



Faculty of Sciences and Technology
Department of Process Engineering
Ref :...../U.M/F.S.T/2025

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم هندسة الطرائق

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2025

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**
Option: **GÉNIE CHIMIQUE**

THÈME

**Evaluation de la Capacité du Complexe CP1/Z à Fournir du Méthanol
Répondant aux Exigences de l'IMPCA**

Présenté par

- 1- BOUZOUADA Amira Djihad
- 2- CHENINE Kaouter

Soutenu le 18/06/ 2025 devant le jury composé de :

Président :	MERAD-DIB Hanae	Grade	MCA	Université de Mostaganem.
Examineur :	TERKHI Mohamed Cherif	Grade	MCA	Université de Mostaganem.
Rapporteur :	BENDENIA Chahrazed	Grade	MCA	Université de Mostaganem.
Co-Encadreur :	KHANTAR Sid Ahmed	Grade	PHD	Université de Mostaganem.

Année Universitaire 2024/2025

Dédicaces

*Nous dédions humblement ce travail à nos chers parents,
qui ont été nos piliers, notre inspiration et notre motivation tout au
long de ce parcours. Que Dieu les bénisses.*

*À Mme BENDENIA Chahrazad notre encadrante,
dont les conseils avisés, les orientations précieuses et le soutien
constant ont été d'une aide inestimable dans l'élaboration
de ce mémoire.*

À nos frères et sœurs qui nous ont toujours encouragés.

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

Remerciements

En premier lieu, Nous tenons à remercier le DIEU le tout puissant pour nous avoir donné : le courage, la patience et la bonne santé afin de mener ce projet à terme.

*Un grand merci tout particulier à madame **Chahrazed BENDENIA**, Maître de conférences A, à l'Université de Mostaganem, qui a accepté de nous encadré. Nous la remercierons, aussi, pour sa gentillesse, ses conseils, ses encouragements, ses remarques et surtout son aide assez précieuse.*

*Nos vifs remerciements vont, également, à Madame **Hanaa MERAD-DIB**, Maître de conférences A, à l'université de Mostaganem, d'avoir accepté de présider le jury, c'est un grand honneur pour nous.*

*Nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissances à Monsieur **Mohamed Cherif TERKHI**, de conférences A, à l'Université de Mostaganem, d'avoir accepté d'examiner ce travail et pour sa disponibilité. C'est un grand honneur pour nous.*

*Nous tenons à exprimer également notre sincère gratitude à Mr. **Sid Ahmed KHANTAR**, doctorant en génie électrique, à l'Université de Mostaganem, pour ses efforts inlassables, ses précieux conseils et son soutien indéfectible. Il a généreusement consacré son temps à nous co-superviser et à nous guider étroitement tout au long de la réalisation de ce projet. Son expertise et ses conseils ont été déterminants pour notre réussite.*

Nous adressons nos sincères remerciements à toutes personnes ayant contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement.

Liste des figures

Figure I.1 : Localisation géographique du complexe CP1/Z.	- 5 -
Figure I.2 : Organigramme des différents départements du complexe pétrochimique CP1/Z d'Arzew.	- 7 -
Figure I.3 : Structure de la molécule du méthanol.	- 8 -
Figure I.4 : Représentation graphique de la synthèse du méthanol.	- 11 -
Figure I.5 : Schéma de la section 100.	- 13 -
Figure I.6 : Plan de la section 200.	- 14 -
Figure I.7 : Illustration de la section 300.	- 15 -
Figure I.8 : Configuration de la section 400.	- 16 -
Figure I.9 : Plan de la section 500.	- 17 -
Figure I.10 : Schéma de la section 600.	- 18 -
Figure I.11 : Schéma de la section 700.	- 19 -
Figure II.1 : Illustration de la colonne de distillation.	- 28 -
Figure II.2 : Colonne à plateaux.	- 30 -
Figure II.3 : Fonctionnement d'un plateau.	- 31 -
Figure II.4 : Schéma du bilan thermique de la colonne.	- 33 -
Figure III.1 : Organigramme générale d'Aspen HYSYS.	- 44 -
Figure III.2 : Représentation schématique de la colonne shortcut.	- 49 -
Figure III.3 : Sélection du modèle Shortcut Column dans Aspen HYSYS.	- 50 -
Figure III.4 : Schéma représentatif de la troisième colonne V-603.	- 51 -
Figure III.5 : Composants du flux d'alimentation en méthanol de V-603.	- 57 -

Figure III.6 : Compositions massiques du flux de méthanol de grade IMPCA issues de la simulation.....	- 60 -
Figure III.7 : Évolution de la température le long des étages de la colonne	- 62 -
Figure III.8 : Profil de pression à travers les différents étages de la colonne de distillation.	- 63 -
Figure III.9 : Variation des flux de vapeur et de liquide à travers la colonne de distillatio.....	- 64 -
Figure III.10 : Composition massique du composant principale (MeOH).....	- 65 -

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Capacités des unités du complexe CP1/Z.....	- 6 -
Tableau III.1 : Propriétés du méthanol au niveau du complexe CP1Z.....	- 40 -
Tableau III.2 : Équations d'état.....	- 46 -
Tableau III.3 : Modèles d'activités.....	- 48 -
Tableau III.4 : Caractéristiques techniques de la colonne V-602.....	- 52 -
Tableau III.5 : Paramètres de l'alimentation à l'entrée de la colonne V-602.....	- 53 -
Tableau III.6 : Composition massique de la charge de V-602.....	- 54 -
Tableau III.7 : Composition massique du distillat.....	- 54 -
Tableau III.8 : Composition massique du résidu.....	- 55 -
Tableau III.9 : Principales propriétés mesurées à la sortie de la colonne V-602 (cas actuel)....	- 56 -
Tableau III.10 : Qualité du méthanol d'alimentation de la troisième colonne.....	- 58 -
Tableau III.11 : Spécifications de la colonne V-603.....	- 59 -
Tableau III.12 : Qualité du méthanol raffiné issu de la troisième colonne (cas actuel)....	- 61 -

Liste des abréviations

UMAB	Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem
FST	Faculté des Sciences et de la Technologie
ALMER	Algérie Méthanol et Résines
BP	Basse Pression
CP1/Z	Complexe Pétrochimique d'Arzew
HP	Haute Pression
IMPCA	International Methanol Producers and Consumers Association
MeOH	Méthanol
MP	Moyenne Pression
MTBE	Méthyl Tertio Butyl Ether
MBWR	Equation Modified Benedict/Web/Rubin
NRTL	Non-Random Two Liquid
PFD	Process Flow Diagram
PR	Peng Robinson
PRSV	Peng Robinson Stryjet Vera
PPM	Partie Par Million
RTO	Région de Transport Ouest
RK	Redlich-Kwong
SONATRACH	Société Nationale Pour La recherché, La Production, Le Transport, La Transformation, et La Commercialisation des Hydrocarbures.
SIR	Résines Société Italienne
SRK	Redlich-Kwong-Soave

SMR	Steam Methane Reforming
UNIQAC	Universal Quasi Chemical

Nomenclature

16TK1, 16TK2	Réservoirs du méthanol
D	Débit molaire du distillat [Kmol/h]
E	Efficacité
F201	Four tubulaire de reforming
F204	Réchauffeur du gaz naturel
F205	Chaudière fermée
F208	Ballon vapeur
H301	Chaudière de récupération
H302	Economiseur gaz
H303	Réchauffeur d'eau d'alimentation
H304	Réfrigérant final
H501	Echangeur (gaz de synthèse comprimé-méthanol chaud)
H502	Condenseur du méthanol
H510	Aérocondenseurs
H601	Echangeur (vapeur de tête-alimentation) de la V601
H602	Aérocondenseurs
H603	Aérocondenseurs final
H605	Condenseur de tête de la V602
H606	Rebouilleur de la V602
H607	Réfrigérant du méthanol final
H608	Réfrigérant d'alcools lourds

H609	Réfrigérant d'eau résiduaire
H610	Rebouilleur de V601
ha	L'enthalpie ou quantité de chaleur contenue dans 1 molécule d'alimentation
hd	L'enthalpie d'une molécule de distillat
hr	L'enthalpie d'une molécule de résidu
H _T	Hauteur totale de la distillation
H ₁	La distance entre le sommet est le premier plateau de la zone de rectification
H ₂	La hauteur de la zone de rectification
H ₃	La hauteur de la zone d'alimentation
H ₄	La hauteur de la zone d'épuisement
H ₅	La hauteur de l'espace libre au-dessous du plateau inférieur
K401	Compresseur de synthèse centrifuge
K402	Recyrclateur
L	Débit molaire de l'alimentation [Kmol/h]
Q401	Turbine du 1 ^{er} compresseur
Q402	Turbine du 2 ^{ème} compresseur
Qa	L'enthalpie d'alimentation
Qd	L'enthalpie du distillat
Qr	L'enthalpie du résidu
Qc	Débit thermique du condenseur
Qv	Débit thermique du rebouilleur
R	Débit molaire du résidu [Kmol/h]
V105	Désulfureur du gaz naturel
V106	Séparateur du gaz naturel

V501	Convertisseur (réacteur de synthèse du méthanol)
V502	1 ^{er} séparateur du méthanol
V503	2 ^{ème} séparateur du méthanol
V601	1 ^{ère} colonne de distillation (distillation des produits légers)
V602	2 ^{ème} colonne de distillation (distillation des produits lourds)
V603	Ballon de reflux de la V601
V604	Ballon de reflux de la V602
V605	Séparateur du méthanol
V302	3 ^{ème} séparateur de condensats
V303	1 ^{er} séparateur de condensats
X'	Concentration molaire du liquide [Kmol]
X'_L	Concentration molaire de constituant le plus volatil dans la charge [Kmol]
X'_R	Concentration molaire de constituant le plus volatil dans le résidu [Kmol]
Y'_D	Concentration molaire de constituant le plus volatil dans le distillat [Kmol]
ΔH°	Enthalpie de la réaction [KJ/mol]

Résumé

ملخص

في إطار هذا الموجز كان تحسين عملية تنقية الميثانول في المجمع البتروكيماوي CP1/Z في أرزيو موقع إنتاج الميثانول الرئيسي في الجزائر موضوع دراسة شاملة بهدف اقتراح حل فعال لحدود عمود التقطير V-602 الحالي. استجابة للمتطلبات الصارمة لمعيار IMPCA والتي تتعلق بشكل أساسي بمحتوى الإيثانول المتبقي اعتمد النهج المعتمد على نمذجة ومحاكاة العمليات باستخدام برنامج Aspen HYSYS من أجل تصميم عمود تقطير ثالث V-603 مخصص لـ التكرير النهائي للميثانول.

أثبتت نتائج المحاكاة صحة أداء هذا العمود الجديد القادر على إنتاج ميثانول عالي النقاء (جزء الكتلة 0.999996) مع انخفاض محتوى الإيثانول إلى 0.000004 مع الامتثال الكامل لـ IMPCA. يعمل عمود V-603 المصمم بـ 80 صينية نظرية بكفاءة مع الأحمال الحرارية العالية وتدفق نواتج التقطير بمقدار 14500 كجم/ساعة. تؤكد درجات الحرارة والضغط وأجزاء الكتلة المرصودة استقرار وكفاءة الفصل.

الكلمات الدالة : الميثانول – التنقية – عمود التقطير V-603 – المحاكاة – معيار IMPCA.

RESUME

Dans le cadre du présent mémoire, l'amélioration du procédé de purification du méthanol au complexe pétrochimique CP1/Z d'Arzew, principal site de production de méthanol en Algérie, a fait l'objet d'une étude approfondie afin de proposer une solution efficace aux limites de la colonne de distillation V-602 existante. En réponse aux exigences strictes de la norme IMPCA, relatives principalement à la teneur en éthanol résiduel, L'approche adoptée était basée sur la modélisation et la simulation des procédés à l'aide du software Aspen HYSYS, afin de concevoir une troisième colonne de distillation (V-603) dédiée au raffinage final du méthanol.

Les résultats de la simulation ont validé les performances de cette nouvelle colonne, capable de produire du méthanol de très haute pureté (fraction massique de 0,999996) avec une teneur en éthanol réduite à 0,000004, en totale conformité avec l'IMPCA. La colonne V-603, conçue avec 80 plateaux théoriques, fonctionne efficacement avec des charges thermiques élevées et

un débit de distillat de 14 500 kg/h. Les profils de température, de pression et de fraction massique observés confirment la stabilité et l'efficacité de la séparation.

Mots clé : Méthanol – purification – Colonne de distillation V-603 – Simulation – norme IMPCA.

Abstract

In this paper, the improvement of the methanol purification process at the CP1/Z petrochemical complex in Arzew, Algeria's main methanol production site was studied in depth in order to propose an effective solution to the limitations of the existing V-602 distillation column. In response to the strict requirements of the IMPCA standard, relating mainly to residual ethanol content, the approach adopted was based on process modelling and simulation using Aspen HYSYS software, in order to design a third distillation column (V-603) dedicated to the final refining of methanol.

Simulation results validated the performance of this new column, capable of producing very high purity methanol (mass fraction of 0.999996) with an ethanol content reduced to 0.000004, in full compliance with IMPCA. The V-603 column, designed with 80 theoretical trays, operates efficiently with high thermal loads and a distillate flow rate of 14,500 kg/h. The temperature, pressure and mass fraction profiles observed confirm the stability and efficiency of the separation.

Key words: Methanol - Purification - Distillation column V-603 - Simulation - IMPCA standard.

Table des matières

<i>Dédicaces</i>	i
<i>Remerciements</i>	ii
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	v
Liste des abréviations	vi
Nomenclature	viii
Résumé	xi
Introduction Générale.....	- 1 -
Chapitre I : Le complexe CP1/Z et les concepts industriels de synthèse du méthanol	- 4 -
I.1 INTRODUCTION.....	- 4 -
I.2 ORIGINES DU COMPLEXE METHANOL D'ARZEW	- 4 -
I.3 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU COMPLEXE CP1/Z	- 5 -
I.4 ACTIVITE INDUSTRIELLES DU COMPLEXE CP1/Z.....	- 5 -
I.5 ORGANIGRAMME DU CP1/Z.....	- 6 -
I.6 UNITE DE PRODUCTION DU METHANOL	- 7 -
I.6.1 Aspects généraux du méthanol.....	- 7 -
I.6.2 Caractéristiques fondamentales du méthanol.....	- 8 -
I.6.3 Catégories du méthanol.....	- 9 -
I.6.4 La norme de l' IMPCA	- 9 -

I.6.5	Processus industriel d'élaboration du méthanol raffiné	- 11 -
I.6.6	Les utilités	- 19 -
I.6.7	Laboratoire d'analyse	- 20 -
I.7	CONCLUSION	- 21 -
Chapitre II : Théorie de la distillation fractionnée		- 23 -
II.1	INTRODUCTION	- 23 -
II.2	APERÇU GENERAL DE LA RECTIFICATION	- 23 -
II.2.1	La rectification	- 23 -
II.2.2	Eléments favorisant le choix de la rectification	- 24 -
II.2.3	Méthode de traitement	- 24 -
II.2.3.1	Distillation permanente	- 24 -
II.2.3.2	Distillation en discontinue	- 25 -
II.3	PRESENTATION DE LA COLONNE DE RECTIFICATION	- 26 -
II.4	DESCRIPTION TECHNIQUE D'UNE UNITE DE DISTILLATION FRACTIONNEE	- 26 -
II.5	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE COLONNE DE DISTILLATION ..	- 29 -
II.6	DIFFERENTES CLASSES DE COLONNES DE RECTIFICATION	- 29 -
II.6.1	Les colonnes à garnissages	- 29 -
II.6.2	Les colonnes à plateaux	- 30 -
II.7	BILAN MATIERE DE LA COLONNE.....	- 32 -
II.8	BILAN THERMIQUE DE LA COLONNE.....	- 32 -
II.9	CONCEPTION DIMENSIONNELLE DE LA COLONNE	- 34 -
II.9.1	Hauteur de la colonne	- 34 -

II.9.2	Nombre de plateaux	- 35 -
II.9.3	Espacement entre les plateaux	- 35 -
II.9.4	Diamètre de la colonne	- 36 -
II.10	CONCLUSION.....	- 36 -
Chapitre III : Mise en place d'une troisième colonne de distillation visant une meilleure pureté du méthanol.....- 38 -		
III.1	INTRODUCTION	- 38 -
III.2	PROBLEMATIQUE	- 39 -
III.3	SIMULATION D'UNE COLONNE DE DISTILLATION DU METHANOL	- 41 -
III.4	APPORT DU SYSTEME DE SIMULATION HYSYS.....	- 42 -
III.5	DIVERS MODALITES DE FONCTIONNEMENT DU SIMULATEUR HYSYS.....	- 42 -
III.6	UTILISATION DE HYSYS.....	- 43 -
III.7	MODELES THERMODYNAMIQUE APPLIQUES POUR LA SIMULATION ..	- 45 -
III.7.1	Modèles d'équations d'état.....	- 45 -
III.7.2	Modèles d'activités.....	- 47 -
III.8	PROCESSUS METHODOLOGIQUE ET PROTOCOLE.....	- 49 -
III.9	PARAMETRES DE LA DUXIEME COLONNE	- 51 -
III.9.1	Caractéristiques techniques de la colonne V-602.....	- 51 -
III.9.2	Paramètres de l'alimentation à l'entrée de la colonne V-602 :.....	- 53 -
III.9.3	Composition massique de la charge de V-602	- 53 -
III.9.4	Qualité du méthanol raffiné par la colonne V-602.....	- 54 -
III.9.5	Données supplémentaire à la sortie de la V-602	- 55 -

III.10 MODÉLISATION D'UNE TROISIEME COLONNE POUR UN FLUX DE 14600 Kg/h	- 56 -
III.10.1 Qualité du méthanol d'entrée de la troisième colonne de distillation V-603 ..	- 56 -
III.11 RESULTATS DE SIMULATION	- 58 -
III.11.1 Paramètres de conception de la colonne V-603	- 58 -
III.11.2 Composition du méthanol raffiné extrait de la troisième colonne.....	- 60 -
III.11.3 Analyse des profils thermodynamiques et de flux dans la colonne de distillation simulée via HYSYS.....	- 61 -
III.12 EVALUATION DES DIMENSIONS DE LA COLONNE	- 66 -
III.12.1 Le diamètre de la colonne.....	- 66 -
III.12.2 La hauteur de la colonne.....	- 67 -
III.13 CONCLUSION	- 68 -
Conclusion générale et recommandations.....	- 69 -
Bibliographie	- 71 -

Introduction Générale

Le méthanol se trouve être un élément chimique crucial dans un certain nombre de secteurs industriels, y compris la pétrochimie, les produits pharmaceutiques et les matériaux synthétiques. Au fil des décennies, la consommation mondiale en méthanol a considérablement évolué, à la fois pour son rôle de matière première et son usage en tant que carburant propre.

Cette évolution s'est accompagnée d'exigences croissantes en termes de pureté et de qualité, nécessitant le respect de normes strictes dans le cadre de l'IMPCA (International Methanol Producers and Consumers Association) [1].

Au cours de ces dernières décennies, le marché du méthanol a connu en effet de profondes modifications, induites par des transformations structurelles : émergence de nouveaux centres de production, diversification des applications finales, intensification des flux commerciaux et variations de prix. Ce dynamisme a renforcé la compétitivité du marché mondial et les relations entre le méthanol et d'autres branches de l'industrie chimique [2].

En Algérie, le complexe pétrochimique CP1/Z, implanté sur le site industriel d'Arzew, est le premier producteur national de méthanol à partir des importantes réserves de gaz naturel du pays. Depuis sa mise en service initiale, le complexe assure la conception de méthanol de grade A pour les besoins du marché national et international. Toutefois, pour rester compétitif et répondre aux standards internationaux, la qualité du produit final doit être optimisée, en particulier par la réduction des impuretés telles que l'éthanol [3].

Le respect des spécifications de l'IMPCA pour la production de méthanol requiert des procédés de purification avancés basés sur la distillation. Cette technique repose sur des principes de thermodynamique et de transfert de matière, permettant de séparer efficacement les constituants d'un mélange. Ainsi, les colonnes de distillation récentes, à plateaux ou à garnissage, atteignent aujourd'hui des dimensions remarquables permettant leur intégration

dans des installations spécifiques, malgré les défis liés à leur forte consommation d'énergie et aux risques de dégradation thermique [4].

En examinant le processus actuel de purification du méthanol au sein du complexe CP1/Z, il est apparu que la colonne V-602 présentait des défauts de pureté, relatifs entre autres à la teneur résiduelle en éthanol. Ceci constitue un obstacle majeur aux exigences de la norme IMPCA 2021 et donc à la commercialisation du produit final sur les marchés internationaux.

Ce mémoire s'inscrit dans ce contexte et vise à étudier la conception et l'implantation d'une troisième colonne de distillation au sein de la section de purification du complexe CP1/Z. L'objectif principal est de permettre la production d'un méthanol répondant aux exigences IMPCA 2021, en abaissant la concentration d'éthanol à moins de 50 ppm. Pour ce faire, une étude approfondie de dimensionnement et de simulation a été menée à l'aide du logiciel Aspen HYSYS, permettant de modéliser le procédé et d'identifier la meilleure configuration possible et par conséquent valoriser les ressources naturelles du pays et renforcer la compétitivité de la production algérienne sur le marché mondial.

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres complémentaires :

- Le premier chapitre propose une présentation détaillée du complexe CP1/Z tout en se focalisant particulièrement sur le procédé de synthèse du méthanol mis en œuvre dans cette installation.
- Le deuxième chapitre est consacré à la technique de distillation. Il expose les principes fondamentaux du procédé, décrit les différents types de colonnes utilisés dans l'industrie, et aborde les méthodes de régulation et de contrôle de leur fonctionnement.
- Le troisième chapitre introduit le logiciel Aspen HYSYS, utilisé pour la modélisation et la simulation du procédé. Il présente les résultats obtenus lors du dimensionnement de la nouvelle colonne de distillation V-603, conçue pour renforcer l'efficacité de la purification du méthanol.

Chapitre

I

*Le complexe CP1/Z et les concepts
industriels de synthèse du méthanol*

Chapitre I :

Le complexe CP1/Z et les concepts industriels de synthèse du méthanol

I.1 INTRODUCTION

Au cours des quinze dernières années, le marché mondial du méthanol s'est fortement transformé, provoquant l'évolution de la demande régionale, l'apparition de nouvelles applications finales et de nouveaux centres de production. Cette évolution a généré d'importants flux commerciaux, des variations de prix marquées et un mouvement économique unique, tout en renforçant les liens avec d'autres branches de l'industrie chimique, ce qui a rendu l'orientation du marché encore plus complexe.

Devant cette demande accrue de méthanol et de ses dérivés, la valorisation du gaz naturel algérien revêt une importance stratégique. La production de méthanol de qualité commerciale, dite « grade A », est assurée depuis 1968 par le complexe CP1/Z en Algérie. Toutefois, les spécifications imposées aujourd'hui au niveau mondial exigent une pureté optimale, limitant la présence de traces d'éthanol. La qualité issue du complexe remplit désormais ces exigences rigoureuses, conformément à la norme IMPCA 2021 [5].

I.2 ORIGINES DU COMPLEXE METHANOL D'ARZEW

Le projet de production de méthanol à Arzew, Algérie débute en 1969 avec la création d'ALMER (Algérie Méthanol et Résines), société mixte entre SONATRACH et la société italienne SIR. Après la signature d'un contrat en 1970 pour la construction de l'unité méthanol et de résines synthétiques. Toutefois, ALMER est dissoute dès 1971, et SONATRACH reprend le projet, signant deux nouveaux accords avec ITALCONSULT & GLASGOW: l'un en 1972 pour les utilités, et l'autre en 1973 pour les unités de résines.

La mise en service du complexe s'effectue par étapes : les utilités en 1975, l'unité de méthanol en 1976, et les résines synthétiques en 1977. L'ensemble du complexe est officiellement inauguré le 24 février 1978 par le président Houari Boumediene [6].

I.3 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU COMPLEXE CP1/Z

Le complexe CP1/Z s'étend sur 27 hectares, situé sur le plateau de Mohgoun, au bord la baie d'Arzew, à 2 km au nord de la ville et en face de la raffinerie [7] (Voir **Figure I.1**).



Figure I.1 : Localisation géographique du complexe CP1/Z.

I.4 ACTIVITE INDUSTRIELLES DU COMPLEXE CP1/Z

Le complexe CP1/Z assure l'ensemble des opérations de transformation chimique des hydrocarbures liquides et gazeux et de leurs dérivés, en développant des substances pétrochimiques de base et des produits finis destinés au marché local et à l'exportation.

Jusqu'à la fin des années 1990, après la dissolution de certaines unités causée par la crise du marketing et l'obsolescence de certains produits, le complexe produisait la gamme de produits à savoir : Méthanol, Grade A, Formaldéhyde 36%, Formurée 80 (UFC80), Résines uréiques liquides L10, Résines phénoliques liquides (en arrêt), Résines phénoliques en

Chapitre I : Le complexe CP1/Z et les concepts industriels de synthèse du méthanol

poudre à mouler (en arrêt), Résines uréiques atomisées (en arrêt), Résines uréiques en poudre à mouler (en arrêt), Résines Mèlaminiques (en arrêt) [7,5].

À ce stade, le complexe se consacre principalement à la production de méthanol et de certaines résines tels que : Méthanol, Formaldéhyde 36%, Formulée 80, Résines uréiques solides S30 et liquides L10.

Le tableau **I.1** regroupe les différentes capacités des produits fabriqués au niveau du complexe CP1/Z [4].

Tableau I.1 : Capacités des unités du complexe CP1/Z.

Désignation des produits	Appellation abrégée	Capacité de production (tonne/an)
Méthanol (MeOH)	MeOH	112.000
Formaldéhyde (F36)	F36	20.000
Formurée (UFC80)	UFC80	12.000
Résines uréiques liquides (RUL)	RUL	10.000

I.5 ORGANIGRAMME DU CP1/Z

Ci-dessous l'organigramme présentant les divers départements du complexe pétrochimique CP1/Z d'Arzew que l'on peut consulter à la **figure I.2** [7].

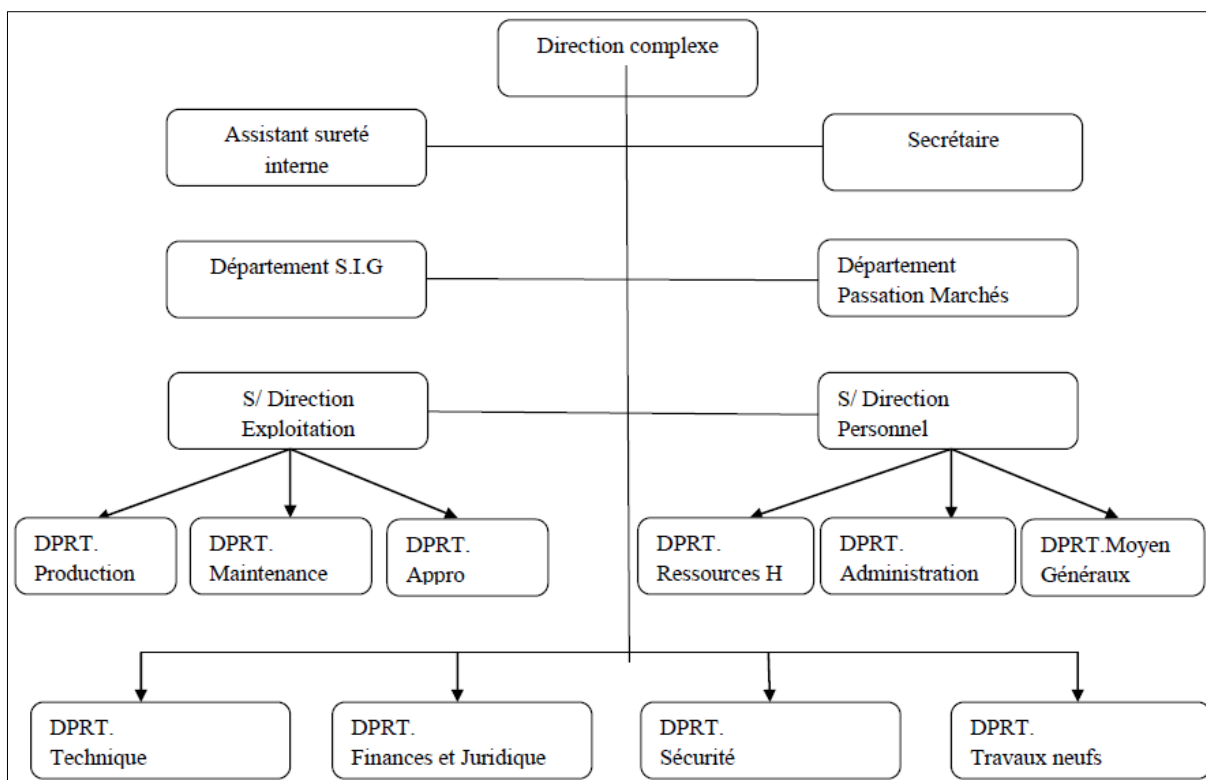


Figure I.2 : Organigramme des différents départements du complexe pétrochimique CP1/Z d'Arzew.

I.6 UNITE DE PRODUCTION DU METHANOL

I.6.1 Aspects généraux du méthanol

Le méthanol dont la formule CH_3OH comme illustrée à la **figure I.3**, est une substance limpide et incolore, dotée d'un parfum distinctif. Il est synthétisé par la réaction de l'hydrogène avec le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de carbone (CO_2). Le mélange gazeux utilisé, connu sous le nom de « gaz de synthèse », est généralement produit par le reformage à la vapeur du gaz naturel [7].



Figure I.3 : Structure de la molécule du méthanol.

I.6.2 Caractéristiques fondamentales du méthanol

Le méthanol est un solvant organique passif, qui se caractérise par sa totale miscibilité avec l'eau et sa propriété de formation de mélanges azéotropiques de différents composés (acétone, chloroforme, benzène). Dans des conditions usuelles, il est chimiquement stable, mais reste très réactif en raison de la grande mobilité de son groupe hydroxyle.

Le méthanol est caractérisé d'un point d'ébullition de 64.5°C, un point de fusion de -97.8°C, une densité de 0.7924 à 20°C, une chaleur de vaporisation de 263 Kcal par kilogramme et une perte d'énergie d'environ 50% comparée au **CO₂**.

Ce produit intervient dans de nombreuses réactions chimiques, telles que l'oxydation, la carbonylation, l'hydratation, la déshydrogénation et l'estérification. Il est également incompatible avec de puissants oxydants (acide nitrique, peroxydes, halogènes), certains métaux (sodium, magnésium) et diverses substances réactives, ce qui peut provoquer des réactions violentes ou explosives. Il peut aussi attaquer certains métaux comme le cuivre, le zinc ou l'aluminium.

Lors de sa combustion, le méthanol produit du dioxyde de carbone et de l'eau. Une oxydation contrôlée conduit au formaldéhyde, puis à l'acide formique.

Sur le plan industriel, le méthanol est largement utilisé en tant que solvant et intermédiaire de synthèse. Il entre notamment dans la fabrication de nombreux composés organiques tels que le formaldéhyde (35 % de la production mondiale de méthanol), le méthyl tertiobutyléther (MTBE) (13 %), l'acide acétique (10 %), le méthacrylate de méthyle, la méthylamine ou encore le diméthyle téréphtalate. Ces applications font du méthanol un précurseur essentiel dans l'industrie chimique [9].

I.6.3 Catégories du méthanol

Les catégories les plus importantes de méthanol comprennent :

- Le méthanol de type AA : Il s'agit du méthanol le plus pur, contenant une très faible concentration d'éthanol (jusqu'à 10 ppm). Il est notamment adapté à des utilisations précises et très exigeantes.
- Le méthanol de type A : Constitue essentiellement un solvant, intervenant dans de nombreux procédés industriels et formulations chimiques.
- Le méthanol de type C : Également connu sous le nom d'alcool de bois, il est généralement utilisé comme agent dénaturant dans les mélanges d'alcool non destinés à la consommation.
- Méthanol de norme IMPCA (International Methanol Producers and Consumers Association) : Cet agent de haute pureté est le plus largement commercialisé depuis 2015. Il répond à des critères stricts, dont une limite maximale d'éthanol de 50 ppm, ce qui le rend adapté aux applications industrielles exigeant un haut niveau de qualité [9].

I.6.4 La norme de l'IMPCA

L'IMPCA est un regroupement d'entreprises impliquées dans le commerce international du méthanol. Depuis 1987, il est accessible aussi bien aux industriels producteurs, distributeurs ou utilisateurs de méthanol en tant que matière première qu'aux prestataires de services opérant dans ce secteur.

Le groupe de l'IMPCA a par ailleurs pour vocation de communiquer et de diffuser des informations techniques, notamment par le biais de conférences thématiques rigoureusement organisées. Ces événements se tiennent régulièrement en Europe, en Asie du Sud-Est et aux États-Unis. La mini-conférence européenne, ainsi nommée en raison de sa durée de 24 heures, a été lancée en juin 1989 avec environ 35 participants. Depuis, elle se tient chaque année le deuxième jeudi et vendredi du mois de juin et attire aujourd'hui plus de 170 professionnels du secteur. Le lieu de la conférence change chaque année, alternant entre différentes villes européennes.

La diffusion d'informations spécialisées dans des domaines parfois peu documentés est rendu possible grâce à l'expertise des sous-comités techniques et aux recherches soutenues par des établissements universitaires [9].

La spécification IMPCA est répartie en plusieurs sections, chacune traitant d'un aspect spécifique en matière de qualité du méthanol à savoir :

- Aspect visuel : Le méthanol doit être transparent et exempt de toute particule en suspension.
- Acidité : La concentration maximale en acide acétique ne doit pas dépasser 30 mg/kg.
- Chlorures : La limite autorisée pour les ions chlorure est fixée à 0,5 mg/kg.
- Soufre : La teneur maximale en composés soufrés est également de 0,5 mg/kg.
- Coloration : La teinte du méthanol doit se situer entre 0 et 5 selon l'échelle Pt-Co.
- Masse volumique (densité) : La densité à 20 °C doit être comprise entre 0,791 et 0,793 g/cm³.
- Température d'ébullition : Le point de distillation doit se situer entre 64,5 °C et 64,7°C à une pression de 760 mm Hg.
- Hydrocarbures : La présence de ces composés est tolérée à condition qu'elle soit inférieure à 8 mg/1000 mL.
- Degré de pureté : Le méthanol doit contenir au minimum 99,85 % en masse de méthanol pur.
- Contaminants (impuretés) : Plusieurs substances indésirables peuvent être détectées, notamment l'éthanol, l'acétone, les hydrocarbures, le soufre, ainsi que des ions chlorure, entre autres.
- Résidus non volatils : La quantité maximale admissible de matières non volatiles est de 8 mg/1000 mL.
- Fer total (total Iron) : La concentration totale en fer ne doit pas excéder 0,1 mg/kg.
- Méthodes analytiques : L'IMPCA recommande l'usage de techniques telles que la chromatographie en phase gazeuse (GC), la chromatographie liquide (LC), ainsi que d'autres outils analytiques spécialisés pour déterminer avec précision la composition chimique du méthanol.

I.6.5 Processus industriel d'élaboration du méthanol raffiné

L'installation CP1/Z dispose d'une capacité de conception en méthanol de 300 à 340 tonnes par jour, stockées dans deux réservoirs d'une capacité de 12 000 m³ chacun (16TK1 et 16TK2). En plus du méthanol, le site génère également des résines synthétiques (L10 et S30), du formaldéhyde et du formuée (UF80). L'unité de méthanol fait usage de gaz naturel et de vapeur d'eau comme matières premières [10].

La transformation assurant la conversion optimale du gaz naturel en méthanol, telle indiquée à la **figure I.4**, se déroule à travers sept sections distinctes : Section 100, Section 200, Section 300, Section 400, Section 500, Section 600, Section 700 [7].

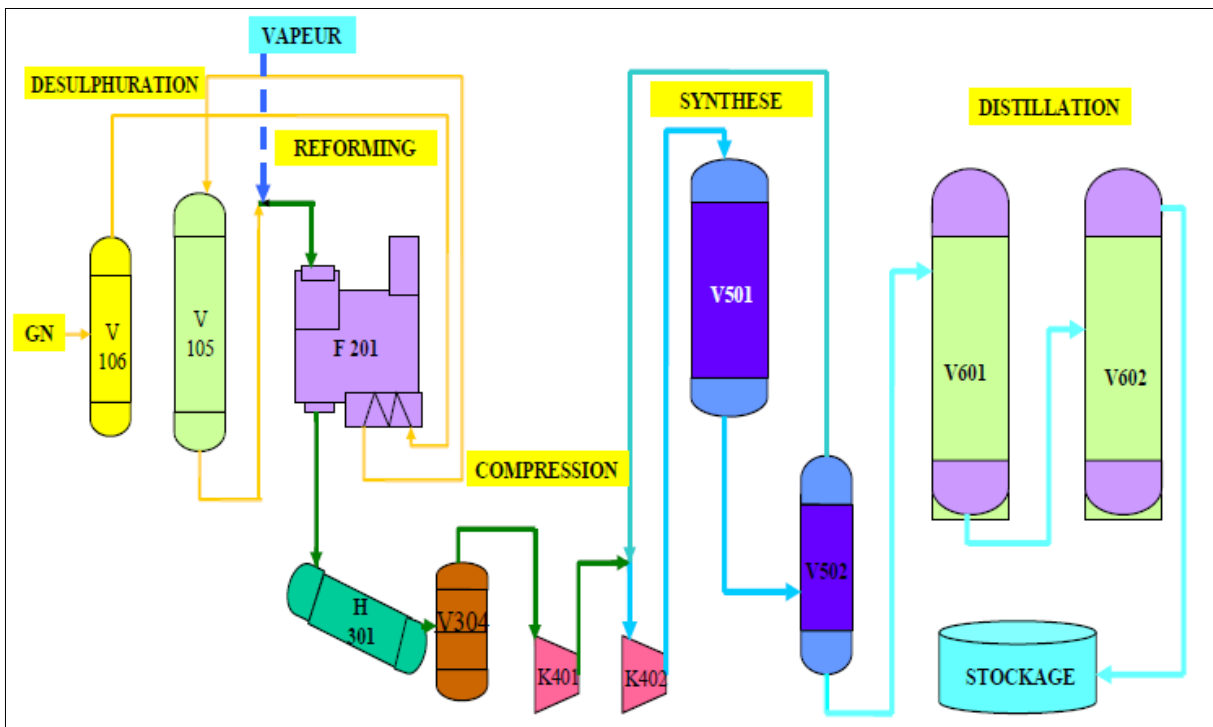


Figure I.4 : Représentation graphique de la synthèse du méthanol.

I.6.5.1 Section 100 : Distribution et désulfuration du gaz naturel

Initialement, le gaz naturel issu de RTO sous une pression de 30 bars est acheminé vers le séparateur V106 avec une pression réduite à 28 bars, éliminant ainsi toute trace d'hydrocarbures liquides [5,7] (voir **Figure 0.5**). Ensuite, le gaz naturel sortant du V106 est réparti et utilisé comme :

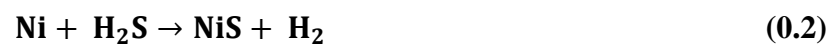
- Gaz combustible dans le four de reforming.
- Gaz combustible pour les brûleurs auxiliaires.
- Gaz combustible vers cantine.
- Gaz de process.
- Gaz de blinking.

Le gaz naturel contient des résidus de soufre nuisant au catalyseur du four de reformage. Par conséquent, sa désulfuration est indispensable afin de réduire la teneur en soufre, qui ne doit pas excéder 0,5 ppm en volume. Cette opération est réalisée à environ 400 °C à l'aide d'un adsorbant contenant de l'oxyde de zinc (ZnO), dont le but est d'absorber le soufre contenu dans le gaz naturel garantissant ainsi le respect de la limite de soufre tolérable dans le gaz naturel fourni.

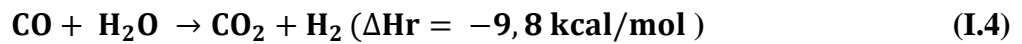
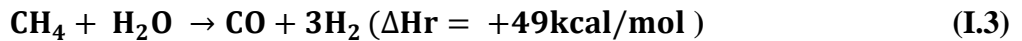
La réaction dans le désulfureur V105 s'écrit comme suit :



Il est à noter que H₂S détecté dans le four de reforming produirait une réaction d'empoisonnement du catalyseur nickelé par le H₂S dans ce même four, selon la réaction [5,7]:



Les principales opérations chimiques menées sont les suivantes :



Le plan de la section 200 est représenté dans la **figure I.6** ci-après [10] :

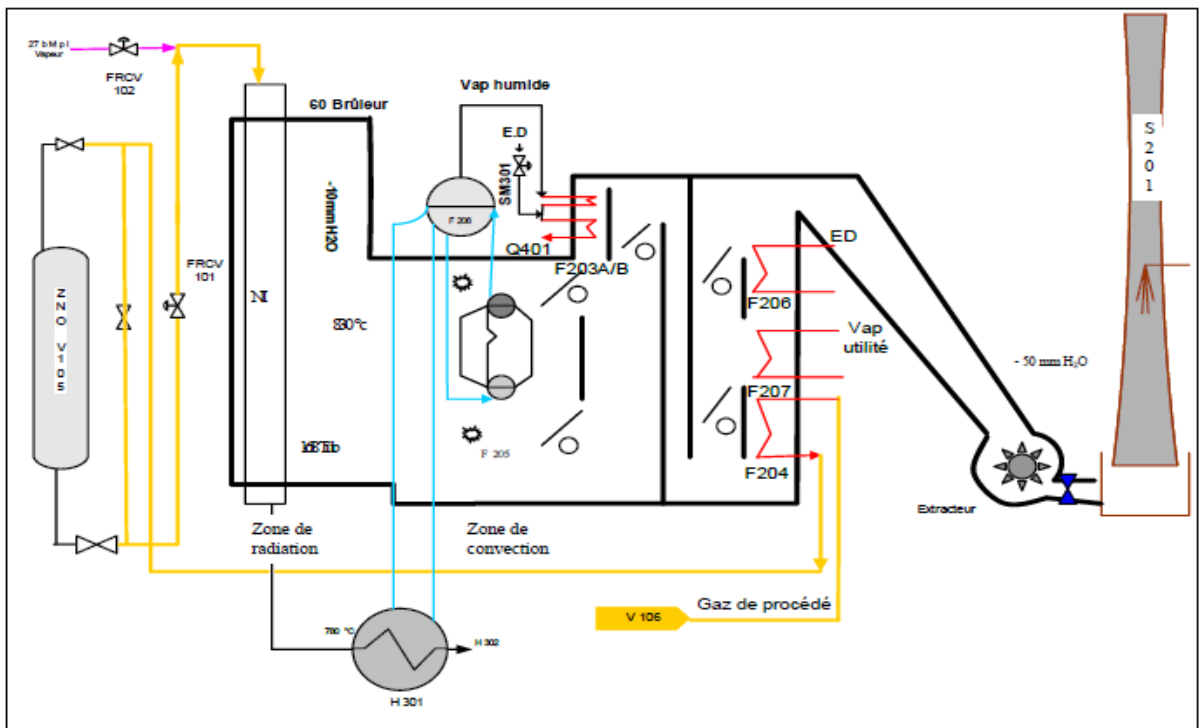


Figure I.6 : Plan de la section 200.

I.6.5.3 Section 300 : Refroidissement du gaz de synthèse et séparation d'eau

Le gaz de synthèse sortant du four de reforming, à haute température, est refroidi à 40°C avant d'être comprimé. Ce processus de refroidissement s'établit en plusieurs étapes telles indiquées à la **figure 0.7** [10] :

- Dans une chaudière (H301), le gaz est refroidi à 375 °C.
- Refroidi à 157°C dans un échangeur de chaleur (H302), il rejoint le séparateur (V303) pour la collecte des condensats.
- Le gaz passe par l'unité (V605) afin d'éliminer l'eau après être refroidi dans le rebouilleur à 142 °C. Il poursuit son parcours vers l'échangeur thermique (H303), qui

abaisse sa température à environ 126 °C, avant d'atteindre le refroidisseur (H304) où il est ramené à 40 °C. Enfin, le gaz est envoyé vers le séparateur (V302) pour extraire les dernières traces d'eau [5,7].

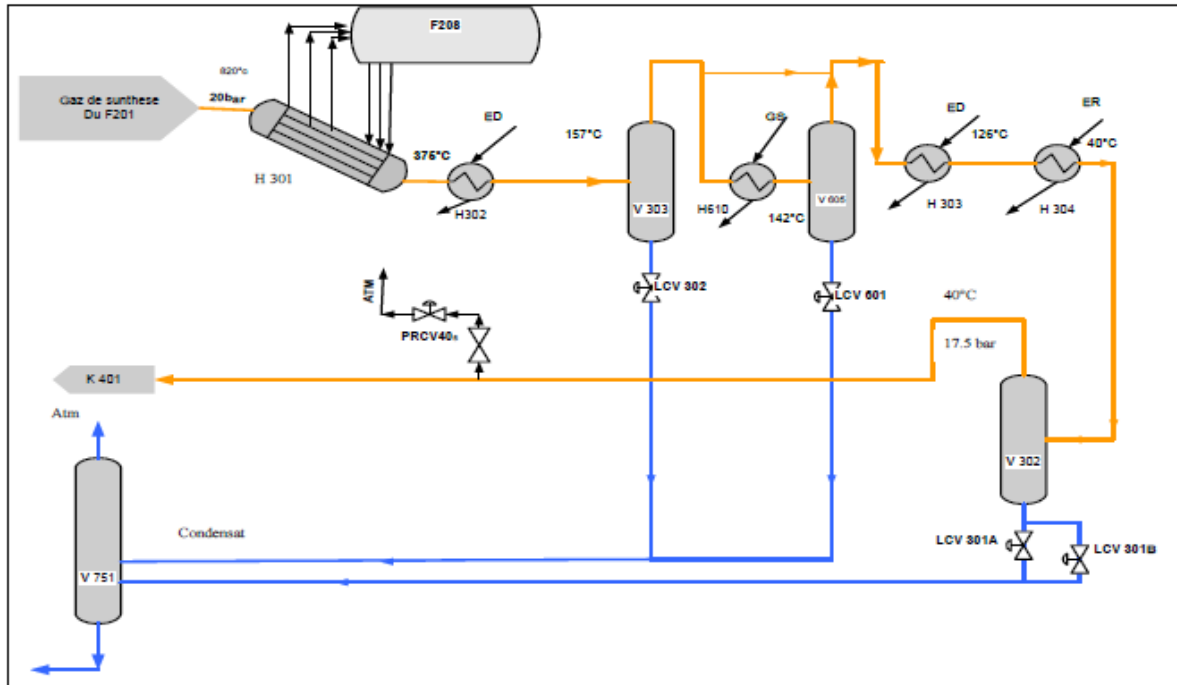


Figure I.7 : Illustration de la section 300.

I.6.5.4 Section 400 : Compression du gaz de synthèse

Le gaz de synthèse issu du réacteur (V302) est envoyé vers le compresseur (K401) à une température de 40 °C et une pression de 17 bars. Il est comprimé à 50 bars à travers les deux étages, basse pression (BP) et haute pression (HP). Ce compresseur est entraîné directement par une turbine (Q401) alimentée en vapeur haute pression à 80 bars [5,7].

Le gaz en sortie du compresseur (K401) est ensuite mélangé au gaz de purge en provenance du séparateur (V502) de méthanol brut, également à une température de 40 °C. Ce mélange est dirigé vers le recycleur (K402), où il est recomprimé à 52 bars et porté à une température de 77 °C.

La **figure 0.8** ci-dessous illustre la configuration de la section 400 [10] :

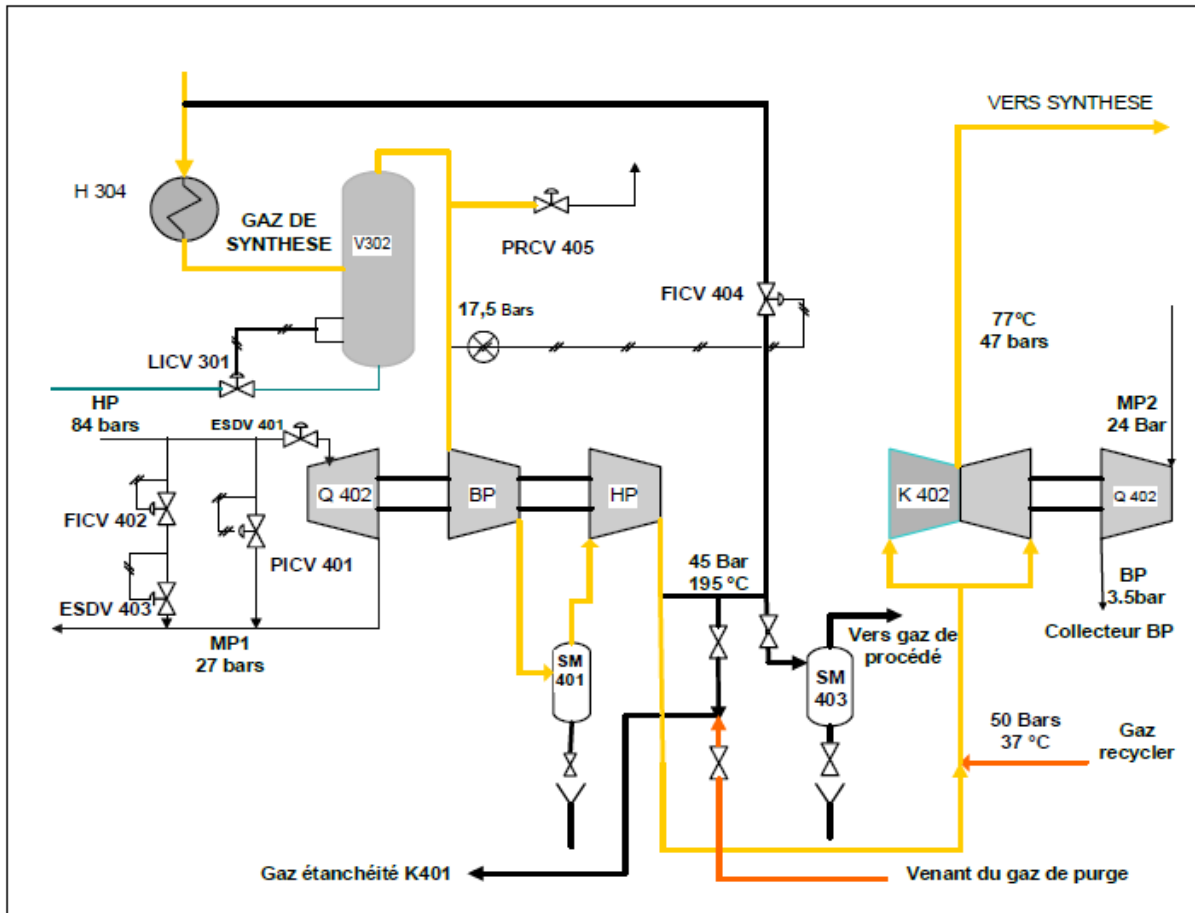


Figure I.8 : Configuration de la section 400.

I.6.5.5 Section 500 : Synthèse du méthanol brut

Comme indiqué à la **figure I.9**, Le gaz sortant du (K402) est préchauffé à 208 °C dans l'échangeur (H501), grâce au gaz chaud provenant du réacteur (V501), à une température de 270 °C. Ce dernier est ainsi refroidi à 140 °C. Le gaz de procédé parvient le réchauffeur (H503), atteignant une température de 245 °C [10].

Il entre alors dans le réacteur adiabatique (V501) à 53,7 bars, contenant quatre lits catalytiques à base d'oxyde de cuivre maintenus à 220 °C, où se déroulent les réactions de synthèse du méthanol (I.5) et (I.6). Environ 3 % du méthanol formé, encore à l'état gazeux, est envoyé vers le condenseur (H502) pour y être refroidi à 40 °C, ce qui permet sa liquéfaction.



Le mélange (gaz/méthanol brut) traverse le séparateur (V 502) où le gaz est isolé et sera ensuite recyclé pour être combiné au gaz de synthèse dans le compresseur de recirculation (K402) [5,7].

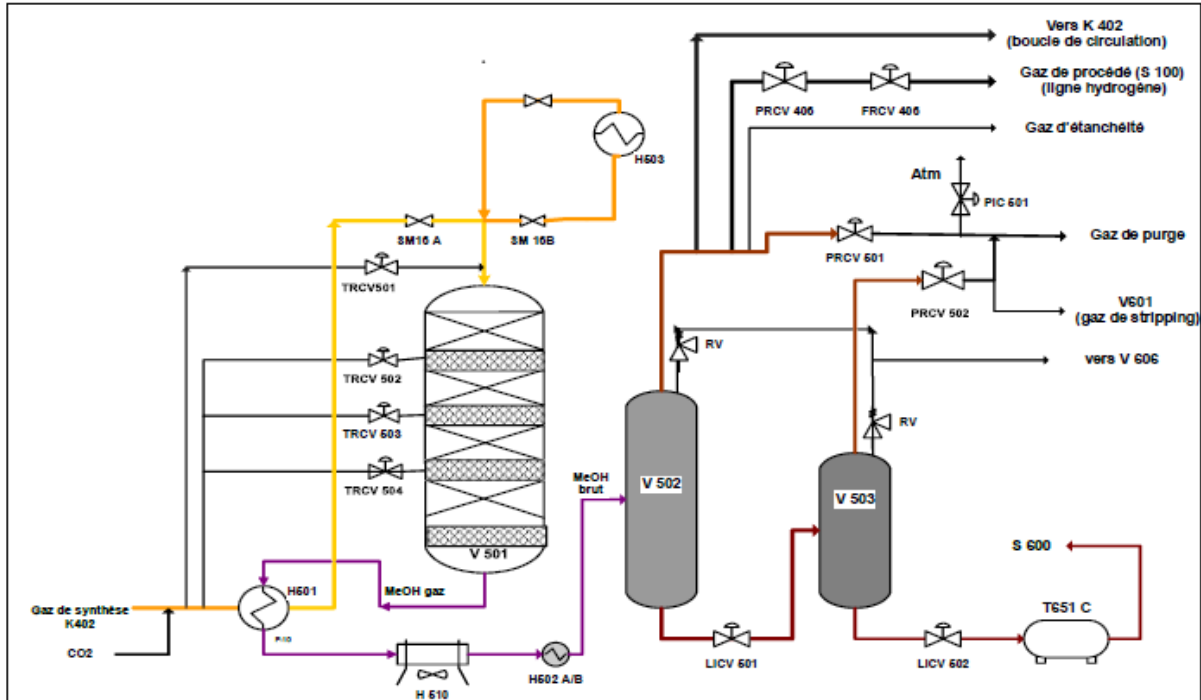


Figure I.9 : Plan de la section 500.

I.6.5.6 Section 600 : Distillation et séparation

La distillation est un procédé utilisé pour séparer les composants d'un mélange pouvant être vaporisé, en s'appuyant sur leurs différences de composition. Elle peut être réalisée en réduisant la pression tout en maintenant une température constante, ou plus couramment sous pression constante, avec une température croissante du bas vers le haut de la colonne.

Dans les industries pétrolière, chimique et pétrochimique, la majorité des colonnes de distillation fonctionnent en continu : elles reçoivent un flux d'alimentation constant en composition, température et débit, et produisent de manière stable un distillat en tête et un

résidu en pied, également constants en termes de flux, température et composition. Sur toute la hauteur de la colonne, seule la pression varie légèrement, en raison des pertes de charge à travers les plateaux de contact.

Dans le cadre de la fabrication du méthanol, deux colonnes de distillation sont utilisées : l'une pour l'élimination des produits légers et l'autre pour celle des produits lourds [5,7].

La **figure 0.10** suivante représente le schéma de la section 600 [10] :

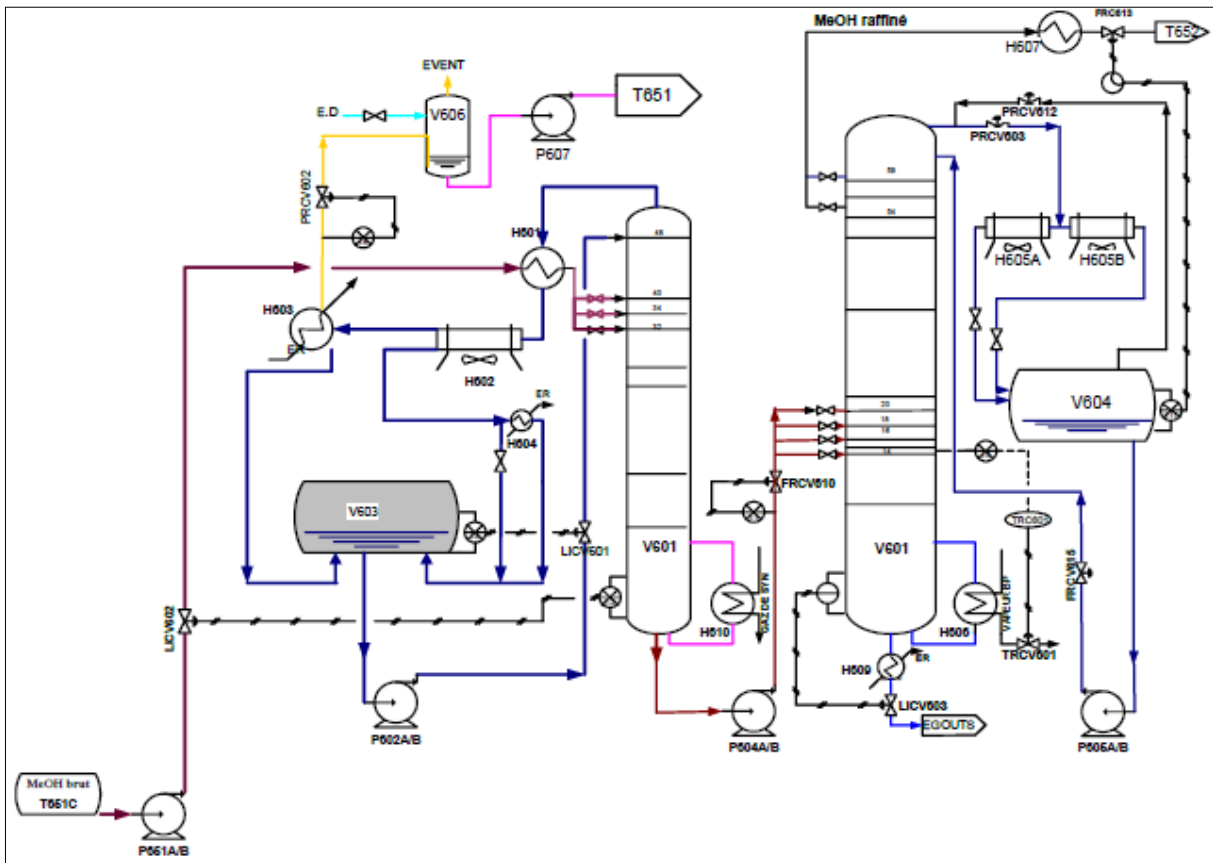


Figure I.10 : Schéma de la section 600.

I.6.5.7 Section 700 : Synthèse de vapeur

La conception de l'unité méthanol est telle qu'elle récupère principalement la chaleur résiduelle dans l'équipement de génération de vapeur.

Cette réalisation rend possible l'opération des machines cruciales via les turbines à vapeur, ce qui conduit nécessairement à une économie d'énergie électrique [5,7].

Il y a 3 niveaux de pression de vapeur dans l'unité :

- La vapeur HP 80 bars est produite dans le (F208).
- La vapeur MP 27 bar est fournie pour le four de reforming.
- La vapeur BP 3.5 bar est fournie pour les rebouilleurs de l'unité de distillation.

La **figure 0.11** ci-dessous décrit le schéma de la section 700 [10] :

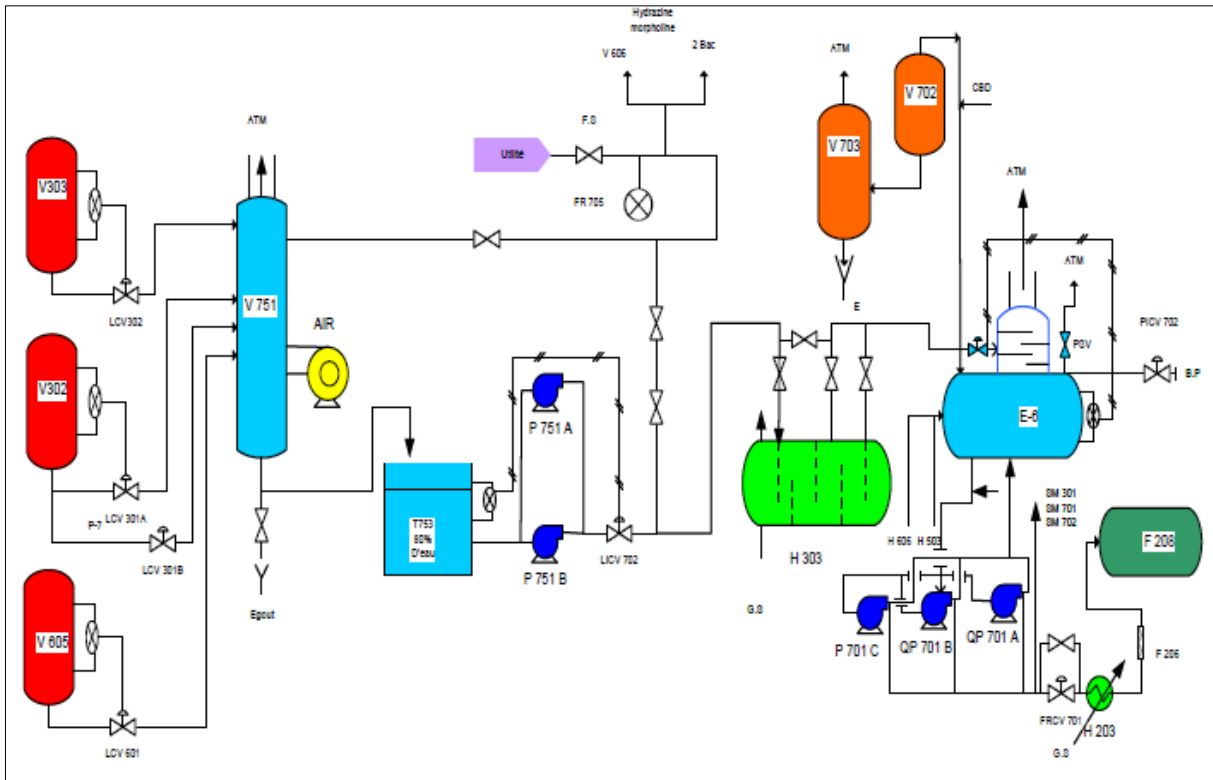


Figure I.11 : Schéma de la section 700.

I.6.6 Les utilités

Les utilités constituent une zone significative du complexe industriel. Elles garantissent la satisfaction de tous les besoins en services essentiels durant le démarrage et l'exploitation normale des installations de production de méthanol et de résines [11].

Cette zone fournit en permanence les éléments suivants :

- Air service.
- Air comprimé : utilisé pour les instruments de régulation.
- Azote pour inerte les installations.
- Électricité.
- Vapeur (MP- BP- HP).
- Gaz naturel.
- Eau déminéralisée.
- Tour de refroidissement.

I.6.7 Laboratoire d'analyse

Une entreprise industrielle est requise de garantir la qualité de ses produits. Le laboratoire de CP1/Z, à l'instar de tout autre complexe, est le reflet de l'efficacité [12].

I.6.7.1 Importance du laboratoire

Le laboratoire symbolise l'efficacité de tout complexe, étant le critère d'évaluation de la qualité des produits traités au cours du processus. Il supervise le fonctionnement des unités de traitement des matières premières et l'analyse des produits finaux destinés à la vente, que ce soit sur le marché national ou pour l'exportation [5,11].

I.6.7.2 Rôle essentiel du laboratoire

Le laboratoire occupe une place essentielle dans le domaine de la chimie et de la pétrochimie, facilitant la surveillance et l'évaluation constante de la qualité des produits finis [11].

I.6.7.3 Les sections composant du laboratoire

Le laboratoire du CP1/Z est partagé en deux sections.

Section contrôle :

- Analyse des Eaux.
- Analyse du Gaz de procédé.
- Analyse Résines.

- Analyse Méthanol.

Section des analyses chimiques :

- Préparation et standardisation de solution.
- Analyse de contrôle des unités résines (formaldéhyde, formuée, urée) [12].

I.6.7.4 Les différentes analyses réalisées

Il existe plusieurs [11,5] :

- Analyse des gaz.
- Analyse des eaux.
- Analyse du méthanol.

I.7 CONCLUSION

Pour faire court, ce chapitre a permis de présenter le complexe pétrochimique CPI/Z, son organisation ainsi que ses principales activités industrielles, en mettant l'accent sur l'unité de production du méthanol. Avec la description précise du procédé de fabrication du méthanol, les différentes étapes de la préparation du gaz naturel jusqu'à la purification finale, la diversité et la complexité des actions nécessaires sont démontrées. Cette compréhension globale du fonctionnement du complexe et du processus de synthèse constitue une base essentielle pour aborder, dans les chapitres suivants, les aspects liés à la distillation et à l'optimisation de la production de méthanol.

Chapitre

II

*Théorie de la distillation
fractionnée*

Chapitre II :

Théorie de la distillation fractionnée

II.1 INTRODUCTION

Les procédés de transformation industrielle nécessitent différentes techniques de séparation des mélanges de fluides à savoir la distillation ou rectification qui s'impose comme la méthode la plus répandue, utilisée dans environ 95 % des cas de séparation liquide. Elle permet d'obtenir des composants purs à partir de mélanges complexes. Ce procédé repose sur des échanges de matière et d'énergie entre deux phases circulant à contre-courant au sein d'une colonne de rectification. Bien que très efficace, la distillation présente certains inconvénients, notamment une forte consommation d'énergie et le risque de dégradation thermique des fractions traitées [13].

La technique de la distillation, dont le terme est issu du latin *destillare*, signifiant « couler goutte à goutte », trouve ses origines dès le premier siècle après J.-C. Aujourd'hui, elle a considérablement évolué et repose sur des fondements solides tels que la thermodynamique, l'équilibre vapeur-liquide, la conception des procédés ainsi que des équipements spécialisés comme les colonnes à plateaux ou les colonnes garnies. Il est désormais possible de concevoir, construire et exploiter en toute sécurité des colonnes de distillation atteignant jusqu'à 10 mètres de diamètre et 100 mètres de hauteur. Ces imposantes structures dominent souvent le paysage des sites industriels, notamment dans les raffineries de pétrole et les usines chimiques [14].

II.2 APERÇU GENERAL DE LA RECTIFICATION

II.2.1 La rectification

La rectification constitue une technique de séparation par distillation fractionnée reposant sur une succession d'échanges entre les phases liquide-vapeur réalisées au sein d'une

colonne équipée de plateaux ou de dispositifs de garnissage. Ces interactions permettent d'atteindre des équilibres thermodynamiques successifs tout au long du dispositif. Toutefois, les flux extraits en tête ou en pied de colonne ne sont généralement plus en équilibre avec les phases opposées présentes aux mêmes niveaux (Fonyo et Fabry, 1998).

Le procédé de rectification, qui constitue l'objet principal de notre étude, se caractérise par son efficacité plus importante et son intégration plus répandue dans les applications industrielles par rapport à la distillation simple. Il offre de nombreux avantages, notamment une conception simple avec un faible coût d'investissement, un niveau de risque réduit, une meilleure pureté des produits séparés et une plus grande flexibilité opérationnelle. Il présente également certains inconvénients, tels qu'un rendement énergétique faible, les composés sont stables thermiquement à leur température d'ébullition ainsi, il n'est pas idéale pour séparer les azéotropes ou pour isoler des composés à haut point d'ébullition présents en faibles concentrations dans de grands volumes de solvants comme l'eau [15].

II.2.2 Eléments favorisant le choix de la rectification

La distillation est basée sur différents éléments à savoir :

- Une La stabilité thermique des produits.
- Une volatilité relative supérieure à 1,2.
- Des débits allant de 100 à 200 kg/h ou encore plus.
- Des vitesses élevées de corrosion/des réactions secondaires non désirées/absence de conditions d'explosion [15].

II.2.3 Méthode de traitement

II.2.3.1 Distillation permanente

Dans les procédés industriels, notamment dans les domaines du pétrole, de la chimie et de la pétrochimie, les colonnes de distillation sont généralement exploitées en mode continu et en régime stationnaire. Cela signifie que les conditions de fonctionnement, composition, débit et température demeurent constantes dans le temps. Ces colonnes reçoivent un flux d'alimentation stable et produisent en permanence deux courants : un distillat en tête et un

résidu en bas de colonne, tous deux présentant des caractéristiques inchangées. Le fonctionnement stationnaire implique que cette stabilité est présente en tout point de la colonne. La seule variation notable est la différence de pression entre le haut et le bas de la colonne, due à des baisses de pression à travers les étages de contact.

Le mélange pénètre dans la colonne à un point déterminé. Le résidu en bas ressort, sous une composition similaire à la moins volatile des composantes. En haut, les vapeurs sont condensées : une partie du liquide est distillée, l'autre est refluée. Les distillats et les résidus sont extraits en continu, dans un état d'équilibre dynamique.

La colonne possède deux sections fonctionnelles : la section de concentration, en amont du point d'alimentation, permet d'enrichir les vapeurs en composants volatils, la section d'épuisement, en aval, permet une diminution de ces mêmes composants dans le liquide. Cette forme de distillation continue est idéale pour la séparation de mélanges complexes, où l'on cherche à extraire le produit le plus pur possible [16].

II.2.3.2 Distillation en discontinue

Les applications de la chimie fine impliquent la distillation discontinue, en particulier avec des volumes insuffisants pour assurer une installation en continu. Cette méthode est généralement réservée à des produits de haute valeur ajoutée et de volume annuel limité. Elle est aussi utilisée spécifiquement pour extraire des impuretés particulières d'un produit. Elle se distingue de la rectification continue par la variation des modes opératoires : teneurs, températures ou flux variant au cours du processus. Cette instabilité constitue un inconvénient majeur pour le contrôle automatique, rendant difficile la régulation du système.

Ce procédé, peu adapté aux grandes échelles en raison de sa faible capacité et de sa production intermittente, permet néanmoins de recueillir des données précieuses pour le contrôle qualité dans les installations en continu.

Sur le plan technique, le mode de rectification discontinue repose sur un bouilleur dans lequel est introduit le produit à distiller. Celui-ci est surmonté d'une colonne de rectification comprenant n étages théoriques. Le sommet de la colonne est équipé d'un système classique

de condensation, de reflux et de soutirage du distillat. Cette partie haute est structurellement identique à celle utilisée dans les colonnes fonctionnant en continu [16].

II.3 PRESENTATION DE LA COLONNE DE RECTIFICATION

Au sein d'une colonne de rectification, la mise en contact des deux phases liquide et vapeur permet d'opérer un échange entre les composants. Les plus volatils sont piégés dans la vapeur et s'enfuient par le haut alors que les composants les plus lourds, après avoir été repris sous forme liquide, sont extraits par le bas de la colonne. Cette répartition des constituants entre les deux phases crée un gradient de température qui résulte directement du gradient de concentration, s'étendant de la tête à la base de la colonne. L'échange mutuel de composants d'une phase à l'autre par diffusion conduit à un équilibre théorique.

Un système en équilibre similaire représente une étape théorique, définie par les relations entre les concentrations des composants dans chaque phase, témoignant ainsi de la sélectivité élémentaire de fractionnement [11].

II.4 DESCRIPTION TECHNIQUE D'UNE UNITE DE DISTILLATION FRACTIONNEE

Chaque colonne de rectification est généralement composée de trois zones principales comme le montre à la **figure II.1** :

- **Zone d'alimentation (zone de flash)** : Il s'agit de la zone dans laquelle 'en charge' le mélange à séparer est introduit dans la colonne, sous forme vapeur, liquide ou biphasique selon la température de la charge.
- **Zone de rectification** : La zone de rectification est placée au-dessus de la zone de flash. Elle a le rôle d'un condenseur pour condenser partiellement ou totalement la vapeur sortante de la tête de colonne. Une fraction du condensat est renvoyée dans la colonne comme reflux froid pour maintenir le profil de température et la composition des produits de tête, le restant est éliminé sous forme de distillat liquide.

- **Zone d'épuisement** : Située sous la zone de flash, la zone d'épuisement fait appel à un rebouilleur dans l'objectif de transmettre de la chaleur au liquide soutiré du dernier plateau afin d'extraire les composants légers qui ont été entraînés avec les composants lourds. Le fonctionnement de cette zone dépend de facteurs tels que la concentration initiale et finale, les pressions partielles, la surface de contact et l'écoulement. Le bon fonctionnement de la colonne pour obtenir un distillat et un résidu avec des compositions souhaitées dépend principalement de l'état de la charge et du lieu d'alimentation [5].

La distillation enchâssée permet, par la différence de volatilité, de température d'ébullition et de densité, de séparer un mélange compliqué en trois produits :

- Le Distillat, riche en composant volatils, est le produit sortant collecter en tête de colonne.
- Les Produits Intermédiaires, en sortie à différentes hauteurs dans la colonne, sont soutirés par les soutirages latéraux. Leur composition dépend de la position du soutirage en zone d'épuisement, de rectification ou d'expansion.
- Le Résidu sort en fond de colonne, contenant principalement les composants lourds, comme son nom l'indique.

Cette technique représente une approche efficace pour la séparation des composés tout en respectant leurs propriétés physiques [11].

Dans l'ensemble, chaque installation de distillation est constituée des équipements suivants :

- **La Colonne de Fractionnement (ou Colonne de Distillation)** : représente une tour cylindrique verticale pourvue, selon sa conception, d'une ou plusieurs sphères ou plateaux permettant la séparation par échange de matière et de chaleur des liquides et des vapeurs qui s'écoulent globalement en contre-courant.
- **Le Rebouilleur** : constitue un échangeur de chaleur chargé d'assurer le reflux de vapeur en provenance du fond de la colonne pour récupérer les constituants légers

(c'est finalement cet équipement qui permet de résoudre le problème dit de l'« équilibre dynamique »).

- **Le Condenseur** : est ici encore un échangeur de chaleur où la vapeur s'échappant en tête de colonne est refroidie puis condensée.
- **Ballon de Reflux** : Situé sous le condenseur, ce ballon accumule les produits de tête condensés et contient le liquide de reflux.
- **Appareillage Annexe** : Pour assurer une gestion économique et un bon fonctionnement, plusieurs éléments supplémentaires sont nécessaires :

Échangeurs Thermiques : Ils récupèrent la chaleur, par exemple, en préchauffant la charge d'alimentation avec le liquide chaud sortant du bas de la colonne.

Pompes : Elles assurent la circulation des liquides et compensent les pertes de charge.

Appareils de Mesure et de Régulation : Ces appareils permettent de suivre en temps réel les paramètres opératoires (température, pression) et facilitent l'intervention en cas d'incident [16].

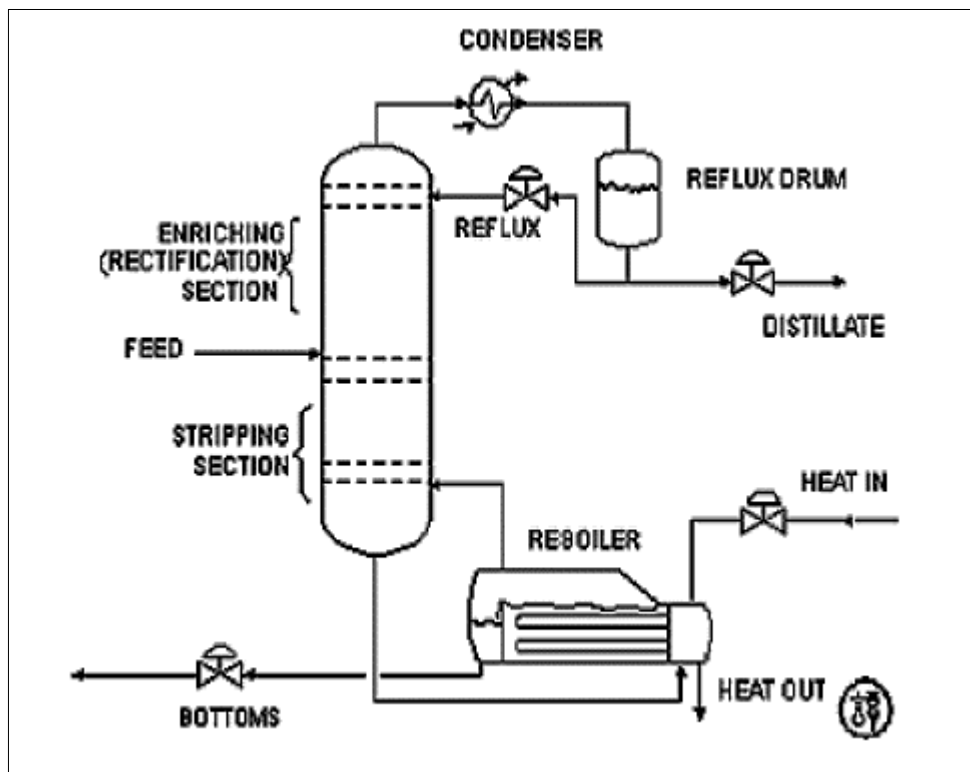


Figure II.1 : Illustration de la colonne de distillation.

II.5 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE COLONNE DE DISTILLATION

Un appareil de type colonne de distillation comprend un cylindre vertical (ou une chambre rectangulaire, non pas de volume cylindrique). La colonne comporte des plateaux ou du garnissage qui assurent un contact intime entre phases vapeur et liquide, et ce à chaque niveau de sorte que les échanges de matière et d'énergie se poursuivent jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. Alors qu'elle monte dans la colonne, la vapeur s'enrichit en composants volatils, en se déplaçant du bas vers le haut. Ainsi, le distillat D, riche en composants volatils, est récupéré dans la partie supérieure de la colonne, tandis que le résidu R, riche en composants moins volatils, est récupéré dans la partie inférieure de la colonne [11].

II.6 DIFFERENTES CLASSES DE COLONNES DE RECTIFICATION

II.6.1 Les colonnes à garnissages

Dans les colonnes garnies, le transfert de matière s'effectue principalement à la surface du film liquide, sans occlusion notable de bulles gazeuses. L'efficacité de ces colonnes dépend ainsi directement de la surface offerte par ce film. L'utilisation de garnissages permet un contact continu entre les phases liquide et vapeur sur toute la hauteur de la colonne. La performance de cette technologie repose sur une répartition optimale des flux pour maximiser la surface de contact interphasique, tout en évitant les courts-circuits qui réduiraient l'efficacité de la séparation [5].

Dans les colonnes garnies, le transfert de matière se réalise principalement à la surface du film liquide, sans formation notable de bulles gazeuses, ce qui rend l'efficacité de séparation directement liée à la surface de contact interphasique. L'utilisation de garnissages permet d'assurer un contact continu entre les phases liquide et vapeur sur toute la hauteur de la colonne [5].

Cette technologie présente plusieurs avantages à savoir : un coût d'investissement relativement faible, de faibles pertes de charge, ainsi qu'une rétention limitée de liquide, ce qui réduit les risques en cas de traitement de substances inflammables ou toxiques.

Toutefois, elle comporte également certains inconvénients tels que : la présence de particules solides dans le fluide pouvant entraîner le blocage du garnissage perturbant ainsi l'écoulement des phases, une baisse du débit de liquide entraînant la réduction de la surface effective de contact, diminuant ainsi les performances de séparation et enfin, dans le cas de colonnes de petit diamètre et de grande hauteur, il devient nécessaire d'installer des redistributeurs de liquide pour assurer une répartition homogène, ce qui complique la conception et l'exploitation de l'équipement [5].

II.6.2 Les colonnes à plateaux

Les colonnes à plateaux telles présenté à la **figure II.2**, sont utilisées pour établir un contact efficace entre les phases gazeuse et liquide, visant à les rapprocher de l'état d'équilibre. Les transferts de matière et de chaleur sont optimisés lorsque la surface de contact et la turbulence sont maximales. Ces colonnes sont particulièrement adaptées à la distillation, où la résistance au transfert de matière est plus élevée dans la phase vapeur. Les plateaux sont conçus pour disperser la vapeur dans le liquide, et elles sont utilisées avec succès aussi bien en distillation qu'en absorption [5].

Dans la plupart des cas, l'énergie de pression de la vapeur est utilisée pour disperser les phases, tandis que la gravité assure le mouvement descendant de la phase liquide [13].

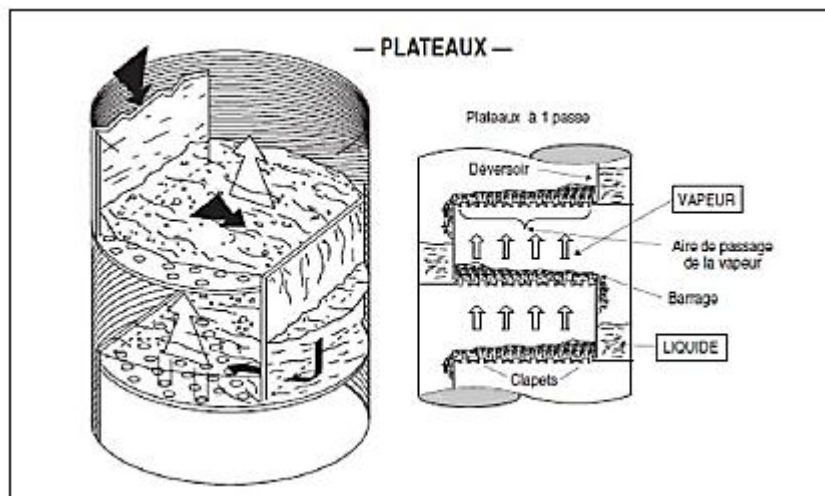


Figure II.2 : Colonne à plateaux.

II.6.2.1 Classification des plateaux d'une colonne

Il existe plusieurs types de plateaux dans l'industrie [5] :

- Plateau à calottes.
- Plateau perforé à déversoir.
- Plateau à clapets.
- Plateau sans déversoirs.
- Plateau à jet directionnel.

II.6.2.2 Fonctionnement général d'un plateau

Dans une colonne de distillation, les plateaux permettent d'augmenter le contact entre la phase liquide et la phase vapeur qui assurent l'équilibre thermodynamique. Les clapets sont fermés en l'absence de vapeur laissant circuler le liquide en temps normal. Ces plateaux favorisent les transferts de matière et de chaleur et peuvent être utilisés avec succès dans la distillation ou l'absorption.

Comme illustré dans la **figure II.3**, en passant de la descente à l'aire de travail, on peut ramener le niveau de M_0 à M . La distinction entre M_0 et M_1 correspond à la conversion de l'énergie potentielle du liquide. La quantité d'énergie requise pour le déplacement du liquide, ainsi que la perte de charge lors du passage dans l'espace de travail. Quand la surface du liquide croît jusqu'au niveau M_2 à proximité du déversoir, et que la « hauteur » ($M_1 - M_5$), ou dénivelé «entre» M_1 et M_5 , représente la perte de charge liée à la traversée du plateau, le liquide arrive alors au sommet du déversoir avec la marque de M_3 , supérieure à M_2 [11,5].

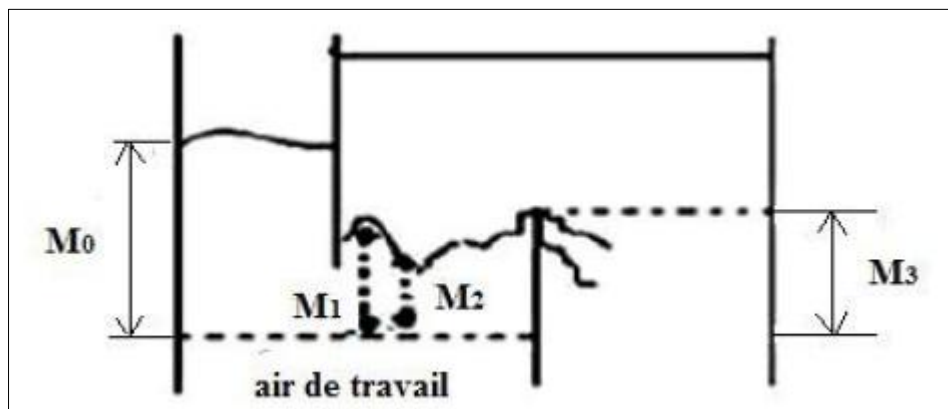


Figure II.3 : Fonctionnement d'un plateau.

La vapeur ne peut s'élever librement toute en-dessous du déversoir, elle y subit un ralentissement passager, avec une reconversion partielle de l'énergie cinétique, qui a pour effet de rehausser la où se trouve soit directement exploité, soit elle y subit aussi un ralentissement passager. Permettant de mieux abonder en énergétique au niveau du plateau, lorsque la vapeur est introduite pour deux raisons :

- **Mécaniques** : en effet, en diminuant sa densité dans le liquide, la vapeur en augmente son volume apparent, ce qui étant donné la pression favorise son rehaussement.
- **Hydromécaniques** : car le liquide absorbe une part de l'énergie cinétique de la vapeur, participe à son rehaussement au maximum dans le plateau supérieur, où le contact relativement intense avec le liquide permet une interdiffusion interphase efficace et ainsi d'équivaloir chaque plateau à un étage de séparation [17].

II.7 BILAN MATIERE DE LA COLONNE

Admettons les symboles suivants :

L, D, R : respectivement, le débit de la charge, du distillat et du résidu [kg/h].

X_L, Y_D, X_R : Concentrations molaires du constituant le plus volatil respectivement dans la charge, dans le distillat et dans le résidu.

Les bilans matières pour la colonne entière et pour le constituant "i" quelconque s'écrivent :

$$L=D+R \quad (\text{II.1})$$

$$LX'_{Li} = DY'_{Di} + RX'_{Ri} \quad (\text{II.2})$$

L'équation obtenue sert à calculer R et D, si la concentration du constituant « i » dans le distillat et dans le résidu est connue [5].

II.8 BILAN THERMIQUE DE LA COLONNE

Comme toute opération industrielle, la distillation a besoin d'une certaine quantité d'énergie que l'on peut calculer en établissant le bilan thermique représenté à la **figure II.4** [11].

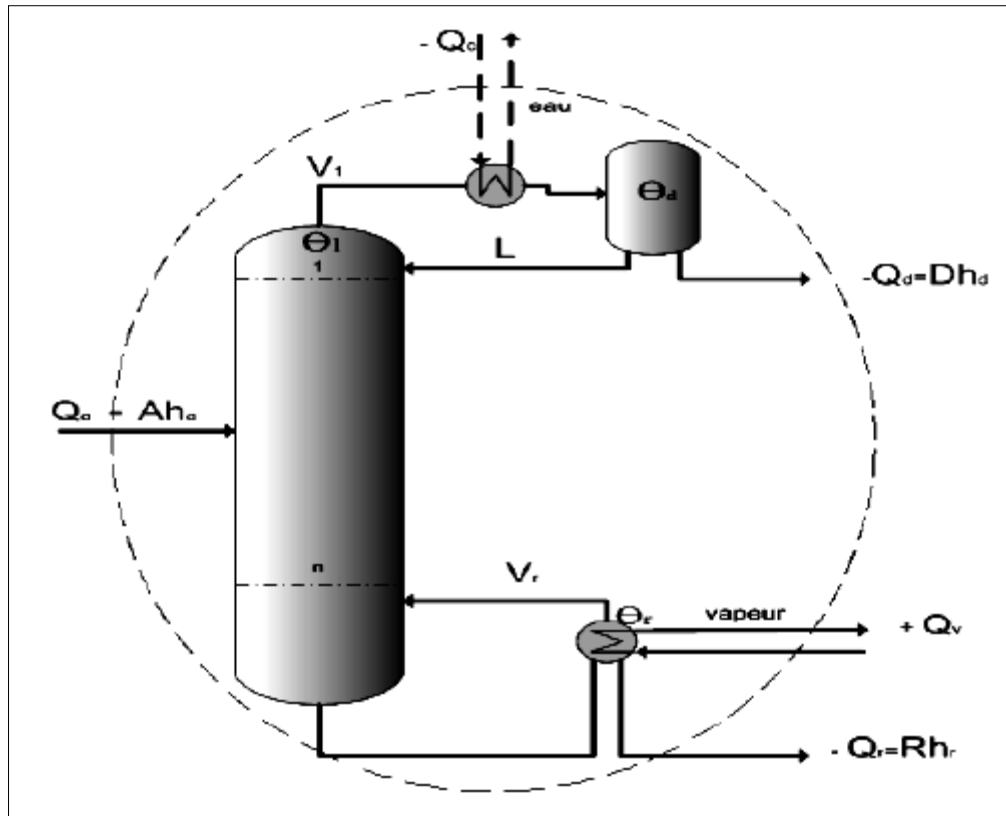


Figure II.4 : Schéma du bilan thermique de la colonne.

Les éléments du bilan thermique de la colonne :

ha: l'enthalpie ou quantité de chaleur contenue dans 1 molécule d'alimentation.

hd: l'enthalpie d'une molécule de distillat.

hr: l'enthalpie d'une molécule de résidu.

$Q_a = A.h_a$: l'enthalpie d'alimentation.

$Q_d = D.h_a$: l'enthalpie du distillat.

$Q_r = R.h_r$: l'enthalpie du résidu.

Q_c : est la quantité de chaleur emportée au condenseur par le fluide de réfrigération.

Q_v : est la quantité de chaleur acquise par la vapeur V_r dans le rebouilleur.

En négligeant les pertes thermiques, l'égalité des quantités de chaleurs qui entrent et qui sortent, l'équation du bilan thermique s'écrit: $Q_a + Q_v = Q_d + Q_r + Q_c$

Une relation directe est observée entre le débit thermique du condenseur (Q_c) et le débit thermique du rebouilleur (Q_v). Toute variation dans les conditions de fonctionnement du condenseur nécessite de modifier en même temps celles du rebouilleur. Par exemple, si

l'opérateur augmente le reflux Lo en tête, tout en conservant constante la température Ta , le débit du fluide réfrigérant augmente et donc Qc . Il convient alors d'augmenter le débit de vapeur dans le rebouilleur pour provoquer l'élévation de V et donc de Qv [17].

II.9 CONCEPTION DIMENSIONNELLE DE LA COLONNE

Le dimensionnement de chaque plateau dans une colonne de distillation vise à atteindre plusieurs objectifs clés :

- **Capacité** : Il est primordial, suivant la nature de la demande, d'avoir une grande capacité pour le liquide ou pour la vapeur, tandis qu'il est essentiel que des marges de flexibilité et d'adaptabilité aux fluctuations des charges liquides et vapeurs soient mises en œuvre.
- **Pertes de charge** : Le souhait d'avoir un minimum de perte de charge peut être émis afin de réduire le gradient de température entre sommet et fond de colonne, donc la quantité de chaleur nécessaire, en fond de colonne. Une perte de charge élevée est généralement associée à un dimensionnement non économique.
- **Efficacité** : Une efficacité élevée est l'objectif principal. Un meilleur contact entre les phases sur un large intervalle de capacité améliore l'efficacité globale du plateau. Les conditions de fonctionnement, telles que la pression, la température et le taux de reflux, sont ajustées en fonction du nombre d'étages pour optimiser la performance de la colonne [18].

Les conditions de marche d'une colonne sont : pression, température et taux de reflux en fonction du nombre d'étages. Les dimensions d'une colonne sont :

II.9.1 Hauteur de la colonne

Cette hauteur est conditionnée par le nombre de plateaux à installer ainsi que par l'espacement entre eux.

La hauteur totale de la colonne est calculée par la formule suivante :

$$H_T = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 \quad (\text{II.3})$$

H_1 : La distance entre le sommet et le premier plateau de la zone de rectification.

H_2 : La hauteur de la zone de rectification.

H_3 : La hauteur de la zone d'alimentation.

H_4 : La hauteur de la zone d'épuisement.

H_5 : La hauteur de l'espace libre au-dessous du plateau inférieur.

La hauteur totale de la colonne est corrélée à l'espacement entre les plateaux, qui est fonction du diamètre de la colonne, généralement compris entre 1 et 1,5 mètre [5].

II.9.2 Nombre de plateaux

Le nombre d'étages dépend du taux de reflux et ces étages sont également appelés « plateaux théoriques ». En effet, un plateau représente idéalement un équilibre parfait entre les phases liquide et vapeur. Toutefois, en pratique, cet équilibre n'est jamais totalement atteint, ce qui conduit à introduire la notion d'efficacité, qui est rarement de 100 %. Ainsi, l'efficacité moyenne d'une colonne s'exprime par le rapport entre le nombre de plateaux théoriques et le nombre de plateaux réels [5].

$$E : \text{efficacité moyenne (\%)} = \frac{\text{Nbr de plateaux théoriques}}{\text{Nbr de plateaux réel}} \quad (\text{II.4})$$

Le nombre de plateaux est directement fonction du nombre d'étages dans une colonne. Il est donc nécessaire de choisir un reflux permettant de limiter le nombre de colonnes afin de parvenir à un équilibre économique. D'une part les plateaux nécessitent un investissement en capital et d'autres parts, le reflux impacte les coûts d'exploitation. Il est donc nécessaire de trouver un juste compromis entre ces deux voies pour retrouver la rentabilité du procédé [5].

II.9.3 Espacement entre les plateaux

Les critères à respecter sont simples : la construction de la colonne doit être réalisable et permettre un accès suffisant entre les plateaux pour assurer les opérations de maintenance. La hauteur totale de la colonne correspond alors au produit du nombre de plateaux par

l'espacement entre eux, auquel s'ajoutent les espaces libres prévus en tête et en pied de colonne [5].

II.9.4 Diamètre de la colonne

Si la vitesse des vapeurs dans la colonne est excessive (diamètre insuffisant), des gouttelettes de liquide peuvent être entraînées d'un plateau à l'autre, créant un court-circuitage partiel. Cet effet perturbe l'équilibre entre les phases et réduit l'efficacité des plateaux. Le calcul de la vitesse maximale admissible se base sur le débit de vapeur en tête de colonne (distillat + reflux interne), car c'est la zone où ce débit est le plus élevé [5].

Le diamètre de la colonne est déterminé à partir de l'équation suivante:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot w}} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

- Q : débit des vapeurs qui quittent le sommet de la colonne en m³/s.
- W : la vitesse des vapeurs en m/s.

II.10 CONCLUSION

Le processus de dimensionnement d'une colonne de distillation est complexe, intégrant à la fois la détermination d'un nombre de plateaux théoriques, fonction de la difficulté de séparation et de l'efficacité de la colonne et un nombre de plateaux réels, contraint par des considérations mécaniques et de conditions de marche. Mais tout d'abord, avant d'envisager le dimensionnement même de la colonne de distillation, une étude théorique est présente dans toute documentation technique pour vérifier la faisabilité technique et économique du dispositif de mise en œuvre. La distillation, méthode de séparation état, est largement utilisée dans presque toutes les industries, et repose sur le principe des échanges de matière et d'énergie entre phases liquide et vapeur, qui sont en équilibres, le dimensionnement par le même chemin que l'optimisation des conditions de marche permettant d'en assurer l'efficacité.

Chapitre

III

*Mise en place d'une troisième
colonne de distillation visant une
meilleure pureté du méthanol*

Chapitre III :

Mise en place d'une troisième colonne de distillation visant une meilleure pureté du méthanol

III.1 INTRODUCTION

L'étude du procédé de purification du méthanol au complexe CP1/Z a mis en évidence l'incapacité de la colonne V-602 à respecter les normes de pureté IMPCA, particulièrement en ce qui concerne la teneur en éthanol.

Pour résoudre ce problème, le logiciel Aspen HYSYS a été utilisé afin de modéliser le système et d'identifier les solutions d'optimisation. L'option retenue est l'ajout d'une troisième colonne de distillation, spécifiquement dimensionnée et intégrée au procédé. Cette nouvelle colonne vise à réduire la teneur en éthanol, permettant ainsi d'obtenir un méthanol conforme aux standards internationaux.

L'utilisation d'outils de simulation comme HYSYS est cruciale pour valider les choix techniques avant leur mise en œuvre industrielle, garantissant la compétitivité du complexe sur le marché.

III.2 PROBLEMATIQUE

Le méthanol occupe une place centrale dans de nombreux secteurs industriels, aussi bien à l'échelle mondiale que locale, en raison de son importance stratégique et de son large éventail d'applications. Face à l'augmentation continue de la demande pour le méthanol et ses dérivés, ainsi qu'à la nécessité de valorisation des ressources en gaz naturel de l'Algérie, le complexe pétrochimique CP1/Z d'Arzew a été mis en service à la fin des années 1960 afin de répondre aux besoins du marché national et de diversifier les exportations [5].

Les analyses chromatographiques conduites au laboratoire (voir tableau **III.1**) ont montré que le méthanol généré par le complexe CP1/Z est de qualité A. Néanmoins, il ne répond pas encore aux exigences strictes des normes internationales de l'IMPCA, pour lesquelles ce produit doit être d'une très grande pureté (voir chapitre I) [19].

Dans cette perspective, le présent travail est consacré à la conception et à l'installation d'une nouvelle colonne de distillation dans l'usine 600 de manière à obtenir du méthanol purifié avec un maximum de 50 ppm d'éthanol, conformément aux normes de l'IMPCA. Pour ce faire, une simulation et une optimisation de l'ensemble du procédé seront déterminées à l'aide du logiciel Aspen HYSYS V11.

Tableau III.1 : Propriétés du méthanol au niveau du complexe CP1Z.

Caractéristiques	Cas design	Cas actuel	Grade A	Grade AA	IMPCA 2021
Méthanol (% mass)	99.77%	99.53%	99.85% min	99.85% min	99.85% min
Ethanol (ppm)	200	273	/	10 max	50 max
Acétone (ppm)				20 max	30 max
Acétone et aldéhydes (ppm)	/	/	30 max	30 max	30 max
Acide acétique (ppm)	30	0	30 max	30 max	30 max
Eau (% en volume)	0.18	0.43	0.15 max	0.1 max	0.1 max
Résidu non volatil (mg/l)	10	10	10 max	10 max	8 max
Densité	0.7920- 0.7930	0.7924	0.7920- 0.7930	0.7928 max	0.7910- 0.7930
Intervalle de distillation (1 atm)	1C° autour de 64.6 C°	1C° autour de 64.6 C°	1C° autour de 64.6 C°	1C° autour de 64.6 C°	1C° autour de 64.6 C°
Couleur (échelle Pt- Co)	5	5	5 max	5 max	5 max
Test au permanganate à 17- 18 C° (min)	30	30	30 min	30 in	60 in

III.3 SIMULATION D'UNE COLONNE DE DISTILLATION DU METHANOL

La modélisation numérique s'impose comme un outil essentiel de l'ingénierie moderne. Elle permet de prévoir le comportement d'un système avant sa réalisation physique, en explorant différents scénarios d'exploitation. Ce processus repose sur des modèles mathématiques simplifiés qui décrivent les phénomènes physiques, notamment les transferts de matière et de chaleur, en s'appuyant sur des principes thermodynamiques et des équations spécifiques. Ces modèles facilitent l'optimisation des performances, la comparaison d'alternatives et la prise de décisions techniques tout au long du cycle de développement.

Dans l'industrie, les simulateurs de procédés reposent principalement sur des modèles de connaissance fondés sur les bilans de masse, d'énergie et les équilibres thermodynamiques. Ils sont utilisés à la fois pour concevoir de nouveaux procédés (dimensionnement, analyse, optimisation) et pour améliorer les installations existantes. Avant de simuler les opérations unitaires, il est nécessaire de prédire les propriétés physiques des substances en jeu, ce qui nécessite l'intégration de bases de données thermodynamiques complètes et de modèles pour estimer les propriétés des mélanges.

Un simulateur industriel de procédés chimiques s'articule généralement autour de quatre modules clés :

1. Une base de données de corps purs et de modèles thermodynamiques pour les mélanges.
2. Un schéma de procédé (PFD) représentant les connexions entre opérations unitaires.
3. Des modules de calcul pour chaque opération (réacteurs, colonnes, échangeurs, etc.).
4. Des méthodes numériques pour résoudre les équations associées.

Ces outils permettent aux ingénieurs de construire un modèle global du procédé, en intégrant les propriétés des substances, les équations de fonctionnement et les réactions chimiques. Ils offrent également des interfaces avec d'autres logiciels (Excel, Matlab, Visual Basic), favorisant l'analyse, l'optimisation et l'échange de données [20,5].

III.4 APPORT DU SYSTEME DE SIMULATION HYSYS

Aspen HYSYS™ est un logiciel de simulation de procédés chimiques de référence, développé par Hyprotech, filiale du groupe AspenTech. Conçu initialement pour les secteurs du pétrole, du gaz naturel et du raffinage, il s'est imposé comme un outil puissant et polyvalent dans l'ingénierie des procédés. Ce simulateur se distingue par sa double capacité de modélisation statique et dynamique à partir d'un modèle unique, permettant une transition fluide entre les deux régimes sans perte de données.

Grâce à son interface intuitive, sa structure modulaire et sa base thermodynamique robuste, HYSYS permet de simuler avec précision une large gamme de procédés industriels : traitement du gaz, procédés cryogéniques, raffinage, production chimique, etc. Sa flexibilité, la fiabilité de ses calculs, ainsi que ses fonctionnalités avancées (dimensionnement, analyse, optimisation, planification) en font un outil incontournable tant dans l'industrie que dans le milieu académique.

Il est notamment utilisé dans les universités et écoles d'ingénieurs pour l'enseignement et la recherche, où il est souvent le premier simulateur introduit aux étudiants.

Bien que les ressources pédagogiques restent parfois limitées, HYSYS est aujourd'hui reconnu comme un standard de la simulation des procédés, facilitant le travail des ingénieurs et améliorant la productivité grâce à une meilleure compréhension des systèmes et à une intégration efficace des données tout au long du cycle de développement [21, 22].

III.5 DIVERS MODALITES DE FONCTIONNEMENT DU SIMULATEUR HYSYS

HYSYS s'avère être un outil puissant pour simuler une nouvelle colonne de distillation de méthanol, permettant aux ingénieurs de concevoir et d'optimiser son fonctionnement avant sa mise en œuvre physique. Pour se faire, il est nécessaire en premier lieu de sélectionner le modèle thermodynamique (fluid package) approprié pour le système méthanol-eau et toute autre impureté pertinente. En effet, la distillation du méthanol requiert un modèle capable de gérer la non-idéalité

des mélanges alcool-eau. Pour cette application, les modèles basés sur les coefficients d'activité tels que NRTL (Non-Random Two-Liquid) ou UNIQUAC (Universal Quasi-Chemical) sont fortement recommandés, car ils sont spécifiquement conçus pour modéliser l'équilibre vapeur-liquide de ces systèmes non idéaux. Ensuite, définir les composants impliqués, principalement le méthanol et toute autre impureté ou co-produit pertinent, au sein de l'environnement de simulation HYSYS.

Une fois le modèle thermodynamique défini, la section de distillation est configurée dans HYSYS en fonction des paramètres de conception initiaux. Cela inclut la spécification des composants du flux d'alimentation (débit, température, pression, composition), le nombre d'étages théoriques de la colonne, l'emplacement de l'étage d'alimentation, et les types de condenseur et de rebouilleur. Des objectifs clairs de pureté pour le distillat (méthanol) et les fonds sont également établis. La validation du modèle thermodynamique et du diagramme de processus est ensuite primordiale. Cela se fait en confrontant les résultats calculés par HYSYS (tels que les profils de température et de composition, les débits et les compositions des produits) avec des données de référence. Idéalement, ces données proviennent de l'exploitation réelle d'unités de distillation de méthanol existantes ou d'études de cas avérées, permettant ainsi de confirmer la fiabilité du modèle avant d'optimiser le procédé pour atteindre les spécifications de produit et l'efficacité énergétique souhaitées [20].

III.6 UTILISATION DE HYSYS

La modélisation d'une nouvelle colonne de distillation de méthanol avec HYSYS est un processus de conception et d'optimisation qui repose sur la comparaison des résultats de simulation avec les conditions opératoires réelles. Cette démarche, telle illustrée dans l'organigramme de la **figure III.1**, commence par la mise en place d'une base de données thermodynamique et la fourniture de spécifications clés à HYSYS :

- Définition des constituants du mélange.
- Sélection d'un modèle thermodynamique approprié (comme NRTL ou UNIQUAC pour les mélanges méthanol-eau non idéaux).
- Construction du schéma de procédé.

Chapitre III : Mise en place d'une troisième colonne de distillation visant une meilleure pureté du méthanol

- Saisie des paramètres nécessaires pour chaque opération unitaire (débits, températures, pressions, nombre d'étages, etc.).

Une fois ces données intégrées, HYSYS résout le schéma du procédé, fournissant des résultats détaillés incluant les profils de la colonne et le dimensionnement préliminaire des équipements. La validation de ces résultats par rapport aux données d'exploitation réelles est cruciale pour garantir la fiabilité de la conception de la nouvelle colonne [5]:

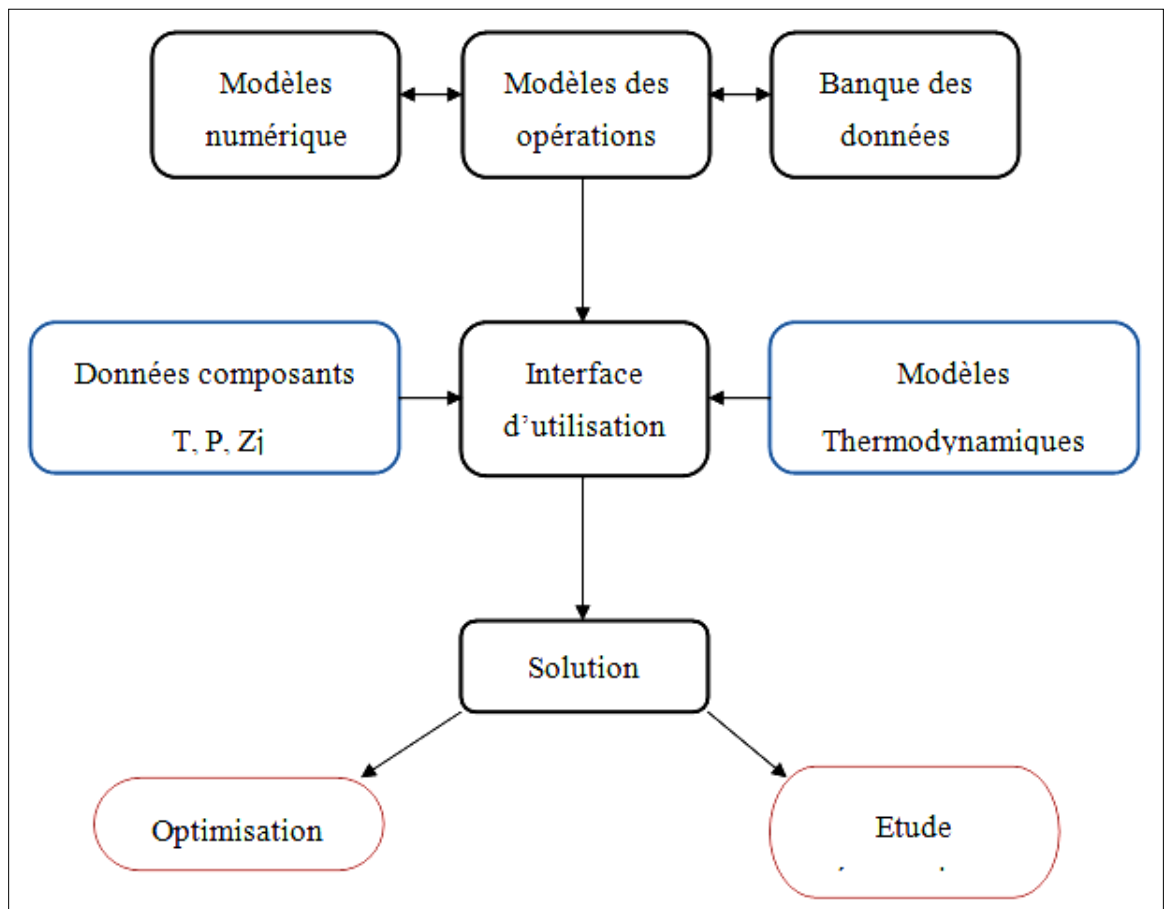


Figure III.1 : Organigramme générale d'Aspen HYSYS.

III.7 MODELES THERMODYNAMIQUE APPLIQUES POUR LA SIMULATION

La modélisation d'un système physique repose fondamentalement sur une connaissance approfondie des propriétés des corps purs et des mélanges binaires. Ces caractéristiques sont essentielles pour évaluer avec les propriétés thermodynamiques, les propriétés de transfert et les équilibres entre phases. La qualité et la fiabilité des résultats de la simulation dépendent directement des données utilisées et, surtout, des modèles thermodynamiques mobilisés pour décrire le comportement du système.

Le choix d'un modèle thermodynamique est donc une étape critique. Il doit impérativement satisfaire à des exigences de rigueur, de fiabilité et de validité pour le domaine opératoire spécifique étudié. Parmi les différents modèles disponibles, on peut généralement distinguer : les modèles d'état, les modèles d'activité et les modèles hétérogènes [5].

III.7.1 Modèles d'équations d'état

Les équations d'état de Redlich-Kwong-Soave (SRK) et Peng Robinson (PR) sont communément utilisées. Elles découlent de l'équation de Vander Waals pour les hydrocarbures légers non-polaire, et améliorent l'équation d'état de Redlich-Kwong (RK).

Les modèles SRK et PR présente mieux les équilibres liquide- vapeur VLE, et sont utilisées pour :

- Les hydrocarbures non polaires légers C1-C4.
- Les hydrocarbures lourds C5+.
- CO, CO2 et H2S (jusqu'à 25 % en mole) pour les hydrocarbures légers.
- N2 et H2 dans les hydrocarbures légers.

Les équations d'état de SRK et PR sont valides dans les conditions suivantes : Température de point critique jusqu'aux températures cryogéniques. PR est meilleur dans la région critique.

$$\text{PR : } T \geq - 456 \text{ }^\circ\text{F et } P \leq 15 \text{ 000 psia et SRK : } T \geq - 225 \text{ }^\circ\text{F et } P \leq 5000 \text{ psia.}$$

Il existe une multitude d'équations d'état résumées dans le tableau **III.2** suivant [5] :

Tableau III.2 : Équations d'état.

EOS	Description
Kabadi Danner	Ce code SRK modifié améliore la précision du calcul d'équilibre vapeur-liquide-liquide pour les mélanges hydrocarbures-eau dilués.
Lee Kesler Plocker	Ce modèle est une méthode générale pour les substances non polaires.
MBWR	Cette version modifiée de l'équation de Benedict-Webb-Rubin modélise précisément le comportement thermodynamique des gaz et hydrocarbures légers.
PR	L'équation optimisée d'Hyprotech calcule efficacement et précisément le rapport liquide-vapeur dans les systèmes d'hydrocarbures (monophasés, biphasés ou triphasés) sur une large gamme de conditions.
SRK	Ce modèle peut donner des résultats très proches à ceux fournis par PR, mais son intervalle d'application est très limité.
PRSV (Peng Robinson Stryjet vera)	C'est une modification de PR. Elle permet de faire le calcul d'équilibre pour les systèmes modérément non idéaux.
Sour PR (Sour SRK)	L'option Sour combine l'équation d'état PR et le modèle API-Sour de Wilson pour modéliser l'ionisation de H_2S , CO_2 et NH_3 dans l'eau. Sans phase aqueuse, les résultats sont identiques à ceux de l'équation d'état (EOS) seule.
Zudkevitch Joffe	Zudkevitch Joffe est une modification du RK. Ce modèle a été amélioré pour une meilleure prédiction d'équilibre liquide vapeur des systèmes contenant H_2 .

III.7.2 Modèles d'activités

Les mélanges non idéaux posent un défi majeur en modélisation thermodynamique en raison de leurs comportements imprévisibles et variés. Pour prédire les coefficients d'activité et les autres propriétés thermodynamiques de ces mélanges, des modèles plus élaborés que ceux utilisés pour les systèmes idéaux sont indispensables. Notamment, des modèles tels que NRTL, UNIQUAC et UNIFAC sont couramment employés pour surmonter ces problèmes. Dans le logiciel HYSYS, les coefficients binaires proviennent souvent de la collection DECHEMA, ou sont estimés avec la méthode UNIFAC si des données spécifiques sont manquantes. Ces approches permettent de mieux comprendre et simuler les mélanges non idéaux, essentiel pour des applications industrielles telles que la distillation et l'optimisation des procédés (Voir Tableau **III.3**) [5].

Tableau III.3 : Modèles d'activités.

Modèles d'activité	Description
Margules	La première équation utilisant l'excès d'énergie libre de Gibbs. Pas de fondement théorique au modèle.
Van Laar	Cette équation théorique calcule rapidement l'équilibre, mais peut mal prédire les phases liquides, surtout pour les hydrocarbures halogénés, les alcools et les systèmes multicomposants.
Wilson	Proposé par Grant M. Wilson en 1964, ce modèle thermodynamiquement cohérent utilise la composition locale pour prédire les mélanges multicomposants non idéaux, sauf les électrolytes.
NRTL (Non random two liquid)	Proposé par Renon et Prausnitz en 1968, ce modèle étend Wilson en intégrant la mécanique statistique pour prédire efficacement les équilibres VLE, LLE et VLLE, notamment dans les systèmes dilués et alcool-hydrocarbure.
UNIQUAC (Universal Quasi Chemical)	Soutenu par Abrams et Prausnitz, dès 1975, le modèle repose sur la mécanique statique du modèle afin de prévoir correctement l'équilibre de phases des mélanges non idéaux, notamment ceux qui contiennent amines, esters, cétones, aldéhydes, hydrocarbures...
Henry	Basé sur la loi d'Henry. Utilisé lorsque modèle d'activité et non applicable. CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ (éthylène), C ₂ H ₂ (acétylène), H ₂ , He, Ar, N ₂ , O ₂ , NO, H ₂ S, CO ₂ , CO.

III.8 PROCESSUS METHODOLOGIQUE ET PROTOCOLE

Les compositions de l'alimentation de la nouvelle colonne sont sélectionnées. L'opération subséquente est basée sur la méthode de la "shortcut column" pour la distillation, et la méthodologie est comme indiqué sur la **figure III.2** :

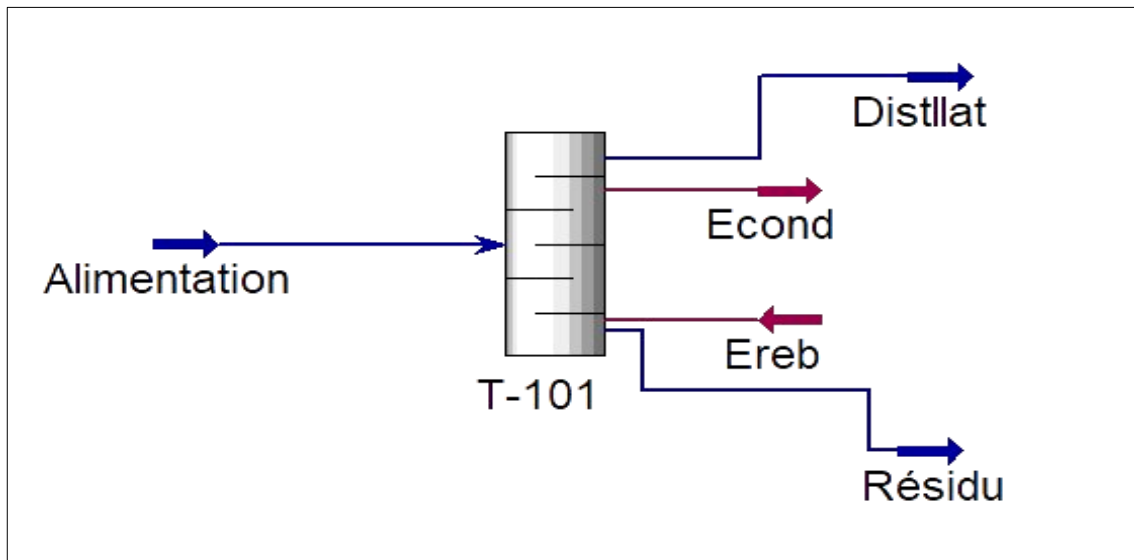


Figure III.2 : Représentation schématique de la colonne shortcut.

La palette des modèles de colonnes de distillation d'Aspen HYSYS offre des options variées pour la simulation. Parmi celles-ci, le modèle "Shortcut Column" (colonne raccourcie) est particulièrement utile pour une simulation rapide et simplifiée, comme le montre la **figure III.3**. Ce modèle se base sur des approches analytiques pour estimer les performances de la colonne sans nécessiter de calculs détaillés. C'est un excellent compromis entre précision et temps de calcul, idéal pour les phases amont de conception ou les études de sensibilité.

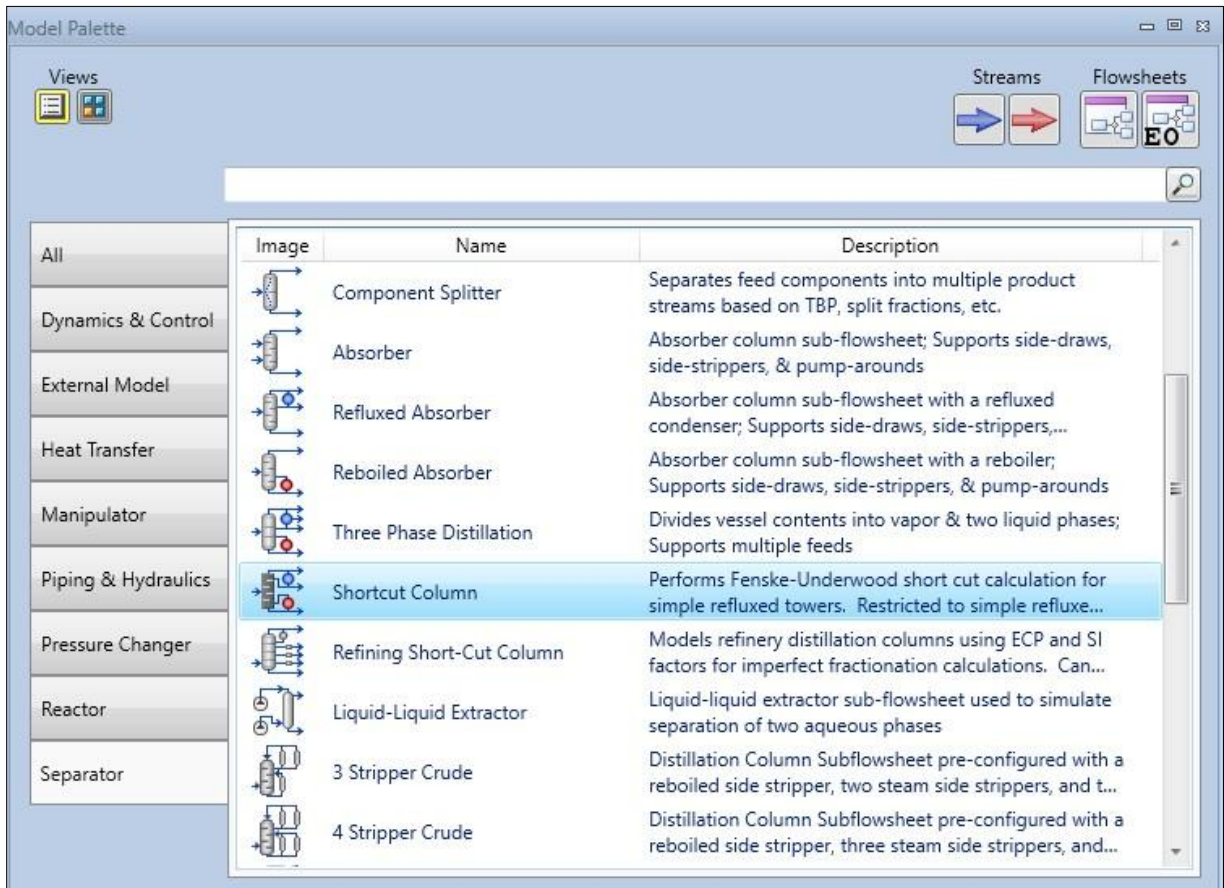


Figure III.3 : Sélection du modèle Shortcut Column dans Aspen HYSYS.

Pour la conception d'une colonne de distillation, les compositions des deux clés lourde et légère sont sélectionnées, en étant des liquides saturés. Dans ce cas précis, le méthanol est considéré comme la clé légère en bas de colonne, tandis que l'éthanol est la clé lourde dans la phase distillat. Afin de réduire la complexité des calculs initiaux, il est supposé que la fraction d'eau est non-influente.

Les différentes étapes de la conception sont :

- Choix des pressions : il s'agit d'une pression du condenseur et une pression du réchauffeur
- Estimation du reflux : Suite à la prise en compte de toutes les spécifications, le taux minimum de reflux est fourni par le logiciel de simulation. Ce taux servira ensuite à l'intégration du reflux externe.

Après ces étapes, la vérification des paramètres est effectuée. Le nombre d'étages, l'étage d'alimentation, ainsi que les températures en tête et en fond de colonne sont vérifiés avant de passer à l'étape de dimensionnement.

Le montage d'une colonne de distillation intégrant un condenseur et un rebouilleur, comme indiqué à la **figure III.4**, doit respecter les exigences de la méthode "shortcut column". Cette approche permet d'obtenir les valeurs correctes pour les besoins énergétiques et pour les fractions d'éthanol souhaitées, ce qui constitue l'objectif principal de cette étude.

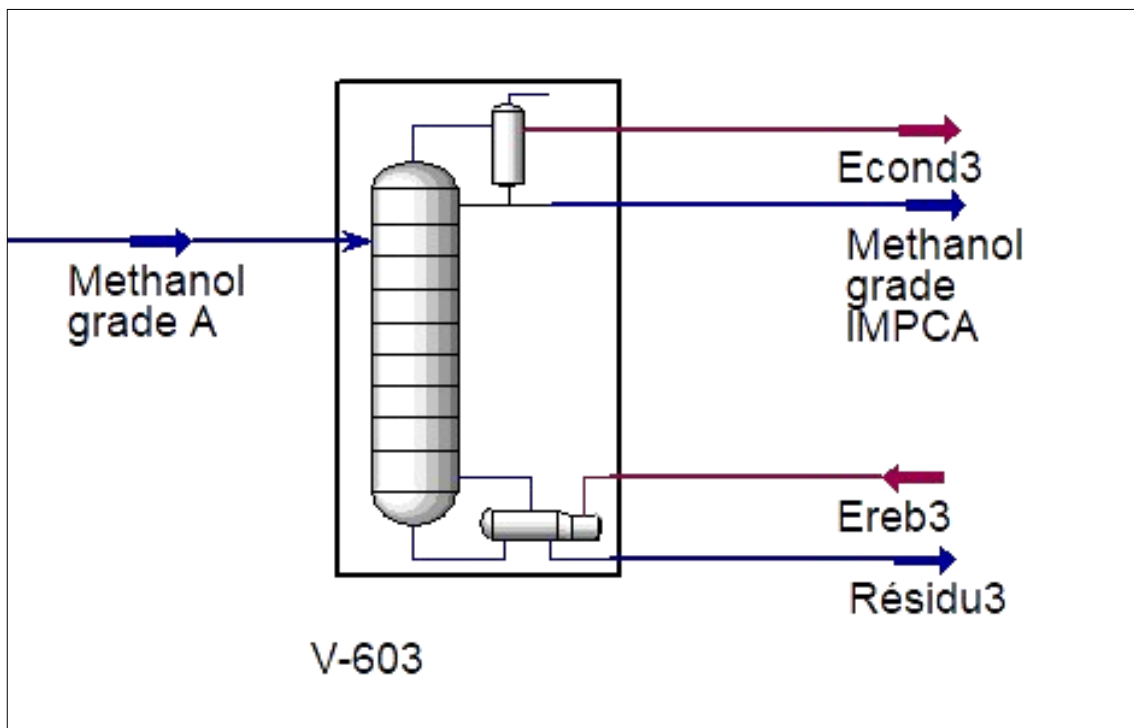


Figure III.4 : Schéma représentatif de la troisième colonne V-603.

III.9 PARAMETRES DE LA DUXIEME COLONNE

III.9.1 Caractéristiques techniques de la colonne V-602

Les caractéristiques techniques de la colonne sont regroupées dans le tableau **III.4** suivant :

Tableau III.4 : Caractéristiques techniques de la colonne V-602.

Caractéristiques	V-602
Diamètre colonne (mm)	2515
Espacement entre plateaux (mm)	460
Nombre de passe	1
Type de déversoir	Droit
Hauteur déversoir (mm)	468
Largeur déversoir	425
Hauteur de barrage de sortie (mm)	25
Nombre d'étage d'alimentation	4
Etage d'alimentation	14, 16, 18, 20
Nombre des soutirages latéraux	2
Nombre de plateaux	63
Diamètre du plateau (mm)	2500
Hauteur totale de la colonne (mm)	32420
Type de plateau	Clapet

III.9.2 Paramètres de l'alimentation à l'entrée de la colonne V-602 :

Le tableau **III.5** présente les paramètres de l'alimentation à l'entrée de la colonne V-602 :

Tableau III.5 : Paramètres de l'alimentation à l'entrée de la colonne V-602.

Colonne V-602	Cas actuel
Débit d'alimentation	18 400 kg/h
Température du mélange à l'alimentation	92 °C
Pression de top	1.53bars
Pression de fond	1.95bars
Nature de fluide	Méthanol+eau+éthanol+2propanol + 2-butanol+Acide acétique
Plateau d'alimentation	16
Pression d'alimentation	4bars
Le reflux	Total

Ces paramètres sont pris au point d'entrée de la colonne V-602 (cas actuel).

III.9.3 Composition massique de la charge de V-602

Les compositions massiques de l'alimentation de V-602 des différents composants sont détaillées dans le tableau **III.6** ci-dessous :

Tableau III.6 : Composition massique de la charge de V-602.

Composé	Cas actuel
Méthanol	0.788639
Eau	0.209720
Ethanol	0.000400
2-propanol	0.000161
2-butanol	0.000080
Acide acétique	0.001000

III.9.4 Qualité du méthanol raffiné par la colonne V-602

Les tableaux **III.7** et **III.8** présentent les compositions massiques du distillat et du résidu de la colonne V-602, illustrant la qualité du fluide raffiné.

Tableau III.7 : Composition massique du distillat.

Composé	Cas actuel
Méthanol	0,993899
Eau	0,005293
Ethanol	0.000504
2-propanol	0.000203
2-butanol	0.000101
Acide acétique	0.000000

Tableau III.8 : Composition massique du résidu.

Composé	Cas actuel
Méthanol	0,000000
Eau	0,995158
Ethanol	0.000000
2-propanol	0.000000
2-butanol	0.000000
Acide acétique	0.004842

Le tableau révèle que le taux d'éthanol dans le distillat actuel ne respecte pas les spécifications de qualité IMPCA, le rendant ainsi hors spécifications. Pour y remédier et obtenir un produit conforme, il est impératif d'affiner davantage ce distillat. C'est pourquoi l'ajout d'une troisième colonne de distillation est proposé.

III.9.5 Données supplémentaire à la sortie de la V-602

Le tableau **III.9** récapitule les principales propriétés mesurées à la sortie de la colonne V-602 dans le cas actuel, notamment le débit de méthanol raffiné et le débit de reflux, ainsi que les températures de reflux et de fond de la colonne. La charge thermique des aérocondenseurs y est également indiquée, offrant une vue d'ensemble des conditions de sortie de l'unité.

Tableau III.9 : Principales propriétés mesurées à la sortie de la colonne V-602 (cas actuel).

Propriété	Paramètres
Débit de méthanol raffiné	14600 kg/h
Débit de reflux	17 520 kg/h
Température de reflux	75,48 °C
Température de fond	119,4 °C
Charge thermique de rebouilleur	8.134 E6 kcal/h
Charge thermique des aérocondenseurs	8.252 E6 kcal/h

III.10 MODÉLISATION D'UNE TROISIEME COLONNE POUR UN FLUX DE 14600 Kg/h

III.10.1 Qualité du méthanol d'entrée de la troisième colonne de distillation V-603

Les fractions massiques des principaux composants du flux d'alimentation en méthanol de type A sont présentées dans la **figure III.5** extraite du simulateur Aspen HYSYS.

The screenshot shows a software window titled "Material Stream: Methanol grade A". It has three tabs: "Worksheet", "Attachments", and "Dynamics". The "Worksheet" tab is active, showing a table with the following data:

	Mass Fractions	Liquid Phase
Methanol	0.993899	0.993899
H2O	0.005293	0.005293
Ethanol	0.000504	0.000504
2-Propanol	0.000203	0.000203
2-Butanol	0.000101	0.000101
AceticAcid	0.000000	0.000000

Below the table, there is a "Total" field with the value "1.00000". At the bottom of the window, there are buttons for "Edit...", "View Properties...", "Basis...", "Delete", "Define from Stream...", "View Assay", and navigation arrows.

Figure III.5 : Composants du flux d'alimentation en méthanol de V-603.

Les compositions massiques de l'alimentation réelle de la troisième colonne sont détaillées dans le tableau **III.10** ci-dessous. Il est à noter que cette colonne sera alimentée directement par le distillat provenant de la deuxième colonne.

Tableau III.10 : Qualité du méthanol d'alimentation de la troisième colonne.

Composés	Composition massique de l'alimentation
Méthanol	0.993899
Eau	0.005293
Ethanol	0.000504
2-propanol	0.000203
2-butanol	0.000101
Acide acétique	0.000000

III.11 RESULTATS DE SIMULATION

III.11.1 Paramètres de conception de la colonne V-603

Le tableau **III.11** présente les résultats de la simulation de distillation de la colonne V-603, réalisée avec HYSYS V11 et basée sur ses spécifications techniques.

Tableau III.11 : Spécifications de la colonne V-603.

Troisième colonne	Paramètres
Débit du méthanol raffiné	14 500 kg/h
Débit de résidu	98.90 kg/h
Pression au top	1.3 bars
Pression au fond	1.5 bars
Température de reflux	70.95 °C
Température au fond	96.75 °C
Charge thermique du rebouilleur	1.604 E7 Kcal/h
Charge thermique des aérocondenseurs	1.610 E7 Kcal/h
Plateau d'alimentation	31
Nombre de plateaux théoriques	80
Type de plateaux	Perforé

Selon le tableau, les spécifications de conception et les performances simulées de la troisième colonne (V-603), dédiée pour l'affinage du méthanol sont détaillées. Cette colonne est conçue pour produire un débit élevé de méthanol raffiné (14 500 kg/h) avec un faible débit de résidu (98,90 kg/h), garantissant une séparation efficace. Elle opère sous des pressions de 1,3 bar en tête et 1,5 bar en fond, avec des températures de reflux de 70,95 °C et de fond de 96,75 °C.

Les charges thermiques du rebouilleur et des aérocondenseurs sont élevées (environ 1,6 E7 Kcal/h chacune), reflétant une conception optimisée pour une séparation énergétique intense. La colonne

est dotée de 80 plateaux théoriques, avec un plateau d'alimentation au 31ème étage, et utilise des plateaux perforés, soulignant une conception visant une haute pureté et une efficacité optimale.

III.11.2 Composition du méthanol raffiné extrait de la troisième colonne

La **figure III.6** présente les compositions massiques du flux de méthanol de grade IMPCA obtenues par simulation, tandis que le tableau **III.12** détaille ces compositions pour le cas actuel du méthanol raffiné issu de la troisième colonne.

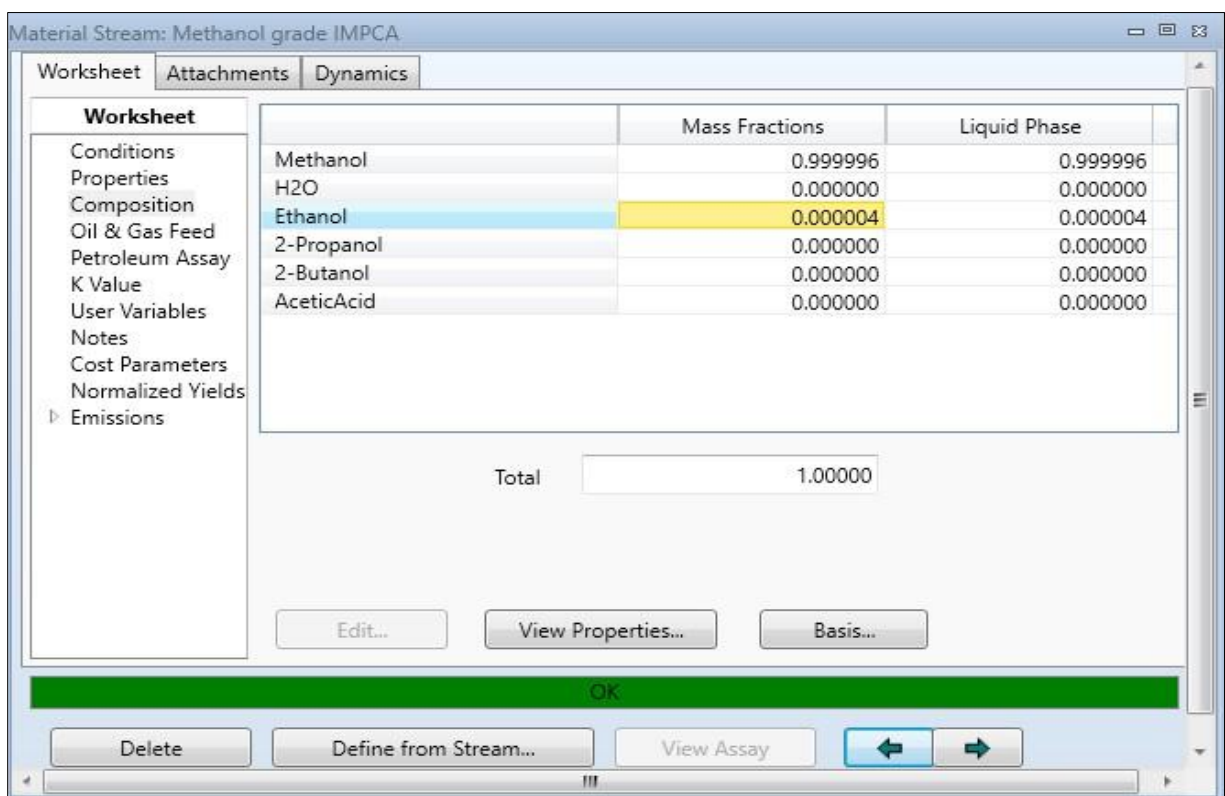


Figure III.6 : Compositions massiques du flux de méthanol de grade IMPCA issues de la simulation.

Tableau III.12 : Qualité du méthanol raffiné issu de la troisième colonne (cas actuel).

Composés	Composition massique du distillat
Méthanol	0.999996
Eau	0.000000
Ethanol	0.000004
2-propanol	0.000000
2-butanol	0.000000
Acide acétique	0.000000

Les résultats de la simulation de la colonne V-603 sont explicites. Après le passage dans cette troisième colonne, la composition massique du méthanol dans le distillat atteint (0.999996), démontrant une pureté extrêmement élevée. Plus important encore, une réduction significative des taux d'éthanol (0.000004) et une élimination complète de l'eau (0.000000) et des autres impuretés (2-propanol, 2-butanol, acide acétique) sont observées. Cette amélioration importante des compositions indique clairement que le méthanol produit respecte la norme IMPCA 2021, un objectif majeur de cette modélisation.

III.11.3 Analyse des profils thermodynamiques et de flux dans la colonne de distillation simulée via HYSYS

Cette section est dédiée à la présentation et à l'analyse des courbes générées par la simulation de la colonne de distillation avec HYSYS pour examiner les principales variables qui influencent le fonctionnement interne de la colonne, notamment la concentration des composants, les débits de vapeur et de liquide, ainsi que la pression et la température à chaque plateau. Ainsi, évaluer l'efficacité de la séparation, et mettre en évidence l'effet des divers paramètres opératoires sur la qualité des produits.

III.11.3.1 Variation de la température le long de la colonne

La **figure III.7** montre une augmentation progressive de la température du sommet vers la base de la colonne, ce qui est essentiel pour la séparation efficace des composants selon leur point d'ébullition.

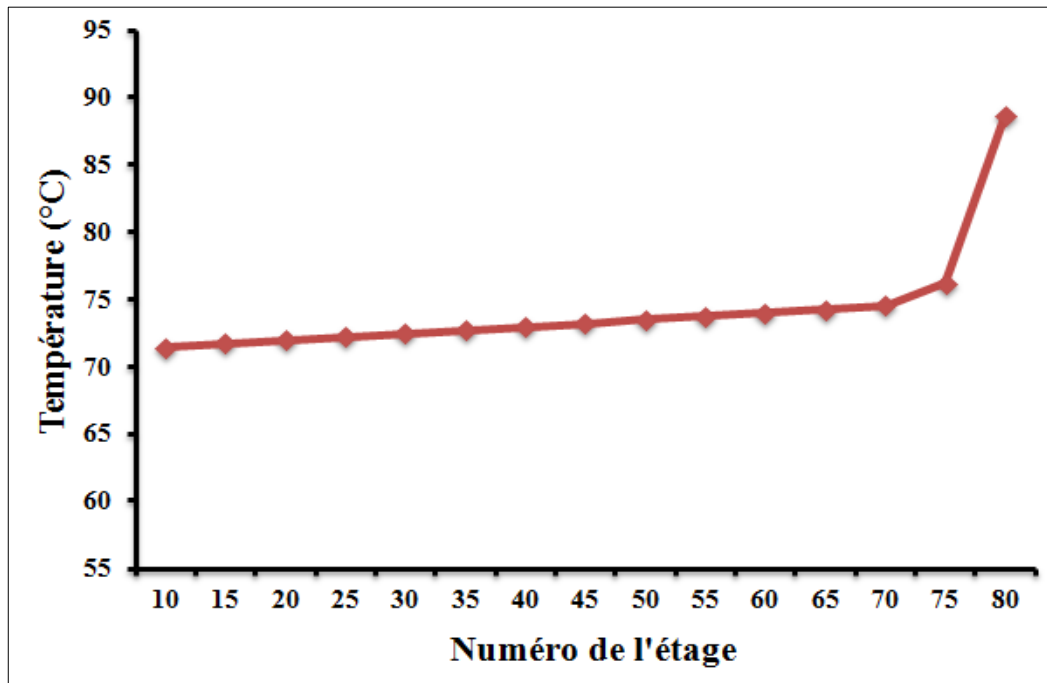


Figure III.7 : Évolution de la température le long des étages de la colonne de distillation.

La **figure III.7** démontre que la température au sein de la colonne de distillation évolue progressivement du haut vers le bas, en corrélation avec la volatilité croissante des composants. Les substances plus légères, se concentrant en tête, sont présentes à des températures plus basses, tandis que les composés plus lourds, se rassemblant en fond, sont à des températures plus élevées, avec les intermédiaires répartis entre les deux.

Ce profil de température est influencé par plusieurs paramètres clés. Un reflux plus important abaisse la température en tête de colonne en retirant plus de chaleur, favorisant ainsi une meilleure séparation. De même, une alimentation plus légère tend à diminuer la température moyenne de la colonne. Inversement, une pression de colonne élevée augmente l'ensemble des températures. Enfin,

un nombre accru de plateaux permet une montée thermique plus douce et graduelle, ce qui contribue directement à une séparation plus efficace des différents constituants [23,8].

III.11.3.2 Profil de pression interne de la colonne

Le graphique (Voir **figure III.8**) illustre la répartition de la pression du haut vers le bas de la colonne, mettant en évidence les pertes de charge et leur impact sur le fonctionnement ainsi que la stabilité du procédé.

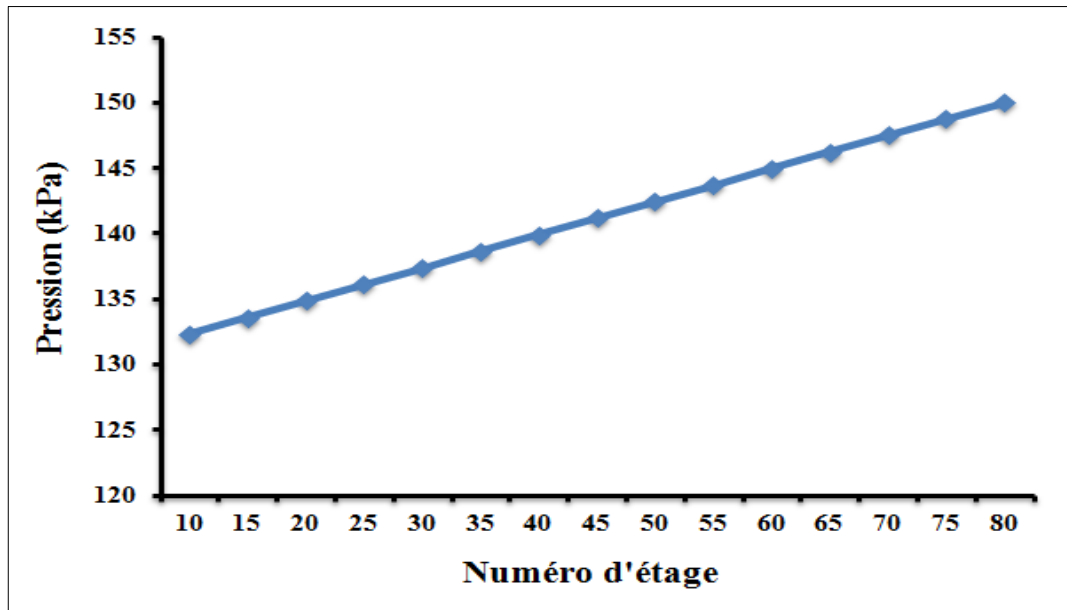


Figure III.8 : Profil de pression à travers les différents étages de la colonne de distillation.

L'augmentation linéaire de la pression du haut vers le bas de la colonne indique une chute de charge régulière, principalement due à la résistance à l'écoulement de la vapeur à travers les plateaux et les équipements internes. Ce profil régulier témoigne de l'absence d'obstruction sévère dans les voies d'écoulement.

Plusieurs facteurs affectent cette répartition de pression : le débit de vapeur, le nombre de plateaux et l'état de fonctionnement de la colonne. Par exemple, une élévation du débit de vapeur ou du nombre de plateaux entraîne systématiquement une croissance de la chute de pression. Inversement,

une irrégularité dans la courbe de pression peut révéler des défauts mécaniques ou des problèmes d'écoulement au sein de la colonne [25,23].

III.11.3.3 Évolution des débits de vapeur et de liquide dans la colonne

Le tracé de la **figure III.9** présente les variations des flux massiques de la vapeur et du liquide à chaque plateau, faisant ressortir les échanges de matière ainsi que les points d'alimentation et d'extraction.

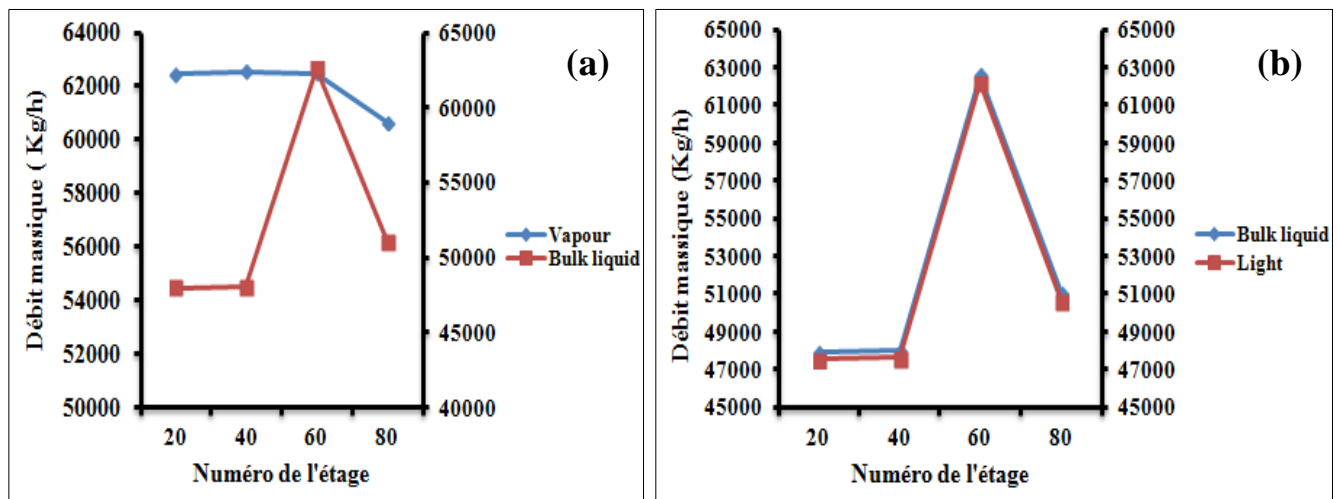


Figure III.9 : Variation des flux de vapeur et de liquide à travers la colonne de distillation.

Le graphique (a) montre la variation des débits massiques de vapeur et de liquide en fonction du numéro d'étage. Le débit de vapeur demeure stable, tandis que celui du liquide connaît une augmentation puis une diminution marquée à un certain étage. Cette fluctuation du liquide indique un point d'alimentation ou d'extraction. L'écart entre les courbes souligne les échanges matière-énergie aux plateaux concernés.

Le graphique (b) illustre l'évolution des débits massiques du liquide total (Bulk liquid) et de la fraction légère (Light) en fonction de l'étage. Les deux courbes suivent une tendance similaire, avec une forte augmentation suivie d'une redescente rapide à un étage critique, suggérant que l'ajout ou le retrait de matière à cet endroit affecte principalement la fraction légère [23].

Ces deux graphes sont essentiels pour comprendre le fonctionnement interne de la colonne, car ils révèlent les points d'alimentation ou d'extraction et les échanges de matière, permettant ainsi d'optimiser l'efficacité de la séparation.

III.11.3.4 Développement de la composition des composants

Ce diagramme met en évidence la variation de fraction massique du principal composant (méthanol) en fonction de la position dans la colonne (Voir **Figure III.10**).

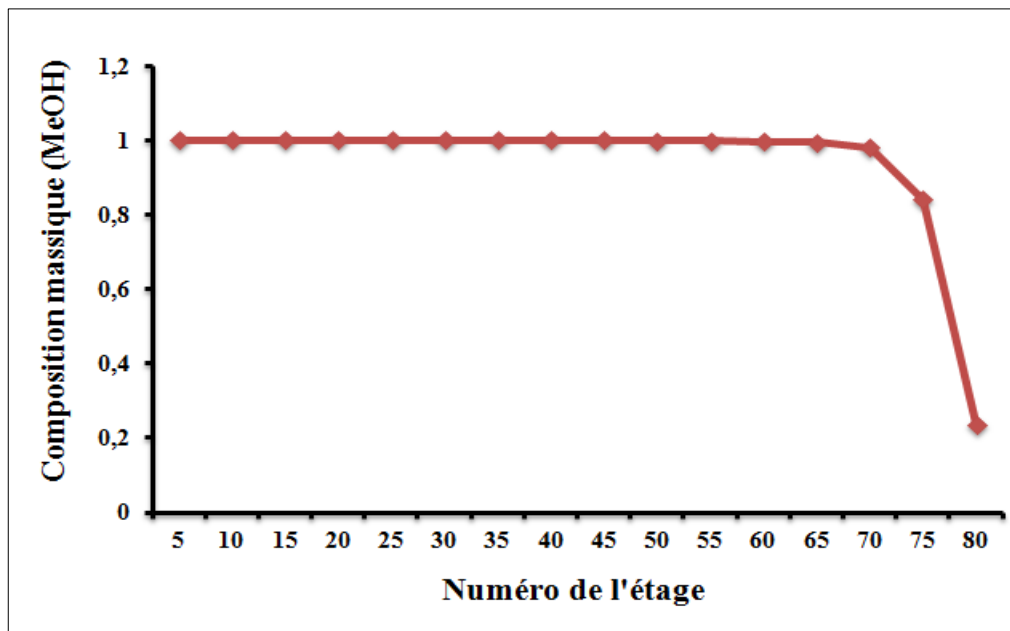


Figure III.10 : Composition massique du composant principal (MeOH).

Le comportement observé dans la colonne de distillation se caractérise par une très forte concentration de méthanol en tête, formant un distillat pur. Cette concentration chute ensuite fortement vers le bas de la colonne, où le méthanol est presque disparu. La haute pureté du méthanol en partie supérieure, maintenue jusqu'à l'étage 70 environ, souligne de l'efficacité du processus de séparation.

Le profil de fraction massique observé dépend de plusieurs paramètres, en particulier du ratio de reflux, le nombre de plateaux et la composition de l'alimentation. Par ailleurs, toute rupture ou

anomalie dans ce profil pourrait indiquer un dysfonctionnement de la colonne, tel que des fuites ou des phénomènes d'inondation, affectant ainsi la qualité de la séparation [23,27].

III.12 EVALUATION DES DIMENSIONS DE LA COLONNE

III.12.1 Le diamètre de la colonne

Le diamètre de la colonne est déterminé à l'aide de l'équation suivante :

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * W}}$$

Avec **Q** : débit de vapeur qui quitte le sommet de la colonne en m³/s et

W : la vitesse des vapeurs en m/s.

Calcul de la vitesse admissible des vapeurs (W)

Pour déterminer W, la formule de Souders Brown est employée :

$$W = 8,45 * 10^{-5} * C * \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}}$$

Dans cette formule, **W** est le facteur de vitesse de vapeur. Il varie en fonction du type de plateau, de l'espacement entre les plateaux, et de la tension superficielle du liquide sur ces plateaux. **ρ_L** et **ρ_v** représentent respectivement les masses volumiques du liquide et de la vapeur dans les conditions de fonctionnement. Pour les plateaux perforés, la valeur de **C** est fixée à **650**.

$$W = 8,45 * 10^{-5} * 650 * \sqrt{\frac{735.8 - 1.493}{1.493}}$$

$$W = 1.218 \text{ m/s}$$

Calcul du diamètre (D)

Le débit de vapeur : $Q = 34846 \text{ m}^3/\text{h}$

La vitesse des vapeurs : $W = 1.218 \text{ m/s}$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 34846}{\pi * 1.218 * 3600}}$$

$$D = 3\text{m}$$

III.12.2 La hauteur de la colonne

La hauteur totale de la colonne est calculée par la formule suivante :

$$H_T = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5$$

H_1 : La distance entre le sommet est le premier plateau de la zone de rectification.

H_2 : La hauteur de la zone de rectification.

H_3 : La hauteur de la zone d'alimentation.

H_4 : La hauteur de la zone d'épuisement.

H_5 : La hauteur de l'espace libre au-dessous du plateau inférieur.

La distance entre le sommet est le premier plateau de la zone de rectification :

$$H_1 = \frac{D}{2} = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ m}$$

La hauteur de la zone de rectification :

$$H_2 = H_P * (N_R - 1)$$

H_P : Distance entre deux plateaux.

N_R : Nombre de plateaux dans la zone de rectification.

$$H_P = 0.55\text{m}$$

$$N_R = 80 - 31 = 49 \text{ plateaux}$$

$$H_2 = 0.55 * (49 - 1) = 26.4 \text{ m}$$

La hauteur de la zone d'expansion :

$$H_3 = 6 * H_P$$

$$H_3 = 6 * 0.55 = 3.3 \text{ m}$$

La hauteur de la zone d'épuisement :

$$H_4 = H_P * (N_E - 1)$$

N_E : Nombre de plateaux de la zone d'épuisement.

$$N_E = 31 \text{ plateaux}$$

$$H_4 = 0.55 * (31 - 1) = 16.5 \text{ m}$$

La hauteur de l'espace libre au-dessous du plateau inférieur :

$$H_5 = 1.5 \text{ m}$$

La hauteur totale sera : $H_T = 49 \text{ m}$

III.13 CONCLUSION

L'étude du procédé actuel de purification du méthanol au niveau du complexe CP1/Z a déterminé les limites de la colonne V-602, qui ne parvient pas à satisfaire les strictes exigences de pureté de la norme IMPCA. Face à ce défi, l'outil de modélisation Aspen HYSYS s'est avéré indispensable. En modélisant le comportement du système, il a été possible d'identifier les paramètres clés des diverses solutions d'optimisation.

Cette démarche a conduit à la décision d'ajouter une troisième colonne de distillation, spécifiquement dimensionnée et intégrée. L'objectif est de réduire significativement la teneur en éthanol afin d'obtenir un méthanol conforme aux standards internationaux. L'utilisation d'outils de simulation dans ce type d'ingénierie des procédés est cruciale, elle permet de valider les choix techniques avant toute mise en œuvre industrielle, assurant ainsi la compétitivité du complexe sur le marché.

Conclusion générale et recommandations

Ce travail a fait partie du contexte stratégique d'optimisation de la qualité du méthanol produit au complexe pétrochimique CP1/Z d'Arzew, en raison du renforcement des exigences de pureté dans le secteur industriel, sur la base des normes internationales, dont celles de l'IMPCA.

Le méthanol, comme produit clé aux industries chimiques, pharmaceutiques et énergétiques, impose aujourd'hui des processus de traitement et de purification plus performants, afin de lui assurer un haut niveau de pureté tout en garantissant sa compétitivité sur le marché mondial.

Le procédé de purification existant a fait l'objet d'une analyse approfondie mettant en évidence les limites techniques de la colonne V-602, en particulier son incapacité à réduire la teneur en éthanol à un niveau conforme aux spécifications internationales. Pour résoudre ce problème, le logiciel Aspen HYSYS a été utilisé pour créer un système efficace : l'ajout d'une troisième colonne de distillation (V-603), dédiée au raffinage final du méthanol.

En outre, les calculs effectués ont permis d'obtenir une pureté massique du méthanol de 99,9996 %, tout en éliminant pratiquement toutes les traces d'éthanol et d'autres impuretés. Les profils de température, de pression et de fraction massique observés tout au long de la colonne ont confirmé l'efficacité du procédé et la stabilité de son fonctionnement. Ces résultats traduisent une avancée majeure pour le complexe CP1/Z, lui permettant d'aligner sa production sur les normes IMPCA 2021 et d'augmenter ainsi la valeur des ressources énergétiques du pays.

En somme, ce travail illustre la validité du concept de simulation numérique adopté qui offre un exemple concret d'intégration du système technologique des procédés au service des performances industrielles et de la rentabilité internationale. Les résultats obtenus ouvrent également des perspectives d'optimisation énergétique et d'amélioration continue des

Conclusion générale et Recommandations

procédés, indispensables dans le cadre de la transition vers une industrie plus propre et plus efficace.

Pour amplifier le travail réalisé, plusieurs perspectives sont à envisager ;

- Une optimisation de l'efficacité énergétique de la colonne V-603, par la récupération de chaleur, est une voie d'amélioration importante.
- Une analyse économique approfondie pour évaluer la rentabilité du projet.
- Un contrôle plus efficace du procédé serait possible grâce à l'intégration de l'intelligence artificielle. De plus, l'extension de la modélisation à l'ensemble du complexe CP1/Z permettrait d'améliorer le contrôle global du système.

Enfin, une exploration de technologies alternatives à la distillation, telles que la pervaporation, pourrait également améliorer la performance énergétique.

Bibliographie

- [1]. FASTWATER, Deliverable 7.3 Methanol Fuel Quality Recommendations 20230530
- [2]. Nicolas Meunier, Remi Chauvy, Seloua Mouhoubi, Guy De Weireld, Alternative production of methanol from industrial CO₂, July 2019, Renewable Energy, 146-1192-1203.
- [3]. Sonatrach. *Rapport annuel d'activité – Complexe CP1/Z*, 2022.
- [4]. Seader, J. D., Henley, E. J., & Roper, D. K. (2016). *Separation Process Principles* (3rd ed.). Wiley.
- [5]. Mostefai Hamza Mémoire fin d'étude : «Etude de la possibilité de production du méthanol de spécifications IMPCA au niveau du complexe pétrochimique d'Arzew CP1Z » université M'Hamed Bougara – Boumerdes 2024.
- [6]. P & ID du complexe CP1/Z.
- [7]. DAHMANE Abderrazak et BENCHIHA Naouel Mémoire de fin de formation de professionnalisation en raffinage et pétrochimie : «Etude de l'influence d'injection du CO₂ dans le réacteur de synthèse de méthanol sur le rendement en méthanol Complexe (CP-1Z) » institut Algérien du pétrole – Ecole de Boumerdes - 2018.
- [8]. Service stockage.
- [9]. J. Ott et al., "Methanol - An Industrial Review by Lurgi GmbH, Air Liquide GmbH and BASF AG," Ullmann's Encycl. Ind. Chem., 2012
- [10]. Manuel de Description de l'unité méthanol.
- [11]. Kellal Ahmed et Djezzar Bilel. Mémoire fin d'étude : « étude d'amélioration de la qualité du méthanol » université de Mostaganem 2019.
- [12]. Document personnel des analyses du laboratoire de CP1Z, 2019.
- [13]. E. Koller, Aide-mémoire génie chimique, 3ème édition DUNOD, Paris, P: 425-431, 2009.
- [14]. J. G. Stichlmair, "CHEMICAL ENGINEERING AND CHEMICAL PROCESS TECHNOLOGY – Vol. II - Distillation or Rectification."
- [15]. Jimmy L. Humphrey, George E. Keller II, Procédés de séparation : techniques, sélection, dimensionnement.

Bibliographie

- [16]. Mohamed Seghir Zahira. Mémoire fin d'étude : « calcul technologique et simulation du procédé de rectification des gaz » université de Mostaganem 2011.
- [17]. Cours de raffinage l'IFP, 2001.
- [18]. A. Benahmed, Distillation, SONATRAC / IAP-CU, Skikda, P: 7- 10, 2003.
- [19]. IMPCA Methanol Reference Specifications version 9. www.impca.be.
- [20]. DJEBBARI Abdelbasset Mémoire fin d'étude : «SIMULATION D'UNE UNITÉ DE PRODUCTION DE MÉTHANOL A L'AIDE DE L'ASPEN PLUS-HYSYS » université Mohamed Khider – Biskra 2014.
- [21]. Hysys Process Documentation, Hyprotech, Ing, AEA Groupe, Calgary, 2000 (CD.ROM).
- [22]. DJEZZAR Mohamed, DAMENE Radhwane, « Approche Et Modélisation De La Modification Du Solvant MEA Dans La Partie Décarbonatation Du Complexe GL2/Z Sur La Base D'un Alliage D'amines MDEA/MEA », Mémoire de fin d'études de master, Génie des procédés, Génie chimique, Juin 2024.
- [23]. D.Ballerini, Les biocarburants : Répondre aux défis énergétiques et environnementaux des transports, édition Technip, (2011), p.278, 279
- [24]. King, C.J. *Separation Processes*, 2nd Edition, McGraw-Hill, 1980.
- [25]. Kaiser, H., *Distillation Design*, McGraw Hill, 1992.
- [26]. Étude de dimensionnement d'une colonne à plateaux - Université 8 Mai 1945 Guelma, 2020.
- [27]. Diagrammes de phases liquide-vapeur binaires et distillation, Chimie Organique PCSI, 2015.