specs
- Specs Summary
- Subcooling
- Notes



Stage Numbering

Top Down Bottom Up

Edit Trays...

Fluid Package: Basis-1

Set Up | Phase Handling | Diagnostics | Notes

Package Type: HYSYS Component List Selection: **Component List - 1 [HYSYS Databanks]** View

Property Package Selection

- < none >
- Acid Gas - Liquid Treating
- Acid Gas - Chemical Solvents
- Acid Gas - Physical Solvents
- Acid Gas - Caustic Wash
- Antoine
- ASME Steam
- Braun K10
- BWRS
- Chao Seader
- Chien Null
- Clean Fuels Pkg
- CPA
- Esso Tabular
- Extended NRTL
- GCEOS
- General NRTL
- Glycol Package

Required Components

- Amine
- CO2
- H2S
- H2O

Supported Amines

- DEA
- DGA
- DIPA
- MDEA
- MEA
- PZ
- TEA

Upgrade Parameters

Supported Amine Blends

- DEA+DGA DEA+DIPA DEA+MDEA
- DEA+MEA DEA+PZ DEA+TEA
- DGA+DIPA DGA+MDEA DGA+MEA
- DGA+PZ DGA+TEA DIPA+MDEA
- DIPA+MEA DIPA+PZ DIPA+TEA
- MDEA+MEA MDEA+PZ MDEA+TEA
- MEA+PZ MEA+TEA PZ+TEA
- SULFOLANE+DIPA
- SULFOLANE+MDEA
- MDEA+MEA+DEA
- SULFOLANE+MDEA+PZ

Property Pkg **OK** Edit Properties

Column: Absorbear 101E / COL1 Fluid Pkg: Basis-1 / Acid Gas - Chemical Solvents

Design | Parameters | Side Ops | Internals | Rating | Worksheet | Performance | Flowsheet | Reactions | Dynamics

Performance

Summary: Reflux Ratio: 8,441 Boilup Ratio: Flows Energy

Basis: Molar Mass Ideal Liq Vol
 Liq Vol @Std Cond Act. Volume

	Temperature [C]	Pressure [kPa]	Net Liquid [kgmole/h]	Net Vapour [kgmole/h]	Net Feed [kgmole/h]	Net Draws [kgmole/h]	Duty [kJ/h]
1_Main Tower	46,16	2700	46,5829		46,560	5,5184	
2_Main Tower	46,20	2693	46,5873	5,54077			
3_Main Tower	46,25	2687	46,5932	5,54525			
4_Main Tower	46,35	2680	46,6024	5,55109			
5_Main Tower	46,55	2673	46,6193	5,56027			
6_Main Tower	46,96	2667	46,6537	5,57720			
7_Main Tower	47,88	2660	46,7272	5,61163			
8_Main Tower	49,93	2653	46,8873	5,68516			
9_Main Tower	54,37	2647	47,2278	5,84517			
10_Main Tower	61,75	2640		6,18573	6,7519	47,794	

Delete Column Environment... Run Reset **Completed** Update Outlets Ignored

