



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université M'Hamed Bougara-Boumerdes

Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Département Transport et Equipements des Hydrocarbures

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydrocarbure

Option : Génie mécanique-Mécanique des unités Pétrochimiques.

Présenté par : **HEDDAD Rihab**

GUERROUF Chahra

THEME :

**Étude aéromécanique de la colonne de distillation 700-C1
A l'aide de logiciel ANSYS**

Devant le jury :

Président de jury : **MEFTAH Siham**

Examineur : **BETTAYEB Mourad**

Examineur : **HALOUANE Yacine**

Encadreur : **SAHANOUNE Khaled**

Boumerdes 2023

REMERCIEMENT

“Al hamdoulillah”, Nous sommes reconnaissants envers **ALLAH**, le Tout-Puissant, pour nous avoir donné la force, la patience et la volonté d'atteindre notre objectif de PFE.

Tout d'abord, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers **Mr. SAHNOUNE Khaled** pour son encadrement durant ce PFE. Ses conseils pertinents ont grandement contribué à la réussite de notre travail.

Nous tenons également à remercier les professionnels au niveau de la raffinerie de SKIKDA qui ont accepté de participer à cette étude et qui ont partagé leur expérience avec nous.

Nos collègues et camarades méritent également notre gratitude pour leur soutien, leur encouragement et leurs échanges constructifs qui ont enrichi notre réflexion et nous ont permis d'affiner nos idées.

Nous adressons un immense merci à nos parents pour leur soutien indéfectible tout au long de notre parcours universitaire.

Nous sommes reconnaissantes envers toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce travail et qui ont enrichi nos parcours universitaires.

Enfin, nous remercions le lecteur de s'intéresser à ce travail de mémoire.

Merci à tous ...!

DÉDICACE :

Tout d'abord, je tiens à remercier **DIEU** de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail ;

Je tiens à dédier cette mémoire :

À ma mère et mon père, Vous avez été mes premiers mentors et mes plus grands supporters. Votre amour inlassable, vos sacrifices et votre dévouement ont été les fondations de ma vie et de ma réussite. Ce mémoire est dédié à votre amour inconditionnel et à votre influence positive.

À mon frère et ma sœur, Raid et Samah, Vous avez été mes compagnons de jeu, mes confidents et mes amis les plus proches. Votre amour et votre soutien ont été un pilier de ma vie et de mes souvenirs. Ce mémoire est dédié à notre lien familial indissoluble.

À mes amis, à ceux qui ont traversé les défis et les triomphes de la vie à mes côtés, qui ont ri et pleuré avec moi, qui ont été mes compagnons de route dans ce voyage incertain et merveilleux. Ce mémoire est dédié à notre amitié inaltérable.

À ma deuxième famille, la famille de ma tante, Vous avez été une source de soutien et d'inspiration tout au long de ma vie et de mes expériences. Votre amour et votre présence ont été une bénédiction pour moi. Ce mémoire est dédié à notre lien familial solide.

À tous ceux qui ont contribué à ma formation et à mes souvenirs, même si je ne les ai pas nommés ici. Votre soutien et votre inspiration ont été inestimables et ont contribué à ma réussite, Merci.

H. RIHAB

DÉDICACE :

À **ma mère** et à **mon père**, pour l'éducation qu'ils m'ont prodiguée avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, pour le sens du devoir qu'ils m'ont enseigné depuis mon enfance.

À **mes chères sœurs** : Kenza Widad Djouhaina Rahima

À tous ceux qui m'aiment, à toutes les personnes que j'aime.

Je vous dédie ce modeste travail

G. CHAHRA

RESUME

L'objectif de ce mémoire est de mener une étude détaillée sur l'aéromécanique de colonne de distillation 700-C1 afin de comprendre les effets aérodynamiques et de vérifier sa stabilité mécanique extérieure par l'utilisation de plusieurs logiciels (SOLIDWORKS, ANSYS-CFX, ANSYS-Mechanical) Les résultats et les recommandations sont présentés en détail, soulignant l'importance de cette étude pour améliorer la conception de structures industrielles similaires et en particulier les colonnes de distillation .

Mot clé : Aéromécanique, aérodynamique, stabilité mécanique, colonnes de distillation, Simulation et modélisation numérique, Mécanique des volumes finie, conception mécanique, CAO, CFX, turbulences, écoulement.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to conduct a detailed study on the aeromechanics of a 700-C1 distillation column in order to understand the aerodynamic effects and verify its external mechanical stability using several software programs (SOLIDWORKS, ANSYS CFX, ANSYS Mechanical). The results and recommendations are presented in detail, highlighting the importance of this study in improving the design of similar industrial structures, specifically distillation columns.

Key words: Aeromechanics, Aerodynamics, Mechanical stability, Distillation columns, Simulation and numerical modeling, Finite volume mechanics, Mechanical design, Computer-aided design, ANSYS-CFX, Turbulence, Flow

المخلص

الهدف من المذكرة هو إجراء دراسة مفصلة حول الميكانيك الهوائية لفهم التأثيرات الهوائية على عمود التقطير والتحقق من الاستقرار الميكانيكي الخارجي باستخدام العديد من البرامج:

(SOLIDWORKS ، ANSYS-CFX ، ANSYS- Mechanical)

وتقديم النتائج والتوصيات بالتفصيل، مشيراً إلى أهمية هذه الدراسة في تحسين تصميم الهياكل الصناعية المماثلة

الكلمات المفتاحية: الديناميك الهوائية، الديناميك الميكانيكية الهوائية، الاستقرار الميكانيكي، عمود التقطير، المحاكاة والنمذجة العددية، الميكانيك الحجمية المحدودة، الرسم والتصميم بمساعدة الحاسوب، التدفق، الاضطرابات

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE-----	1
I. Chapitre 1:Présentation de complexe Ra1k de Skikda-----	2
I.1 INTRODUCTION-----	3
I.2 Présentation de complexe de raffinage de Skikda RA1k : -----	3
I.2.1 Bilan de production de la raffinerie RA1K -----	4
I.2.2 Présentation hiérarchique -----	4
I.3 L'unité d'isomérisation du naphta léger A :-----	6
I.3.1 Section hydrotraitement :-----	6
I.3.2 Section isomérisation -----	8
I.4 Fonction principale de la colonne déisopentaniseur 700-C1 :-----	11
II. Chapitre 02:Aérodynamique des colonnes de distillation -----	13
II.1 INTRODUCTION :-----	14
II.2 Définition de la distillation : -----	14
II.2.1 Distillation atmosphérique : -----	14
II.2.2 Distillation sous vide :-----	14
II.3 L'amélioration de la qualité des produits dans les unités de raffinage -----	15
II.3.1 Coupes lourdes :-----	15
II.3.2 Coupes moyennes :-----	15
II.3.3 Coupes légères : -----	15
II.4 Dimensionnement Des Colonnes :-----	16
II.4.1 Puissance de la colonne :-----	16
II.4.2 Débit : -----	16
II.4.3 Hauteur équivalente à un plateau théorique : -----	16
II.4.4 Retenue de la colonne ou volume de rétention :-----	16
II.4.5 Efficacité : -----	17
II.4.6 Finesse :-----	17
II.4.7 Pertes de charge :-----	17
II.4.8 Canalisations du liquide :-----	17
II.5 Les différents types de colonne :-----	17
II.5.1 Les Colonnes À Plateaux :-----	17
II.5.2 Types de plateaux -----	18
II.5.3 Colonne a garnissage :-----	20
II.5.4 Applications typiques : -----	21
II.6 Les Auxiliaires : -----	22

II.6.1	Vannes Et Soupapes :-----	22
II.7	Les Instruments : -----	23
II.7.1	Régulateur de niveau :-----	23
II.7.2	Régulateur de pression :-----	24
II.7.3	Contrôleur de température :-----	24
II.7.4	Régulateur de débit :-----	25
II.7.5	Maintenance des colonnes de distillation-----	25
II.8	Généralité Sur L'Aérodynamique :-----	26
II.8.1	Définition : -----	26
II.8.2	L'aérodynamique compressible -----	26
II.8.3	L'aérodynamique incompressible : -----	26
II.8.4	Modèle mathématique :-----	27
II.8.5	Efforts aérodynamiques :-----	29
II.8.6	Surface de référence :-----	30
II.8.7	Coefficients : -----	30
II.8.8	Les étapes d'une étude aérodynamique des installations fixes : -----	31
II.8.9	la méthode des volumes finis -----	32
II.8.10	Effets d'aérodynamique sur la stabilité des colonnes :-----	33
II.9	CONCLUSION : -----	33
III.	CHAPITRE III : Conception de la colonne 700-C1 par SOLIDWORKS -----	34
III.1	INTRODUCTION :-----	35
III.2	. Définition de SOLIDWORKS :-----	35
III.2.1	Terminologie : -----	35
III.2.2	La modélisation 3D :-----	35
III.2.3	Les étapes principales de l'interface utilisateur de SolidWorks : -----	36
III.3	Modélisation de la colonne par SOLIDWORKS -----	38
III.3.1	Fond inferieur\Fond supérieur-----	38
III.3.2	L'enveloppe : (Robe de la colonne) :-----	39
III.3.3	Jupe de la colonne -----	40
III.3.4	Brides-----	41
III.3.5	Trou d'homme -----	42
III.3.6	La plateforme et l'échelles de sécurité : -----	45
III.3.7	L'assemblage final de la colonne :-----	47
III.4	CONCLUSION : -----	48
IV.	CHAPITRE 04 : Étude aérodynamique de la colonne 700-C1 via le logiciel ANSYS-CFX---	49
IV.1	INTRODUCTION :-----	50
IV.2	Logiciel de simulation ANSYS :-----	50

IV.2.1	Environnement logiciel : -----	50
IV.3	ANSYS CFX : -----	51
IV.3.1	CFX-Pre : -----	51
IV.3.2	CFX-Solver : -----	51
IV.3.3	CFX- Solver Manager :-----	52
IV.3.4	CFX-Post :-----	52
IV.4	Modélisation numérique via l'utilisation du logiciel ANSYS -----	52
IV.4.1	La partie Géométrie : -----	52
IV.4.2	La partie maillage :-----	53
IV.4.3	La partie CFX : -----	54
IV.5	Discussion graphique des différents contours :-----	57
IV.5.1	Effets des variations de vitesse en étude aérodynamique -----	58
IV.6	Étude paramétrique des grandeurs aérodynamique :-----	63
IV.7	Vérification des résultats -----	67
IV.8	CONCLUSION -----	69
V.	CHAPITRE V : VERIFICATION DE LA STABILITE MECANIQUE DE LA COLONNE 700- C1 70	
V.1	INTRODUCTION-----	71
V.2	Données de départ-----	71
V.2.1	Données d'opération : -----	71
V.2.2	Données de conception mécanique -----	71
V.2.3	Spécification des matériaux : -----	72
V.2.4	Propriétés des matériaux :-----	72
V.3	ANSYS Mechanical-----	72
V.4	Vérification de la stabilité générale de la colonne-----	75
V.4.1	Calcul de la charge due au poids d'équipement plein d'eau: -----	75
V.4.2	La charge due à la compression longitudinale au niveau de l'anneau de base : -----	75
V.5	Calcul de la flèche-----	77
V.6	Distribution des contraintes de Von mises :-----	78
V.7	Distribution de coefficient de sécurité dans la structure : -----	79
V.8	Vérification de la stabilité de la jupe :-----	80
V.8.1	Partie supérieure de la jupe -----	80
V.8.2	Partie inférieure de la jupe -----	81
V.9	Vérification de la stabilité de l'anneau de base : -----	83
V.9.1	La contrainte maximale de compression dans l'anneau de base :-----	83
V.9.2	Vérification de l'épaisseur de l'anneau de base :-----	84
V.10	Vérification de la nécessité de l'ancrage : -----	85
V.10.1	Calcul des boulons d'ancrage :-----	85

V.11	Vérification de la résistance de l'appareil lors de l'essai hydrostatique -----	86
V.11.1	la contrainte dans la virole :-----	87
V.11.2	Fond supérieur :-----	88
V.11.3	fond inférieur :-----	89
V.12	CONCLUSION -----	89
VI.	Références -----	93

Liste des tableaux

Tableau I.1 :	Bilan de production de la RA1K avant et après la réhabilitation -----	4
Tableau III.1:	Dimensions des fonds inférieur\supérieur -----	38
Tableau III.2	Longueurs et les épaisseurs respectives des viroles -----	39
Tableau III.3 :	Liste des brides -----	41
Tableau III.4 :	Liste des Trous d'hommes -----	42
Tableau V.1 :	Données d'opération -----	71
Tableau V.2:	Données de conception mécanique-----	72
Tableau V.3 :	Spécification des matériaux -----	72
Tableau V.4:	Propriétés des matériaux -----	72

Liste des figures

Figure II-1:	représentation graphique de McCabe-----	16
Figure II-2:	plateau à cloche -----	18
Figure II-3:	plateau perforé-----	19
Figure II-4:	plateaux à clapets flottants -----	19
Figure II-5:	Disfonctionnement des colonnes à plateaux-----	20
Figure II-6:	Quelque corps de garnissage en métal-----	20
Figure II-7:	Garnissage structuré-----	21
Figure II-8:	Applications typiques du différents types de colonnes-----	21
Figure II-9:	Vanne manuelle -----	22
Figure II-10:	Vanne auto -----	23
Figure II-11:	Transmetteur et contrôleur de niveau -----	24
Figure II-12:	Transmetteur de Pression -----	24
Figure II-13:	Transmetteur de température -----	24
Figure II-14:	Débitmètre à Vortex -----	25
Figure II-15 :	Les méthodes de modélisation de la turbulence dans les équations de Navier-Stokes --	28
Figure III-1:	Pièces 3D SOLIDWORKS -----	36
Figure III-2 :	Barre menus SOLIDWORKS -----	36
Figure III-3:	Barre d'outils SOLIDWORKS -----	37
Figure III-4:	Zone de graphique SOLIDWORKS -----	37
Figure III-5:	Barre d'outils contextuelle -----	37
Figure III-6:	Différents paramètres dimensionnels d'un fond elliptique -----	39
Figure III-7:	Fond inférieur après Révolution-----	39
Figure III-9:	Enveloppe (virole assemblées) modélisée en SOLIDWORKS-----	40
Figure III-8:	la 1 ère virole assemblées modélisée en SOLIDWORKS-----	40
Figure III-10:	Jupe de la colonne modélisée en SOLIDWORKS -----	41
Figure III-12:	Bride 6" (WN) modélisé en SOLIDWORKS -----	42

Figure III-11: Dimensions et modélisation d'une bride 2" (LWN) -----	42
Figure III-13: Bride pleine 24" Assemblé en SOLIDWORKS vue de face -----	44
Figure III-14: Bride pleine 24" modélisé en SOLIDWORKS -----	44
Figure III-15: un dessin plan typique d'une plateforme montée sur l'enveloppe de la colonne -----	45
Figure III-16: Modélisation de la plateforme en SolidWorks -----	45
Figure III-17: un dessin typique de l'échelle de sécurité en SOLIDWORKS -----	46
Figure III-18: modélisation de l'échelle de sécurité en SOLIDWORKS -----	46
Figure III-20: différente vue assemblage finale de la colonne désopentaneuse -----	47
Figure III-19: assemblage finale de la colonne désopentaneuse 700-C1 en SOLIDWORKS -----	47
Figure IV-1: géométrie de la colonne dans ansys-ICEM -----	53
Figure IV-2: maillage de la géométrie -----	53
Figure IV-3 : Les statistiques du maillage par ansys-CFX -----	53
Figure IV-4: la condition d'entrée, ANSYS-CFX -----	54
Figure IV-5: la condition de sortie (Outlet) , ANSYS-CFX -----	54
Figure IV-6: la condition de paroi au niveau de la surface extérieure de la colonne -----	55
Figure IV-7: Condition de paroi: au niveau de la terre, ANSYS-CFX -----	55
Figure IV-8: Condition de symétrie: sur le reste des surface du domaine fluide -----	55
Figure IV-9: introduire les Conditions aux limites dans ansys-cfx pre -----	56
Figure IV-10: Le graphe de progression des convergences du calcul numérique -----	57
Figure IV-11: Les contours de pression statique -----	58
Figure IV-12: Contours sur le plan (XY) -----	59
Figure IV-13: Contour de vitesse dans le plan (XZ) -----	60
Figure IV-14: distribution de la viscosité turbulente (contour 2) -----	60
Figure IV-16: contour de pression statique, et la vitesse dans le plan (XY) -----	61
Figure IV-17: contour de vitesse dans le plan (XZ) et contour de viscosité turbulente -----	62
Figure IV-18: contour de vitesse dans le plan (XZ) et contour de viscosité turbulente -----	62
Figure IV-19: contour de vitesse dans le plan (XZ) et contour de viscosité turbulente -----	63
Figure IV-20: tableau des paramètres aérodynamique via Ansys-CFX -----	64
Figure IV-22: Courbe de la variation du couple en fonction de la vitesse -----	65
Figure IV-23: Courbe de la variation de la pression en fonction de la vitesse -----	65
Figure IV-24: Courbe de la variation de la force du vent en fonction de la vitesse -----	66
Figure IV-25: Courbe de la variation de coefficient de traînée en fonction de la vitesse -----	67
Figure V-1: maillage de la géométrie -----	73
Figure V-2: Application de la Gravité terrestre standard -----	73
Figure V-3: la contrainte appliquée -----	74
Figure V-4: fixation de la base de la colonne -----	74
Figure V-5: La flèche de la colonne -----	78
Figure V-6: Distribution des contraintes de Von mises -----	79
Figure V-7: Distribution de coefficient de sécurité -----	79

Liste des abréviations

RA1K : Raffinerie Aval 1 Skikda.

MON : Mesure Octane Number.

N2 : Azote.

RON : Recherche Octane Number

NO : Number Octane

iC5 : iso pentane

HDT : Hydrotraitement.

CTE : centrale thermique électrique .

Liq-vap : liquide-vapeur.

MTBE : Methyl Tertiary Butyl Ether

ASME : American Society of Mechanical Engineers

ASTM : American Society for Testing and Materials

ANSYS : Analysis System

CFD : omputational fluid dynamics

CFX : Contracted Finite Element Analysis

WN : Welding Neck

LWN : Long Welding Neck

SST : Shear Stress Transport

INTRODUCTION GENERALE

Dans le cadre de notre mémoire de fin d'études, nous avons entrepris une étude approfondie sur l'aéromécanique d'une colonne de distillation. Notre objectif principal était de comprendre les effets aérodynamiques sur cette colonne et de vérifier sa stabilité mécanique extérieure.

Nous avons effectué notre stage à l'unité d'isomérisation de la raffinerie RA1K à Skikda, où la colonne 700-C1 est installée. Notre étude s'est spécifiquement axée sur les aspects aéromécaniques de cette colonne.

Pour atteindre notre objectif, nous avons utilisé le logiciel SOLIDWORKS pour modéliser la colonne 700-C1 en 3D. Cette modélisation détaillée nous a permis de représenter fidèlement la géométrie et la configuration de la colonne.

En parallèle, nous avons utilisé le logiciel ANSYS CFX pour mener une étude aérodynamique approfondie de la colonne. Nous avons analysé les flux d'air, les phénomènes de turbulence et les éventuels effets néfastes qui pourraient perturber le bon fonctionnement de la colonne.

Outre l'aérodynamique, nous avons également évalué la stabilité mécanique extérieure de la colonne en utilisant le logiciel ANSYS Mechanical. Cette étape était cruciale pour s'assurer que la structure de la colonne pouvait résister aux contraintes mécaniques auxquelles elle pouvait être soumise.

Dans la suite de ce mémoire, nous décrirons en détail la méthodologie utilisée pour mener à bien cette étude, ainsi que les résultats obtenus et les recommandations formulées. . Enfin, nous soulignerons l'importance de cette recherche dans le domaine de la conception des structures industrielles et proposerons des perspectives pour de futures études.

I. Chapitre 1:Présentation de complexe Ra1k de Skikda

I.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons présenter le complexe de raffinerie de pétrole RA1K à Skikda. Ce complexe est composé de plusieurs unités de traitement spécialisées dans la production et le traitement du pétrole brut. Ces unités travaillent ensemble pour produire une variété de produits pétroliers tout en respectant les normes de sécurité et environnementales.

L'unité d'isomérisation est particulièrement importante car elle permet de convertir les alcanes linéaires en isomères ramifiés plus utiles, maximisant ainsi la production d'essence à haute valeur ajoutée. Les raffineries améliorent régulièrement cette unité pour répondre aux demandes du marché et aux réglementations environnementales. Les essences légères de distillation ont des indices d'octane relativement bas. Elles constituaient des bases acceptables pour la fabrication des carburants commerciaux.

I.2 Présentation de complexe de raffinage de Skikda RA1k :

La raffinerie de Skikda RA1K est implantée dans la zone industrielle, à 7 kilomètres à l'est de la ville de Skikda et à 2 kilomètres de la Méditerranée. Elle s'étend sur une superficie d'environ 183 hectares. ⁽¹⁾

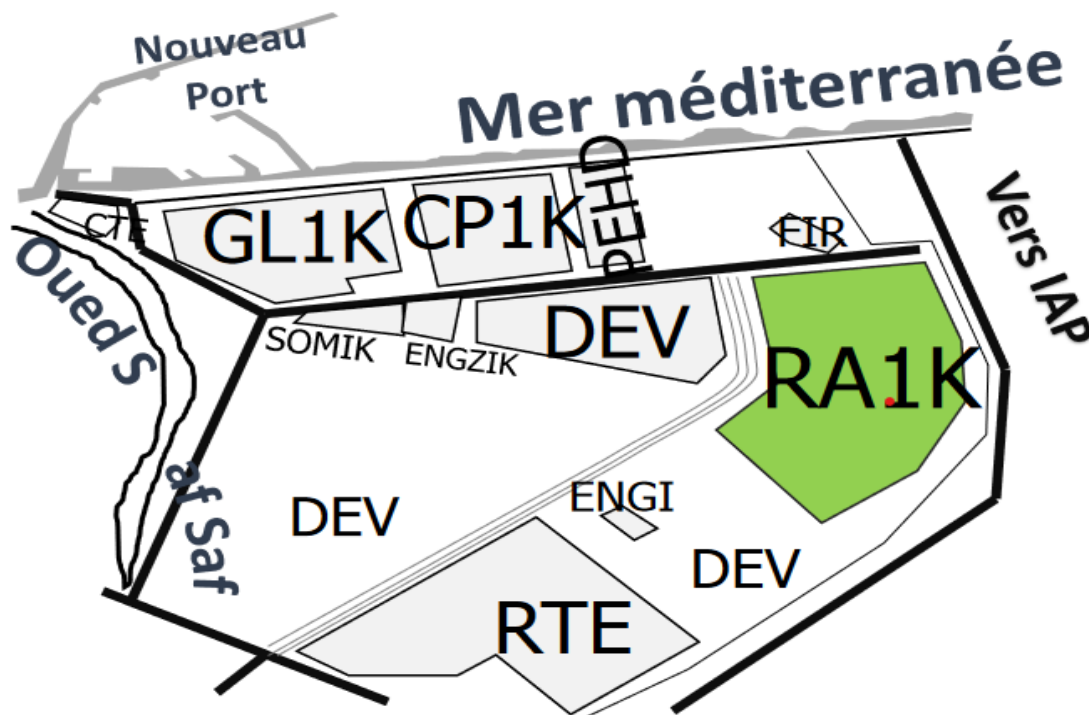


FIGURE I-1: SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA RAFFINERIE DE SKIKDA RA1K⁽¹⁾

La raffinerie de Skikda est alimentée en pétrole brut algérien par l'Unité de Transport Est (UTE) de Skikda, qui est une station intermédiaire située à Hassi-Messaoud. ⁽¹⁾

Le transport du pétrole brut s'effectue par pipelines sur une distance d'environ 640 km entre les champs pétrolifères et la raffinerie de Skikda. ⁽¹⁾

I.2.1 Bilan de production de la raffinerie RA1K

Le tableau I-1 Ci-dessous illustre le bilan de production de la RA1K avant et après sa réhabilitation :⁽¹⁾

Charge	Avant réhabilitation	Après réhabilitation
Pétrole brut , TPA	15 000 000	18 000 000
Produits		
GPL	365 000	644 200
Naphta	1 700 000	3 753 800
Essence	2 180 000	2 135 400
Jet a 1	1 500 000	1 500 000
Diesel	4 250 000	5 913 800
Fuel oil	4 300 000	4 270 800
Benzène	90 000	197 300
Toluène	11 000	16 900
Paraxylène	38 000	22 0100

TABEAU I.1 : BILAN DE PRODUCTION DE LA RA1K AVANT ET APRES LA REHABILITATION

I.2.2 Présentation hiérarchique

La structure hiérarchique de gestion de la raffinerie de Skikda prévoit à son sommet un Directeur dont lequel dépend des services, techniques de ligne, plus deux staffs, comme le Montre l'organigramme suivant :⁽¹⁾

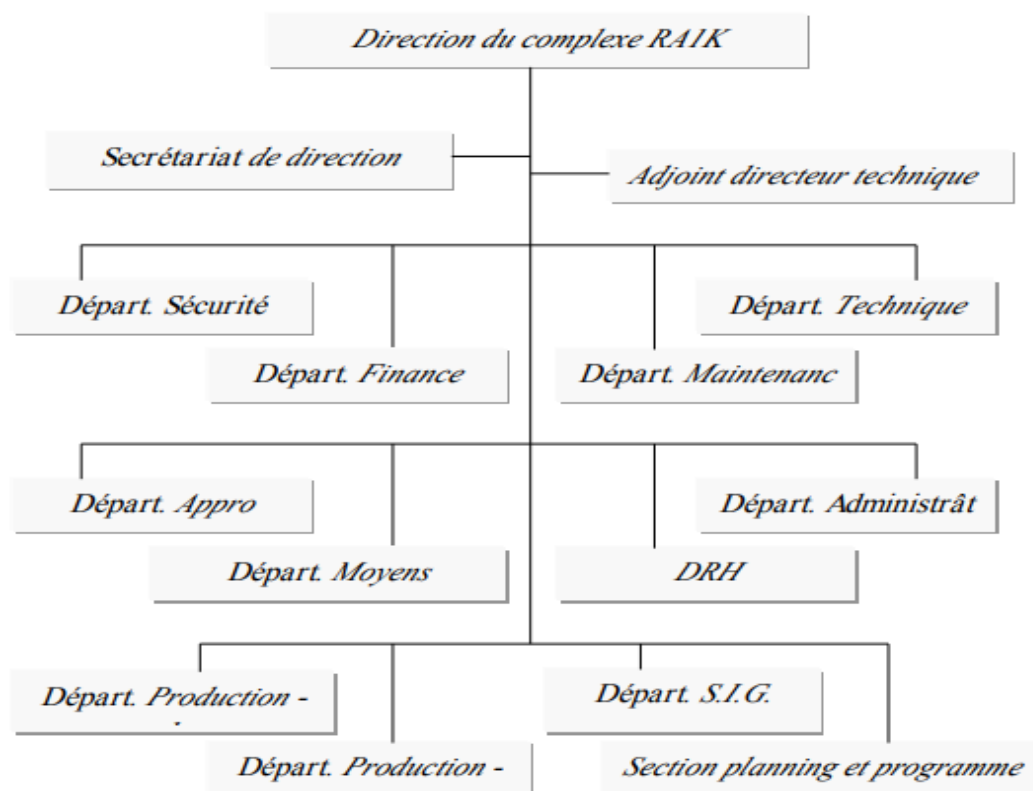


Figure I-2 : Organigramme de la Raffinerie de Skikda RA1K⁽¹⁾

NOUVEAU SCHEMA DE LA RAFFINERIE

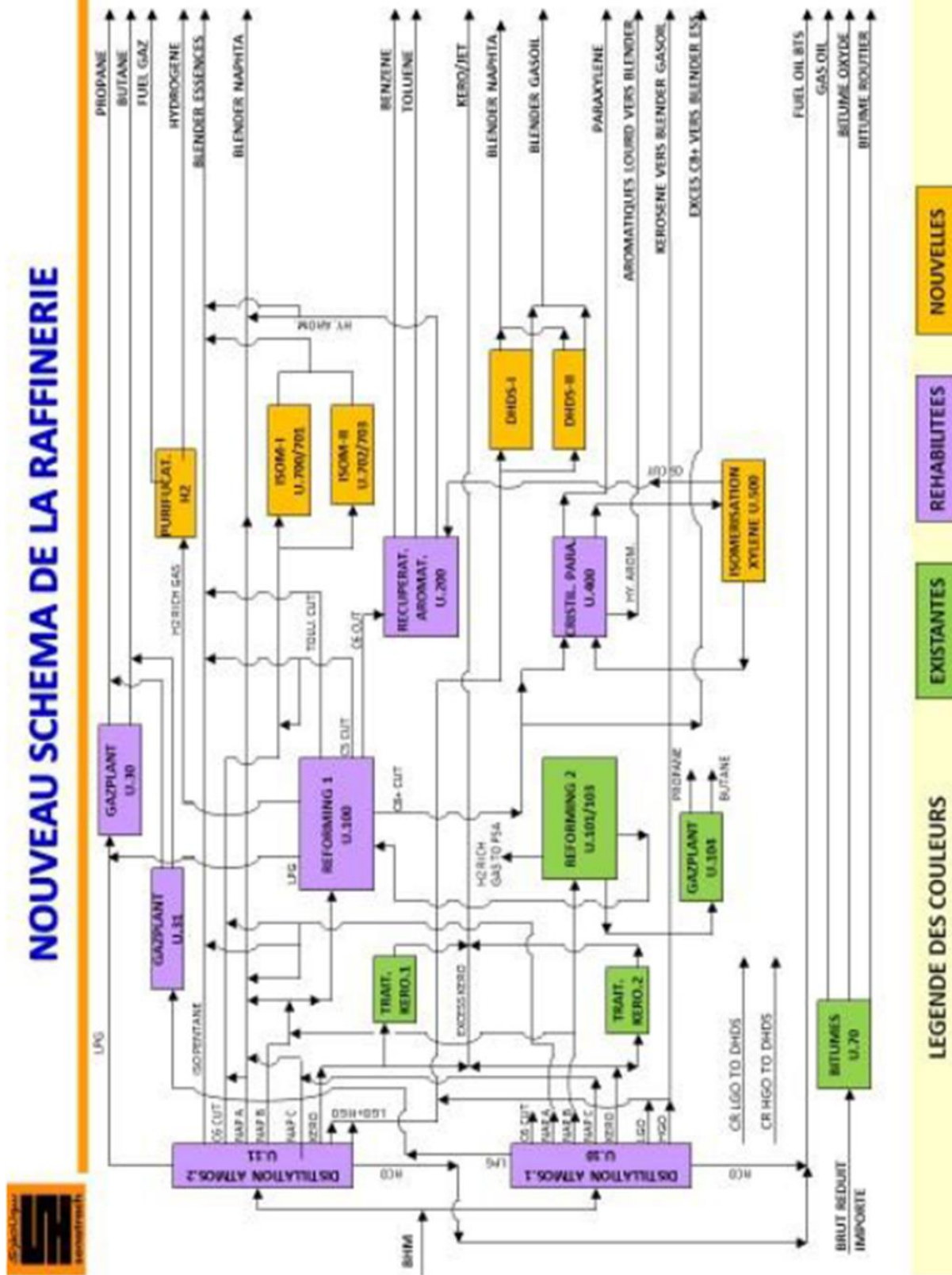


FIGURE I-3: SCHEMA DE LA RAFFINERIE RA1K⁽¹⁾

Remarque : Nous avons choisi de nous concentrer sur la colonne de distillation atmosphérique déisopentaniseur (700-C1) situé dans l'unité d'isomérisation pour notre étude.

I.3 L'unité d'isomérisation du naphta léger A :

La séparation par distillation et/ou l'utilisation de tamis moléculaires sur les paraffines normales non converties permet d'aller encore plus loin dans le processus d'isomérisation⁽⁵⁾. Les objectifs de l'isomérisation du naphta légère restent pertinents aujourd'hui car ils visent à augmenter l'indice d'octane du naphta tout en réduisant sa teneur en benzène. Ces objectifs sont d'autant plus importants pour les raffineries qui cherchent de nouvelles sources d'octane afin de compenser les pertes causées par l'utilisation du MTBE.⁽⁵⁾

- **MTBE :** est l'abréviation de méthyl tert-butyl éther. Il s'agit d'un composé chimique organique utilisé comme additif pour l'essence afin d'améliorer son indice d'octane. Le MTBE a été largement utilisé dans les années 1990, mais son utilisation a été réduite ces dernières années en raison de préoccupations environnementales liées à la contamination de l'eau souterraine.⁽⁴⁾

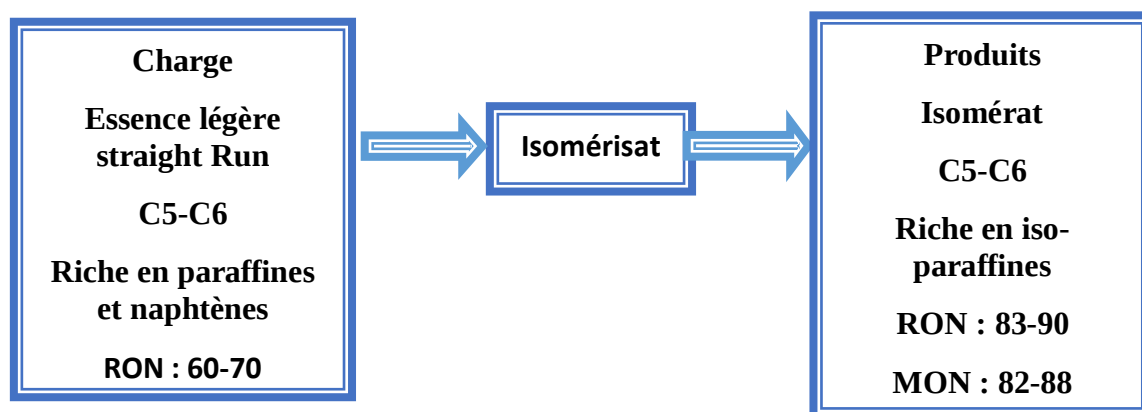


Schéma I.1 : Les charges et les produits de l'unité isomérisation du naphta A

Les unités 700/701 de la RA1K est divisée en deux sections : une section de prétraitement (hydrotraitement) et une section réactionnelle (isomérisation).⁽³⁾

I.3.1 Section hydrotraitement :

La Naphta A (léger) forme de la coupe C5-C6 est la charge d'alimentation de l'unité, provenant de l'unité Topping (distillation atmosphérique) pour être fractionnée et traitée dans la RA1K. Ce naphta contient des niveaux de contaminants qui peuvent être toxiques pour les catalyseurs d'isomérisation, ce qui rend le prétraitement essentiel. La section de prétraitement (hydrotraitement) a pour fonction d'éliminer les composants indésirables de la charge, tels que le soufre, l'azote et les métaux (As, Pb, Cu, Fe, Ni...), pour protéger le catalyseur d'isomérisation à base de platine. Il s'agit d'un traitement à l'hydrogène qui permet d'éliminer le soufre et l'azote sous forme d'hydrogène sulfuré (H₂S) et d'ammoniac (NH₃) volatils, tout en saturant les oléfines et en piégeant les métaux.⁽⁵⁾

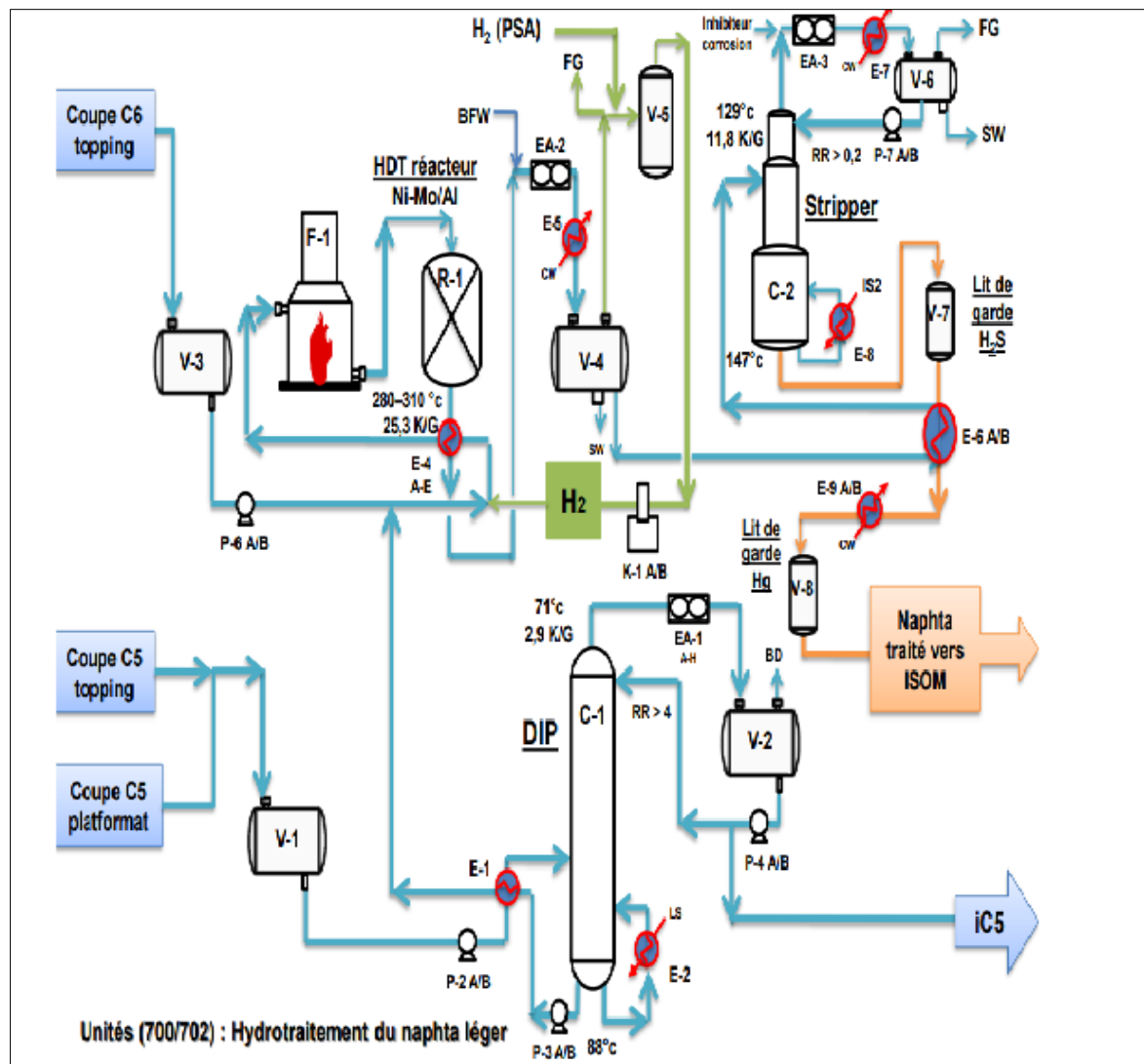


Figure I-4: Schéma simplifié de la section hydrotraitement

➤ Rôle de l'hydrotraitement

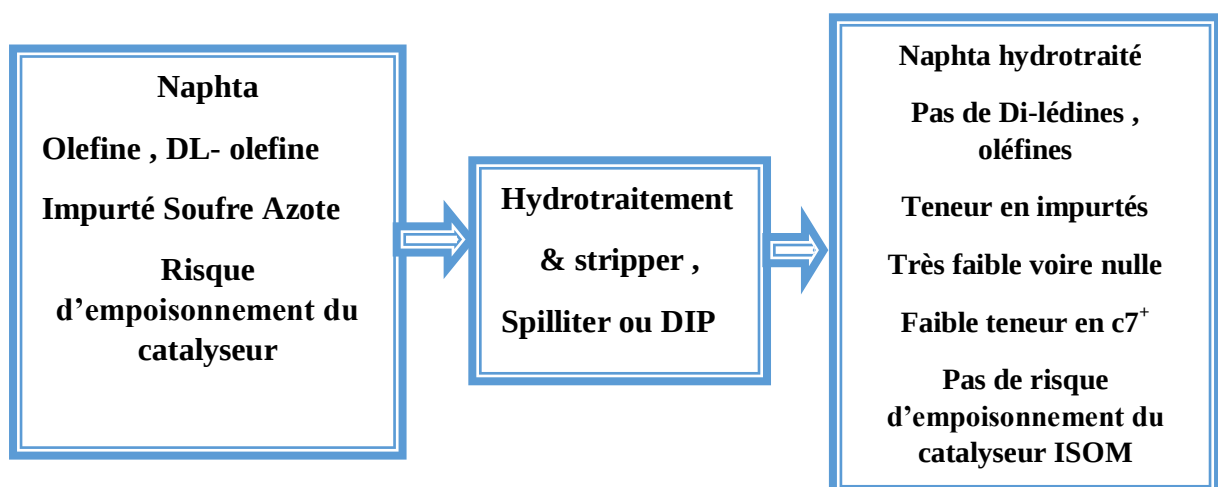


Schéma I.2 : Le but de l'hydrotraitement

I.3.2 Section isomérisation

La section d'isomérisation a pour rôle de convertir la charge de la section d'hydrotraitement dans les réacteurs en composé haut indice octane comme le 23DMB et le 22DMB puis grâce à des on améliore encore la qualité et la quantité du produit finale nous éliminons le chlore et les composons aux bas indices d'octane. ⁽⁵⁾

➤ Principe du procédé :

Le principe du procédé d'isomérisation est de transformer les hydrocarbures paraffiniques à chaînes droites normales (np) en hydrocarbures de la même famille à chaînes ramifiées iso-paraffines (ip), qui ont un indice d'octane plus élevé. Ce processus implique un réarrangement de la molécule, qui peut modifier la chaîne hydrocarbonée et les groupes alkyles qu'elle contient. Les isoméries de cycles et de position peuvent également se produire. Les catalyseurs à base de platine sont couramment utilisés pour accélérer cette réaction, qui peut être effectuée intentionnellement pour enrichir un mélange d'hydrocarbures en un type d'isomères ou un isomère spécifique. Le résultat final est un isomérat à indice d'octane amélioré, qui est volatile et peut être utilisé pour augmenter l'indice d'octane des fractions légères du carburant. ⁽⁴⁾

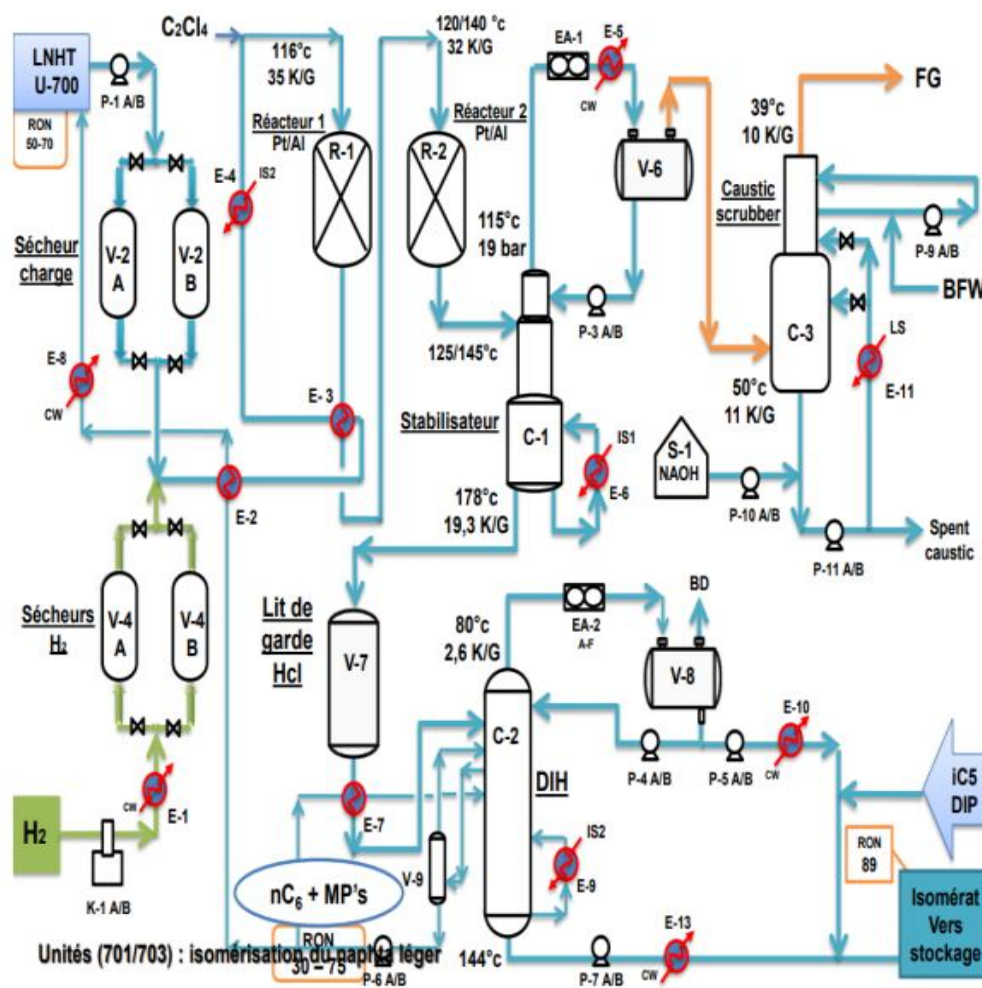


FIGURE I-5: PRINCIPE DE L'ISOMERISATION

➤ Caractéristiques du procédé :

Le processus d'isomérisation est un processus à lit fixe dont les catalyseurs à base de platine favorisent une forte activité et une grande sélectivité en composés branchés avec un indice d'octane élevé, il se caractérise aussi par :

- La charge et l'hydrogène de make-up passés à travers les sécheurs est exempté de toute trace d'eau et/ou de CO+CO₂.⁽⁵⁾
- L'opération est thermiquement modérée.
- Le benzène dans l'isomérat final est presque absent.
- La teneur en soufre est négligeable dans le produit isomérat .
- Les composés chlorés les plus couramment utilisés sont le tétrachlorure de carbone (CCl₄) ou le perchloroéthylène (C₂Cl₄) moins toxique.
- Les conditions opératoires sont : température 120 à 180°C, pression 2 à 3 kg/cm²-g et vitesse spatiale supérieure à celle du platforming 1 à 2 h⁻¹.⁽⁵⁾
- Le rapport d'hydrogène sur L'hydrocarbure est de 0,1 à 2, le RON du produit étant de 90 favorise l'isomérisation et réduit au minimum l'hydrocraquage⁽¹⁾

➤ Equipement du procédé L'unité isomérisation

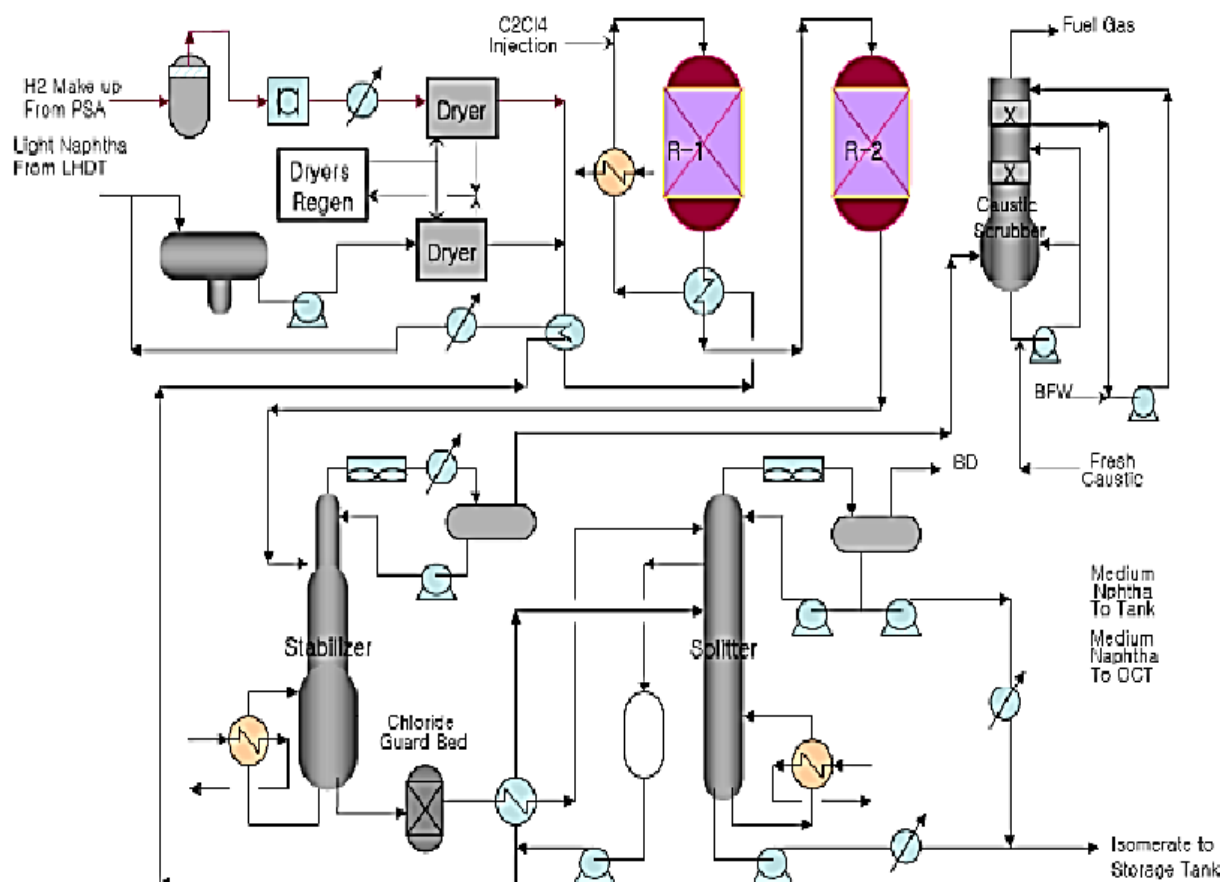


FIGURE I-6: LE SCHEMA DONNE UN APERÇU DES EQUIPEMENTS NECESSAIRES A L'ISOMERISATION.

➤ **L'unité isomérisation comprend les équipements suivants :**

- Section Séchage de la charge.
- Section Séchage de l'hydrogène.
- Section Mécanisme réactionnel (réacteur).
- Section Stabilisation.
- Section neutralisation et lavage des gaz acides (scrabeur).
- Section De-iso-hexanisation (DIH).

➤ **Importance et but du procédé d'isomérisation :**

L'isomérisation est une méthode intéressante pour produire des iso-paraffines à indice d'octane élevé à partir de l'essence légère (C5-C6). Les normes actuelles exigent des indices d'octane élevés et une faible teneur en aromatiques pour les essences. Bien que le RON des iso-paraffines ne soit pas très élevé, leur MON dépasse généralement les valeurs spécifiées, ce qui en fait une excellente option pour les raffineries. L'installation d'un procédé d'isomérisation dans une raffinerie peut augmenter l'octane de l'ensemble du pool essence de 1 à 3 points, en fonction des charges traitées et de la configuration du procédé.⁽⁴⁾

▪ **L'indice d'octane :**

Dans un moteur en bon état de marche, le processus de combustion implique une combustion rapide mais progressive du mélange air-carburant grâce à la propagation d'un front de flamme. Cependant, dans le cas d'un cliquetis, une partie de la charge subit une auto-inflammation instantanée et en masse, ce qui entraîne une augmentation locale très forte de la pression et une vibration de la masse gazeuse brûlée. Ce phénomène doit être évité car il peut causer des dégâts thermiques et mécaniques importants, tels que des problèmes de joint de culasse, de soupape et de piston.

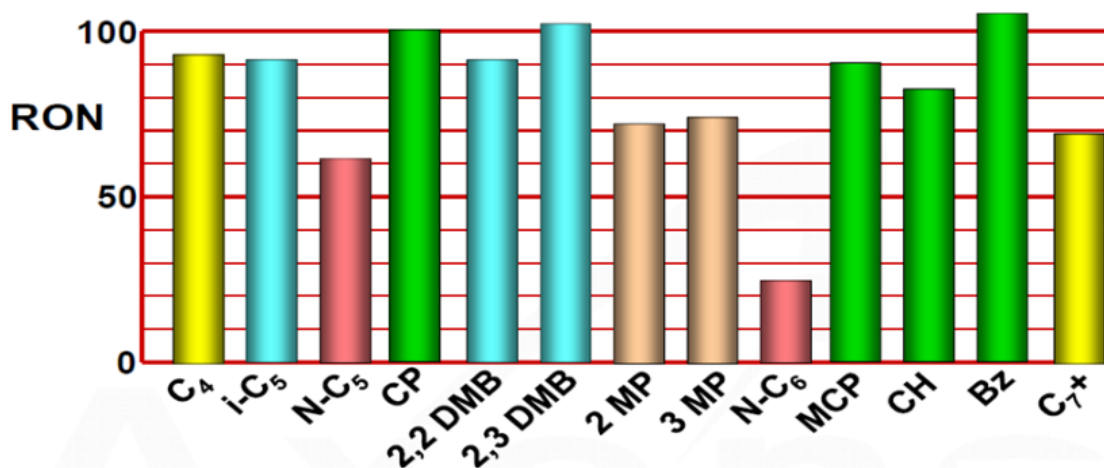


FIGURE I-7: REPARTITION DE L'INDICE D'OCTANE SELON LES COMPOSANTS

La qualité antidétonante du carburant est caractérisée par sa résistance à la détonation pendant la combustion.⁽⁴⁾

❖ **Haut indice d'octane :**

- Plus petite tendance à détoner durant la combustion.
- Qualité du carburant plus grande pour les moteurs de voiture.

❖ **Bas indice d'octane :**

- Plus grande tendance à détoner durant la combustion.
- Création d'ondes de pression de choc et donc un « Knock » audible.
- Qualité du carburant plus basse causant des dommages au moteur

I.4 Fonction principale de la colonne déisopentaniseur 700-C1 :

La charge de la colonne 700-C1 prévenant de la section hydrotraitement ; en deux coupe iC5 et C6L'essence légère (C5- C6) provenant de la distillation atmosphérique est utilisé dans l'industrie pétrochimique et les paramètres de fonctionnement de cette colonne sont les suivants⁽¹⁾. Design température 110 °C ; Température de service : 66 °C (Tête) / 99.3 °C (fond) Pression de design 4.5 Kg/cm² ; Pression de service : 2.9 Kg/cm² (Tête) / 3.5Kg/cm² (fond)⁽¹⁾



FIGURE I-8: COLONNE DEISOPENTANISEUR 700-C1

I.5 CONCLUSION :

Dans le présent chapitre, on a eu une vue générale sur la raffinerie RA1K, qui est conçue essentiellement pour la distillation du pétrole brut ; parmi les unités de la raffinerie , l'unité d'isomérisation (700-701-702) dont se situe la colonne déisopentaniseur qui a un rôle névralgique dans le traitement des essences :

le procédé d'isomérisation est le meilleur moyen de booster l'octane des naphtas légers qui permet d'atteindre les nouvelles spécifications d'essence Jusqu'à 88% de RON .

II. Chapitre 02:Aérodynamique des colonnes de distillation

II.1 INTRODUCTION :

Ce chapitre porte sur les bases des colonnes de distillation, qui jouent un rôle essentiel dans les secteurs de la pétrochimie, de la chimie et du raffinage. De plus, nous nous pencherons sur l'étude de l'aérodynamique de la colonne, en examinant les principaux facteurs qui impactent la dynamique des fluides à l'extérieur de celle-ci.

Dans la première partie, nous nous concentrerons sur une description générale des composants qui constituent une colonne de distillation, sans entrer dans les détails de leur fonctionnement.

Dans la deuxième partie, nous explorerons les principes de base de l'aérodynamique appliquée aux installations fixes, en mettant l'accent sur les colonnes de distillation. Nous aborderons les forces qui agissent sur une colonne de distillation, telles que la pression différentielle, la résistance au flux et les phénomènes d'écoulement. De plus, nous étudierons les principaux facteurs qui affectent l'aérodynamique d'une colonne et leurs implications sur les performances globales de l'installation.

II.2 Définition de la distillation :

La distillation du pétrole brut est réalisée en deux étapes complémentaires. Une première distillation, dite atmosphérique (réalisée à pression atmosphérique), permet de séparer les gaz, les essences et le naphta (coupes légères), le kérosène et le gazole (coupes moyennes) et les coupes lourdes. Les résidus issus de la distillation atmosphérique subissent une deuxième distillation, dite sous vide (colonne dépressurisée), afin de récupérer des produits moyens supplémentaires ayant une valeur commerciale.⁽²⁾

II.2.1 Distillation atmosphérique :

L'opération consiste à séparer les différents composants d'un mélange liquide en fonction de leur température d'évaporation. Le pétrole brut est injecté dans une grande tour de distillation, haute de 60 mètres et large de 8 mètres environ, où il est chauffé à environ 400°C. Les différents hydrocarbures contenus dans le pétrole brut sont vaporisés : d'abord les légers, puis les moyens, et enfin une partie des lourds. La température décroît au fur et à mesure que l'on monte dans la tour, permettant à chaque type d'hydrocarbure de se liquéfier afin d'être récupéré. Les plus légers sont récupérés tout en haut, et les plus lourds restent au fond de la tour.⁽²⁾

II.2.2 Distillation sous vide :

L'opération consiste à séparer, sur le même principe que la distillation atmosphérique, les produits lourds des résidus de produits moyens en les soumettant à une deuxième phase de distillation dite « sous vide ». Une colonne plus petite est fermée puis dépressurisée. Cette chute de pression permet de récupérer plus facilement les produits lourds dont la température d'ébullition est abaissée. Du gazole est récupéré en haut de la colonne et du fioul lourd à sa base. Les résidus de cette distillation sous vide sont récupérés en vue de produire des lubrifiants.⁽²⁾

II.3 L'amélioration de la qualité des produits dans les unités de raffinage

Afin de répondre notamment à la demande importante en produits légers sophistiqués (40% de la demande totale de produits raffinés), les coupes subissent un certain nombre de transformations et d'améliorations qui s'effectuent au sein de plusieurs unités de raffinage. Les raffineries européennes ont dû s'adapter à la croissance de la demande de gazole par rapport à l'essence.⁽⁸⁾

II.3.1 Coupes lourdes :

Environ 40% du pétrole brut les résidus sous vide sont transformés par viscoréduction ou « vis Breaking ». Cette opération s'effectue en phase liquide entre 450°C et 500°C sous une pression comprise entre 5 et 20 bars. Il s'agit d'un craquage thermique. Il permet d'obtenir des bitumes. Les distillats sont transformés par craquage catalytique. Cette opération s'effectue à haute température (500°C), en présence d'un catalyseur (substance favorisant les réactions chimiques). Ce traitement permet d'obtenir des fiouls lourds.⁽⁸⁾

II.3.2 Coupes moyennes :

Environ 35% du pétrole brut, est du gazole léger et le gazole lourd mais aussi une partie des kérosènes sont améliorés par hydrodésulfuration. Cette opération est un traitement à l'hydrogène dont le but est de réduire la teneur en soufre de la coupe gazole.⁽⁸⁾

La coupe de kérosène issue d'un brut contenant du soufre est amélioré par hydrotraitement. En présence de l'hydrogène contenu dans l'eau, de l'hydrogène sulfuré se forme et sépare ainsi le soufre de la coupe de kérosène. Il permet d'obtenir du kérosène adouci. Le traitement au Mérox permet, par un procédé à la soude, de rendre inoffensif le soufre des kérosènes peu sulfurés.

II.3.3 Coupes légères :

Entre 20 et 25% du pétrole brut, les essences lourdes sont améliorées par le procédé de craquage catalytique permettant d'obtenir des supercarburants pour automobile (SP95, SP98, etc.).⁽⁸⁾

En vue d'obtenir ces mêmes supercarburants, les essences légères sont améliorées par :

- Isomérisation : procédé qui consiste à compenser une perte en indice d'octane due à la réduction légale de la teneur en plomb des essences ;
- Alkylation : procédé inverse du craquage qui conduit à l'augmentation du nombre d'atomes de carbone d'un composé organique.

Le naphta est amélioré par hydrotraitement afin d'en extraire le soufre. Les gaz qu'il contient sont ensuite éliminés dans un « stabilisateur », puis séparés en deux fractions.

Le naphta léger est stocké pour servir de mélange à la fabrication de carburants et le naphta lourd permet d'alimenter l'unité de reformage catalytique. La coupe de naphta hydrotraitée peut également être envoyée dans un vapocraqueur si elle est utilisée pour la pétrochimie.

Les gaz combustibles vont au four de la raffinerie.

Le propane et le butane (GPL) ne nécessitent pas de transformation ou d'amélioration particulière.⁽⁸⁾

II.4 Dimensionnement Des Colonnes :

II.4.1 Puissance de la colonne :

Le nombre de plateaux théoriques de la colonne (indiqués en jaune sur la représentation graphique de McCabe) correspond à la région où le liquide en ébullition et la vapeur émise sont en équilibre, quel que soit le système utilisé.⁽²⁾

- On peut déterminer le nombre de plateaux théoriques en traçant le diagramme de phase (liquide-vapeur) du mélange en fonction de la température. Lorsque la colonne fonctionne sous vide, le nombre de plateaux théoriques diminue, ce qui signifie que la colonne devient moins efficace.⁽⁸⁾

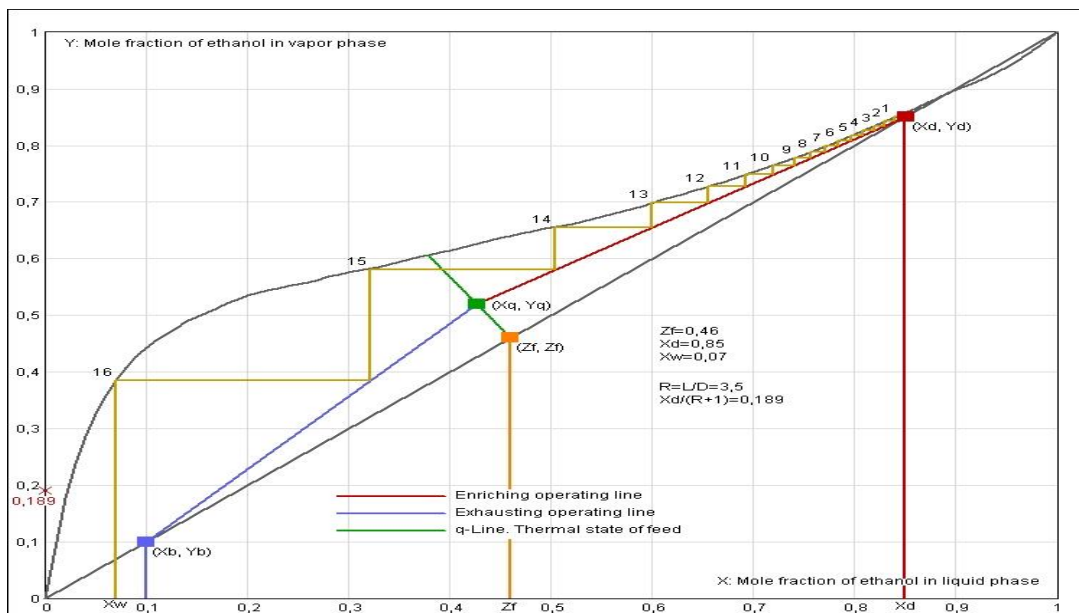


FIGURE II-1: REPRESENTATION GRAPHIQUE DE MCCABE

II.4.2 Débit :

Le débit de vapeur dans la colonne de distillation, exprimé en volume de vapeur par unité de temps, dépend du diamètre de la colonne. Lorsque la colonne fonctionne sous vide, le débit doit être diminué pour maintenir un nombre de plateaux théoriques constant. On ne peut pas augmenter le débit au-delà d'une certaine limite sous peine de provoquer un engorgement de la colonne. Cela se produit lorsque les vapeurs empêchent le liquide de retourner vers le bouilleur.

II.4.3 Hauteur équivalente à un plateau théorique :

La H.E.P.T est évaluée empiriquement et peut varier considérablement pour une colonne donnée en fonction des conditions d'utilisation.⁽²⁾

II.4.4 Retenue de la colonne ou volume de rétention :

- Retenue dynamique :** Le volume de rétention en fonctionnement correspond au volume minimal de liquide retenu dans la colonne et dans ses parties annexes pendant

la distillation. Il est calculé en additionnant le liquide de reflux dans la colonne, le liquide dans le condenseur et le système de prélèvement, ainsi que le liquide correspondant à la vapeur présente dans la colonne.

- **Retenue statique :** La quantité de liquide retenue dans la colonne après la fin de la distillation détermine la qualité de la séparation obtenue, car elle influe sur la précision de la séparation. ⁽²⁾

II.4.5 Efficacité :

Se mesure par le rapport entre le nombre de plateaux théoriques et le nombre de plateaux réels, qui dépendent du taux de reflux ⁽²⁾ et de la verticalité de la colonne pour une colonne spécifique.

II.4.6 Finesse :

La finesse est une caractéristique qui permet de comparer des colonnes ayant la même efficacité et le même pouvoir de séparation pour un mélange donné, en obtenant un pourcentage de pureté identique du produit final. La colonne ayant la plus grande finesse est celle ayant le plus faible volume de rétention.

II.4.7 Pertes de charge :

Les pertes de charge correspondent à la force que la vapeur doit surmonter pour circuler dans la colonne. Ces pertes sont causées par les obstacles que la vapeur rencontre en montant, notamment le liquide de reflux et les changements de direction liés à la conception de la colonne. Si la chute de pression, mesurée par la différence de pression entre le pied et la tête de colonne : $(\Delta P = P_{\text{pied de colonne}} - P_{\text{tête de colonne}})$ est importante, elle peut entraîner des variations de la température d'ébullition dans la colonne.

II.4.8 Canalisation du liquide :

Le phénomène de canalisation du liquide, ou "liquid channeling", se produit lorsque le liquide s'écoule sur une surface limitée de la colonne sans couvrir l'ensemble de la surface de garnissage. Ce phénomène peut être causé par :

- Le débit du gaz est trop faible ;
- Le distributeur du liquide ne répartit pas le liquide de façon homogène
- Le garnissage est mal positionné dans la colonne. ⁽²⁾

II.5 Les différents types de colonne :

II.5.1 Les Colonnes À Plateaux :

Les plateaux de distillation sont des composants qui occupent toute la section de la colonne et sont régulièrement espacés pour retenir une partie du liquide qui s'écoule de haut en bas dans la colonne, tout en permettant une agitation de la vapeur ou du gaz qui circule en sens inverse de bas en haut.

Les plateaux peuvent être :

- **À courants croisé** : le liquide s'écoule horizontalement sur chaque plateau et donc perpendiculairement au gaz. Le liquide passe d'un plateau vers l'autre par des descentes .
- **À contre-courant** : ou "dual flow" , ce sont des plateaux perforés, dont les trous sont suffisamment gros pour permettre le passage simultané du liquide vers le bas et la vapeur vers le haut.

Les plateaux sont tous constitués de :

- Une sole horizontale permettant de retenir le liquide
- Un dispositif permettant le barbotage de la vapeur ascendante

Les plateaux à courants croisés possèdent en plus :

- Un déversoir et descente pour faire transiter le liquide d'un plateau vers le plateau immédiatement inférieur.
 - Des barrages en sortie pour maintenir un niveau liquide suffisant sur le plateau, et parfois en entrée pour empêcher le passage à contre-courant de gaz par les descentes.
- (2)

II.5.2 Types de plateaux

➤ Les plateaux à cloches (bubble cap trays) :

Les plateaux à cloches sont parmi les premiers types de plateaux utilisés dans l'industrie depuis le 19ème siècle. Ils sont équipés d'une sole percée de trous avec une cheminée et une cloche surmontant chaque trou. La base de la cloche est dotée de fentes pour faire barboter le gaz dans le liquide. Bien qu'ils soient encore utilisés aujourd'hui pour maintenir une efficacité élevée à très faible débit liquide ou pour gérer des variations importantes du débit de gaz ou de vapeur, leur conception et installation doivent être correctes pour éviter les fuites de liquide. En raison de la nécessité d'un niveau de liquide important, les plateaux à cloches ont une perte de charge relativement élevée et sont coûteux à construire.



FIGURE II-2: PLATEAU A CLOCHE

➤ Les plateaux perforés

sont peu coûteux à construire, mais leur efficacité est limitée à une plage étroite de débits proches des conditions pour lesquelles ils ont été dimensionnés. En cas d'encrassement du service, ces plateaux peuvent être conçus sans descente (downcomer), de sorte que le liquide

circule uniquement à travers les perforations du plateau, créant ainsi des plateaux à double circulation (Dual flow trays). Cependant, cette conception peut réduire leur efficacité.⁽²⁾

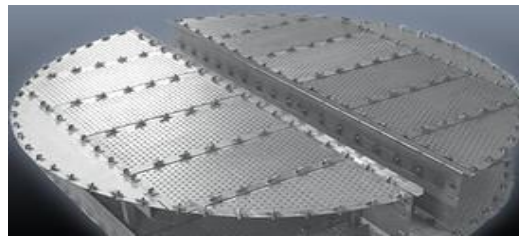


FIGURE II-3: PLATEAU PERFORE

➤ **Les plateaux à clapets flottants (Floating valve trays) :**

Les plateaux à clapets flottants (Floating valve trays) sont particulièrement adaptés aux applications avec une large plage de débit de fonctionnement. Ils sont capables de s'ajuster au débit de gaz, ce qui permet de maintenir une efficacité élevée sur une plage de fonctionnement plus large que les plateaux perforés (Sieve trays). Les clapets peuvent varier en forme selon les fournisseurs, qu'ils soient ronds ou rectangulaires, et peuvent créer un effet venturi pour réduire leur perte de charge. Ils peuvent également être enfermés dans une cage (Caged valves).



FIGURE II-4: PLATEAUX A CLAPETS FLOTTANTS

➤ **Les plateaux à clapets fixes (Fixed valve trays) :**

Les plateaux à clapets fixes⁽²⁾ combinent les caractéristiques des plateaux perforés et des clapets flottants en orientant le flux gazeux horizontalement à travers le plateau. Ils offrent une plage de débits plus large que les plateaux perforés et sont plus résistants que les clapets flottants.

➤ **Disfonctionnement des colonnes à plateaux :**

Les phénomènes redoutés qui peuvent dégrader l'efficacité du plateau, et pour lesquels une conception adaptée est nécessaire sont :

- L'entraînement excessif de liquide avec la vapeur s'échappant du plateau
- Le Pleurage de liquide à travers le dispositif de barbotage (pour les plateaux à courants croisés)
- Le Moussage excessif du liquide sur le plateau, traversé par le gaz
- L'engorgement des descentes par du liquide ou de la mousse
- L'encrassement par des dépôts solides ou des polymérisations
- Les Passages préférentiels de vapeur ou de liquide

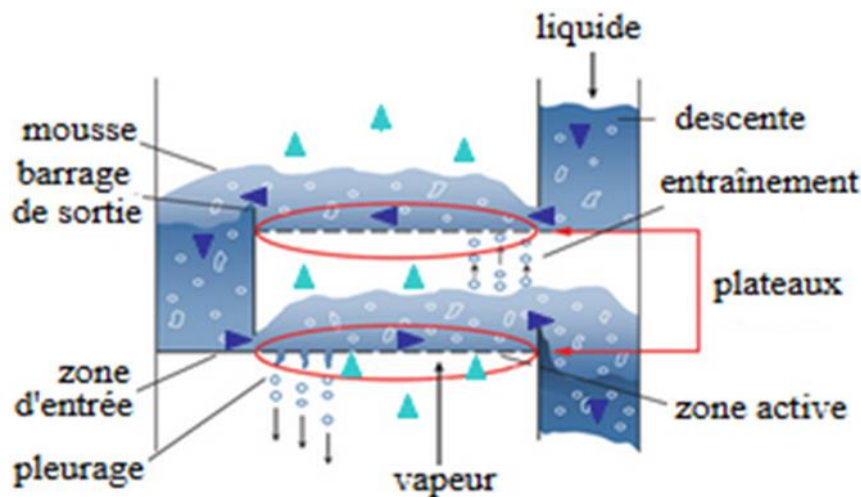


FIGURE II-5: DISFONCTIONNEMENT DES COLONNES A PLATEAUX

II.5.3 Colonne a garnissage :

➤ Garnissages vrac :

Ce sont les plus anciens ; ils ont été proposés dans les années antérieures à 1960. Ils sont proposés par une multitude de fournisseurs. La littérature se rapportant à leurs performances est abondante. Ils peuvent être en métal, plastique ou matériau céramique. Ils offrent une efficacité correspondant à 1 ou 2 plateaux théoriques au mètre.⁽¹⁰⁾

La dimension du garnissage a un impact sur le dimensionnement de la colonne :

- Les garnissages de grande dimension permettent un débit plus grand dans un diamètre donné de colonne
- Les garnissages de petite dimension permettent une plus grande efficacité dans une hauteur donnée de colonne⁽¹⁰⁾

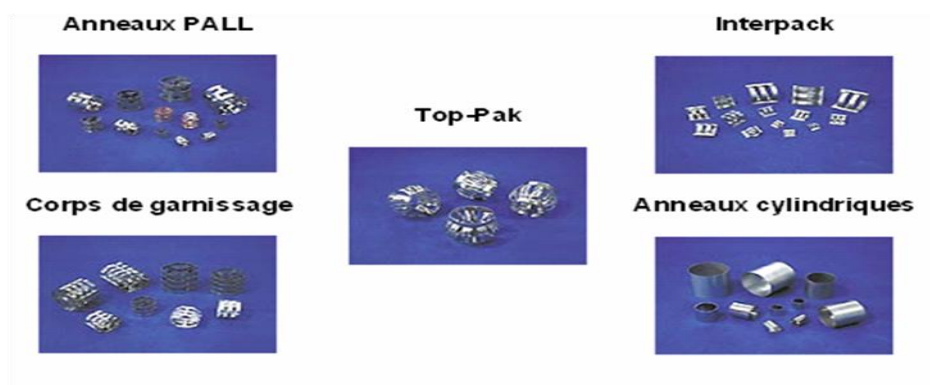


FIGURE II-6: QUELQUE CORPS DE GARNISSAGE EN METAL

➤ Garnissages structurés :

Les garnissages structurés⁽¹⁰⁾ sont des agencements complexes de tôles pliées formant un matelas, offrant une très grande efficacité (3 à 5 plateaux par mètre) avec une grande capacité et une faible perte de charge. Bien qu'ils soient généralement en métal, ils peuvent également

être en plastique ou en céramique. Pour les débits très élevés, comme le refroidissement de gaz, ou les services très encrassant, tels que le lavage de gaz chargés, des grilles ajourées peuvent être empilées dans la colonne pour créer un garnissage. Ce type de garnissage offre une capacité bien supérieure à celle des plateaux ou des garnissages en vrac, avec une faible perte de charge (2 mbar par mètre). Cependant, sa flexibilité est limitée (au plus 2/1).⁽¹⁰⁾

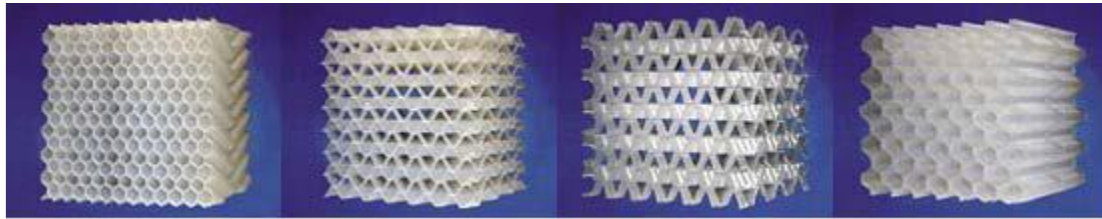


FIGURE II-7: GARNISSAGE STRUCTURE

➤ **Caractéristiques des garnissages :**

Les caractéristiques importantes d'un garnissage sont :

- La surface spécifique dont dépend l'efficacité du garnissage⁽¹⁰⁾
- La fraction de vide qui influera sur la perte de charge et donc la capacité de la colonne.

II.5.4 Applications typiques :

Particularité du système	Garnissage vrac	Garnissage structuré	Plateaux classiques	Plateaux haute capacité
faible perte de charge par étage théorique	+	++	-	-
capacité maximum	+	++	-	+
efficace à haute pression	+	-	+	++
efficace à faible pression	+	++	+	-
efficace à faible trafic liquide	+	++	-	--
efficace à trafic liquide élevé	-	--	+	++
faible temps de séjour	+	++	--	--
transfert de chaleur	+	++	+	+
moussant	+	+	-	-
encrassant	--	-	++	++
non métallique	++	+	--	--
maintenance aisée	-	--	++	++
faible investissement	+	--	++	-

FIGURE II-8: APPLICATIONS TYPIQUES DU DIFFERENTS TYPES DE COLONNES

II.6 Les Auxiliaires :

Le bon fonctionnement d'une colonne nécessite la présence de différents éléments sont :

II.6.1 Vannes Et Soupapes :

➤ Des vannes de sectionnement :

Les vannes de sectionnement des colonnes permettent d'isoler une partie d'une colonne de distillation pour faciliter les travaux de maintenance ou de réparation. Elles sont situées aux points critiques de la colonne et peuvent être actionnées manuellement ou automatiquement en fonction des besoins. Ces vannes sont disponibles dans différentes tailles et matériaux pour répondre aux exigences spécifiques de chaque application de distillation ou de séparation.

➤ Des vannes de décompression rapide :

Les vannes de décompression rapide des colonnes sont spécialement conçues pour évacuer rapidement et en toute sécurité les fluides sous pression dans les colonnes de distillation pour prévenir les risques d'explosion ou de dommages aux équipements. Elles sont situées à des points critiques dans la colonne.⁽²⁾

➤ Des vannes manuelles d'isolement :

Les vannes manuelles d'isolement installées dans les colonnes de distillation ont pour fonction d'isoler manuellement une section de la colonne afin de faciliter les travaux de maintenance ou de réparation. Elles sont positionnées aux endroits stratégiques de la colonne et nécessitent une action manuelle pour être activées.⁽²⁾



FIGURE II-9: VANNE MANUELLE

➤ Des vannes auto de régulation de pression :

Des dispositifs qui permettent de maintenir une pression constante à un point spécifique de la colonne de distillation en ajustant automatiquement la pression interne. Elles sont cruciales pour la stabilité du processus de distillation et pour assurer la qualité du produit final. Ces vannes sont placées de manière stratégique dans la colonne.⁽²⁾



FIGURE II-10: VANNE AUTO

➤ **Des vannes auto de régulation de débit :**

Ces vannes contribuent à une séparation efficace des composants en maintenant un débit constant à un point précis de la colonne de distillation grâce à un ajustement automatique du débit de fluide. ⁽²⁾

➤ **Des vannes auto de régulation de niveau :**

Ces vannes sont placées de manière stratégique dans la colonne de distillation pour maintenir un niveau de liquide stable. Elles ajustent automatiquement l'entrée et la sortie du liquide pour garantir la stabilité du processus de distillation et la qualité du produit final. ⁽²⁾

➤ **Des vannes auto de régulation de température :**

Ces dispositifs régulent automatiquement l'énergie thermique pour maintenir une température constante dans la colonne de distillation. Leur taille et leur matériau peuvent être adaptés aux exigences spécifiques de chaque application de distillation ou de séparation.

➤ **Des Soupapes PSV :**

Les soupapes de sécurité sont conçues pour limiter la pression maximale dans un appareil en évacuant tout excès d'énergie du système. Elles fonctionnent de manière exceptionnelle, avec une position normale fermée, et évacuent généralement un débit gazeux, car cela permet d'évacuer plus d'énergie en phase gazeuse qu'en phase liquide. Pour garantir leur bon fonctionnement, elles sont souvent doublées.

II.7 Les Instruments :

Les instruments de mesure et de contrôle sont essentiels pour surveiller et contrôler les paramètres clés de la colonne de distillation, tels que la pression, la température, le débit et le niveau. Ils sont placés stratégiquement pour permettre une surveillance en temps réel et une intervention rapide si nécessaire, afin de garantir une séparation efficace des composants et une production de haute qualité. ⁽²⁾

II.7.1 Régulateur de niveau :

Afin d'éviter que le niveau de liquide dans la colonne de distillation ne soit trop élevé ou trop bas, des vannes de contrôle de niveau liquide (vannes de décharge) sont utilisées en

conjonction avec des contrôleurs de niveau liquide pour réguler le niveau de liquide dans l'équipement. Les colonnes sont équipées de niveaux à vue pour permettre à l'opérateur de vérifier le niveau de liquide.



FIGURE II-11: TRANSMETTEUR ET CONTROLEUR DE NIVEAU

II.7.2 Régulateur de pression :

Les colonnes de distillation doivent être contrôlées pour maintenir une pression constante. Pour ce faire, des régulateurs de pression sont utilisés pour agir sur la vanne de contrôle de pression et maintenir une pression stable dans l'équipement. En outre, des manomètres sont souvent présents sur les colonnes pour mesurer la pression.



FIGURE II-12: TRANSMETTEUR DE PRESSION

II.7.3 Contrôleur de température :

Pour surveiller la température, des transmetteurs de température et des thermomètres sont installés.



FIGURE II-13: TRANSMETTEUR DE TEMPERATURE

II.7.4 Régulateur de débit :

Des débitmètres sont installés à l'entrée et à la sortie des colonnes pour mesurer le débit et évaluer l'efficacité du fonctionnement de l'équipement. Ces débitmètres varient en termes de type, selon leur emplacement, le type de produit qu'ils mesurent et la précision requise pour le comptage de l'effluent.



FIGURE II-14: DEBITMETRE AVORTEX

II.7.5 Maintenance des colonnes de distillation

La maintenance des colonnes de distillation est une étape cruciale dans l'industrie. Son objectif principal est d'assurer leur stabilité, leur efficacité opérationnelle et leur sécurité. Au fil du temps, les colonnes de distillation peuvent être soumises à des conditions environnementales sévères, à des produits chimiques corrosifs, à des fluctuations de température, à des vibrations et à d'autres facteurs qui peuvent entraîner une usure, des fuites ou des défaillances.⁽²⁾

Voici les principales étapes de maintenance :

- 1. Inspection régulière :** Il est important d'effectuer des inspections régulières de la colonne de distillation pour détecter tout signe de corrosion, de fuites ou d'usure. Les inspections peuvent être visuelles, utilisant des techniques non destructives telles que la radiographie ou l'utilisation de capteurs pour mesurer l'épaisseur des parois.
- 2. Maintenance préventive :** Mettez en place un programme de maintenance préventive pour effectuer des actions régulières visant à prévenir les problèmes potentiels. Cela peut inclure le nettoyage des équipements, le remplacement des joints d'étanchéité, le graissage des composants mobiles, etc.
- 3. Réparation des dommages :** Si des dommages sont détectés lors des inspections, il est essentiel de les réparer rapidement pour éviter qu'ils ne s'aggravent et compromettent la stabilité de la colonne. Les dommages peuvent être causés par la corrosion, les vibrations, les températures élevées, etc.
- 4. Surveillance des vibrations :** Les vibrations excessives peuvent affecter la stabilité de la colonne de distillation. Utilisez des capteurs de vibrations pour surveiller en continu les niveaux de vibration et identifiez les problèmes potentiels tels que des déséquilibres dans les rotors, des supports défectueux, etc.

5. Contrôle des températures : Les températures élevées peuvent entraîner une dégradation des matériaux et une dilatation des composants, ce qui peut affecter la stabilité de la colonne. Assurez-vous que les systèmes de contrôle des températures, tels que les échangeurs de chaleur, fonctionnent correctement et surveillez les températures de manière régulière.

6. Formation du personnel : Il est important de former le personnel chargé de la maintenance des colonnes de distillation afin qu'ils comprennent les procédures appropriées, les normes de sécurité et les meilleures pratiques. Cela contribuera à assurer une maintenance efficace et sécurisée de la colonne.

II.8 Généralité Sur L'Aérodynamique :

II.8.1 Définition :

L'aérodynamique est une branche de la dynamique des fluides qui se concentre principalement sur la compréhension et l'analyse des flux d'air, ainsi que de leurs impacts potentiels sur des objets solides environnants. On utilise le terme "aérodynamisme" pour décrire un objet en mouvement dans l'air. On peut classer l'aérodynamique en deux catégories : l'aérodynamique incompressible et l'aérodynamique compressible, en fonction du nombre de Mach, qui représente le rapport entre la vitesse de l'écoulement et celle du son.⁽⁷⁾

II.8.2 L'aérodynamique compressible

est l'étude des écoulements de fluides compressibles à des vitesses élevées, prenant en compte les variations de densité et de pression qui se produisent lorsque le fluide est comprimé ou dilaté à des vitesses supersoniques (vitesse du fluide est supérieure à la vitesse du son

(Mach > 1)) ou hypersoniques.(Mach > 5).⁽⁷⁾

II.8.3 L'aérodynamique incompressible :

L'aérodynamique incompressible est une branche de l'aérodynamique qui étudie le comportement des fluides, principalement de l'air, lorsque les variations de densité dues à la compression sont négligeables. Cette discipline utilise les équations de Navier-Stokes incompressibles pour décrire le mouvement des fluides. Elle est couramment utilisée pour analyser les écoulements à basse vitesse autour d'ailes d'avions, dans les conduites, autour de véhicules terrestres, d'objets et dans d'autres problèmes aérodynamiques.⁽⁷⁾

Les principales caractéristiques de l'aérodynamique incompressible sont les suivantes :

- **Incompressibilité :** La densité du fluide est considérée comme constante, ce qui signifie que les variations de densité dues à la compression sont négligeables. Par conséquent, l'équation de conservation de la masse ($\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$) peut être utilisée pour représenter l'incompressibilité du fluide.
- **Vitesse subsonique :** Les vitesses des fluides sont inférieures à la vitesse du son (Mach < 0,3).. Cela signifie que les effets de compressibilité, tels que les ondes de choc, sont absents.
- **Écoulement irrotationnel :** Dans l'aérodynamique incompressible, on suppose généralement que le fluide est irrotationnel, c'est-à-dire que la vorticité est

négligeable. Cela simplifie les équations de mouvement en permettant d'utiliser le potentiel de vitesse pour décrire le champ de vitesse.

II.8.4 Modèle mathématique :

L'aérodynamique est une science qui fait partie de la mécanique des fluides, appliquée au cas particulier de l'air. À ce titre, les modèles mathématiques qui s'appliquent sont :

- Équations d'Euler ou de fluide parfait, lorsque les effets visqueux sont négligeables
- Équation d'état du gaz (modèle du gaz parfait pour l'air).
- Équations de Navier-Stokes lorsque les effets visqueux ne sont pas négligeables. Le paramètre principal quantifiant ces effets est le nombre de Reynolds .⁽⁷⁾

➤ Les équations de Navier-Stokes :

La deuxième loi de Newton énonce que le taux de changement de quantité de mouvement d'une particule de fluide est égal à la somme des forces agissant sur elle, incluant celles de surface et du corps. Si cette loi est appliquée à un fluide newtonien (dont la contrainte visqueuse est proportionnelle aux taux de déformation), les équations qui en résultent sont appelées les équations de Navier-Stokes.⁽¹¹⁾

Les équations de NAVIER-STOKES sont formulées en termes de conservation de la quantité de mouvement et de la conservation de la masse. Elles s'expriment comme suit :⁽¹¹⁾

- **Conservation de la quantité de mouvement**

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{\nabla P}{\rho} + \nu \nabla^2 \mathbf{u}$$

avec

$\mathbf{u}$: le champ de vecteurs de vitesse du fluide ($\mathbf{u} = (u, v, w)$ pour un fluide en trois dimensions)

t : le temps

P : la pression.

ρ : la masse volumique du fluide.

ν : la viscosité cinématique du fluide.

∇ : représente l'opérateur nabla, qui indique le gradient spatial.

Où :

$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t}$ représente la variation temporelle de la vitesse

$(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u}$ correspond à l'advection non linéaire

$\frac{\nabla P}{\rho}$ est la force de pression

$\nu \nabla^2 \mathbf{u}$ représente la diffusion visqueuse

- **Équation de continuité :**

Le principe de conservation de la masse indique que le taux d'augmentation de la masse dans un élément fluide est égal au taux net de flux de masse dans un élément fluide. L'application de ce principe physique à un résultat du modèle de fluide dans une équation différentielle appelés équation de continuité . L'équation de continuité pour un fluide incompressible peut être écrite comme suit : ⁽¹¹⁾

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

L'équation de conservation de la masse indique que la divergence du champ de vitesse ($\nabla \cdot \mathbf{u}$) est nulle, ce qui traduit l'incompressibilité du fluide.

Les équations de Navier-Stokes incompressibles sont utilisées pour résoudre les problèmes d'aérodynamique incompressible, Les solutions de ces équations permettent de prédire les forces, les moments, les vitesses, les pressions et les débits du fluide dans des conditions incompressibles.

La résolution des équations de Navier-Stokes est actuellement le seul moyen de simuler le comportement complexe d'un écoulement réel instationnaire et visqueux . ⁽¹¹⁾

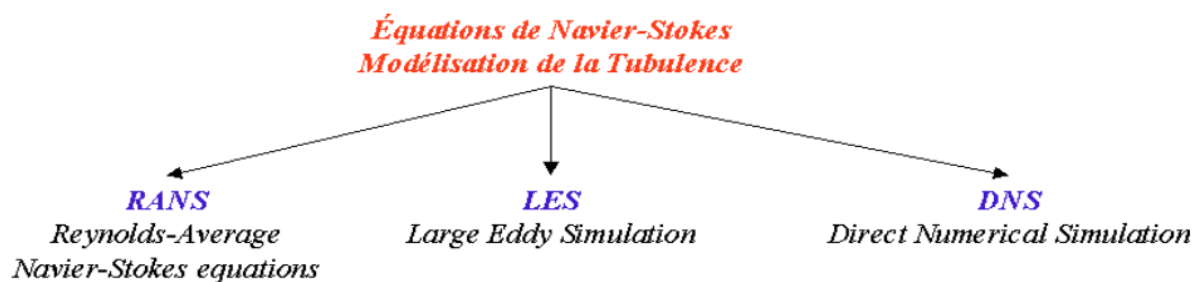


FIGURE II-15 : LES METHODES DE MODELISATION DE LA TURBULENCE DANS LES EQUATIONS DE NAVIER-STOKES

- ❖ Les modèles RANS représentent l'approche la plus répandue pour la résolution des équations de Navier-Stokes. Elles procèdent directement au moyennée des équations de Navier-Stokes en redéfinissant les variables comme la sommation de deux valeurs : une valeur moyenne et une valeur fluctuante. ⁽¹¹⁾

➤ **Modèles de turbulence :**

Les équations moyennées, complétées de modèles de fermeture convenables, fournissent ainsi un système qui conserve la caractéristique fondamentale du modèle de Navier-Stokes, tout en ayant recouvré un déterminisme mathématique statistique. ⁽¹¹⁾

✓ **Modèles $k-\omega$:**

Le modèle $k-\omega$ ⁽¹¹⁾ est utilisé pour modéliser les couches limites, qui sont les zones de fluide qui sont affectées par la présence d'une surface solide, comme une aile ou une carrosserie. Il est capable de traiter les écoulements laminaires et turbulents, ce qui en fait une méthode polyvalente pour les problèmes aérodynamiques.

✓ **Modèles k-ε :**

Le modèle k-ε⁽¹¹⁾ est utilisé pour modéliser les écoulements turbulents. Il est basé sur la résolution d'équations de transport pour les grandeurs turbulentes k (énergie cinétique turbulente) et epsilon (taux de dissipation de l'énergie turbulente).

✓ **Le modèle de turbulence SST k-ω :**

Le modèle SST k-ω est capable de simuler les écoulements turbulents dans les couches limites et dans les zones éloignées de la surface solide. Cela en fait une méthode de simulation numérique largement utilisée pour les applications aérodynamiques. Il combine les avantages de deux modèles de turbulence, à savoir le modèle k-ω et le modèle k-ξ , pour offrir une meilleure précision dans la modélisation des écoulements turbulents.⁽¹¹⁾

II.8.5 Efforts aérodynamiques :

Lorsqu'une colonne est soumise à un écoulement d'air, elle est sujette à des efforts aérodynamiques. Ces efforts sont principalement dus à la pression différentielle exercée par le flux d'air sur la structure. Voici les principaux types d'efforts aérodynamiques auxquels une colonne peut être exposée :⁽¹²⁾

➤ **Effort de pression :**

L'effort de pression est causé par la différence de pression entre les surfaces exposées à l'écoulement d'air. La pression varie en fonction de la vitesse de l'air, de la forme de la structure et de l'angle d'attaque. L'effort de pression peut être positif (pression élevée) ou négatif (pression basse), ce qui peut générer des charges de compression ou de traction sur la structure.⁽¹²⁾

➤ **Effort de traînée :**

L'effort de traînée est la composante de l'effort aérodynamique parallèle à la direction de l'écoulement d'air.⁽¹²⁾ Il est principalement causé par la résistance du fluide à l'écoulement autour de la structure. L'effort de traînée s'oppose au mouvement de l'installation fixe dans le flux d'air. L'expression de la force est de la forme générale :

$$F = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times C \times V^2$$

Avec :

ρ: masse volumique de l'air (ρ varie avec la température et la pression) ;

S : surface de référence

C : coefficient aérodynamique ;

V : vitesse de déplacement.

On peut aussi introduire la pression dynamique : $P = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2$

dans l'expression de la force : $F = P \times S \times C$

➤ Effort de moment :

L'effort de moment est un couple aérodynamique qui tend à faire tourner la structure autour d'un point. Il est généré par des variations de pression sur différentes parties de l'installation fixe, créant un déséquilibre de forces. L'effort de moment peut provoquer des mouvements de torsion ou de rotation de la structure.⁽¹³⁾

Ces efforts aérodynamiques peuvent influencer la stabilité, la résistance et la performance globale de la colonne.⁽¹²⁾ Ils doivent être pris en compte lors de la conception et de l'analyse structurelle pour garantir que la structure peut résister aux charges aérodynamiques prévues. Des méthodes d'analyse telles que les simulations en soufflerie numérique, les essais en soufflerie physique et les calculs analytiques sont utilisées pour évaluer ces efforts et concevoir une structure adaptée pour résister aux contraintes aérodynamiques.

II.8.6 Surface de référence :

En aérodynamique, la surface de référence d'une installation fixe tel qu'une colonne est une surface choisie comme point de référence pour mesurer les forces et les moments aérodynamiques agissant sur un objet fixe. Elle est choisie pour simplifier les calculs et faciliter la comparaison entre différents modèles ou configurations. la surface de référence pour une colonne de distillation peut être la surface frontale ou latérale exposée au vent.

- ❖ **La couche limite :** dans une étude aérodynamique d'une colonne fait référence à la fine zone d'air proche de la surface de l'objet, caractérisée par un écoulement d'air plus lent et des effets de frottement visqueux. Elle joue un rôle crucial dans la détermination des forces aérodynamiques, comme la traînée, exercées sur la colonne. La couche limite peut varier en épaisseur et en comportement en fonction de divers facteurs tels que la vitesse du fluide et la rugosité de la surface. La compréhension de la couche limite est essentielle pour évaluer les performances aérodynamiques, minimiser la traînée et optimiser l'écoulement d'air autour de l'objet.⁽¹³⁾

II.8.7 Coefficients :

Les coefficients aérodynamiques sont des coefficients adimensionnels servant à quantifier les forces en x, y, z :

1. Coefficient de traînée :

Le coefficient de traînée mesure la résistance aérodynamique exercée par l'écoulement d'air sur la structure cylindrique.⁽¹²⁾ Il est défini comme le rapport de la force de traînée sur la pression dynamique de l'écoulement. Le coefficient de traînée dépend de plusieurs facteurs tels que la forme du cylindre, la rugosité de surface, l'angle d'attaque, la vitesse de l'air, etc. Il peut être déterminé expérimentalement ou par des simulations numériques.

$$C_D = \frac{F}{P \times S}$$

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \times \rho_{air} \times V^2 \times S}$$

Où

S : est la surface de l'objet concerné projetée orthogonalement à la direction $\{x,y,z\}$

V : la vitesse relative du vent sur l'objet.

2. Coefficient de portance :

Bien que les installations fixes cylindriques ne soient généralement pas conçues pour générer de la portance, un coefficient de portance peut être utilisé pour évaluer toute force de portance résultante. Cela peut être dû à des variations locales de pression sur la surface du cylindre ou à des effets aérodynamiques spécifiques. Le coefficient de portance est défini comme le rapport de la force de portance sur la pression dynamique de l'écoulement.⁽¹³⁾

C_y : le coefficient de portance latérale

C_z : le coefficient de portance.

➤ Coefficient de moment:

Le coefficient de moment évalue le couple aérodynamique autour de l'axe longitudinal du cylindre. Il est généralement défini par rapport à un point de référence, tel que le centre de gravité de la structure. Le coefficient de moment dépend de la distribution de pression sur la surface du cylindre et de sa géométrie. Il est utilisé pour évaluer la stabilité et le comportement de rotation du cylindre soumis à un écoulement d'air.⁽¹²⁾

Ces coefficients aérodynamiques peuvent être déterminés expérimentalement en effectuant des essais en soufflerie ou en utilisant des simulations numériques. Ils permettent de quantifier les forces et les moments aérodynamiques exercés sur une installation fixe et sont utilisés pour l'analyse structurelle et la conception optimale de la structure afin de résister aux contraintes aérodynamiques.

II.8.8 Les étapes d'une étude aérodynamique des colonnes de distillation :

➤ Collecte des données :

Cette étape consiste à rassembler toutes les informations nécessaires sur l'équipement , y compris les plans, les dimensions, les matériaux utilisés et les conditions environnementales prévues. Il est également important de recueillir des données sur le climat local, y compris la vitesse et la direction du vent, les turbulences et d'autres paramètres pertinents.

➤ Modélisation d'équipement :

À l'aide des données collectées, on procède à la modélisation de l'installation. Cela peut être réalisé à l'aide de logiciels de modélisation 3D(ANSYS) qui permettent de représenter avec précision la géométrie de la structure.

➤ **Analyse préliminaire :**

Une analyse préliminaire est effectuée pour évaluer les aspects clés de l'aérodynamique de l'installation. Cela peut inclure une évaluation de la forme de la structure, des zones susceptibles de créer de la turbulence, des points d'intérêt pour les mesures de pression, etc.

➤ **Simulation en soufflerie numérique :**

Pour étudier le comportement de l'écoulement d'air autour de l'installation, on peut utiliser des simulations en soufflerie numérique. Cela implique l'utilisation de logiciels de dynamique des fluides numérique (CFD) pour résoudre les équations de Navier-Stokes et prédire l'écoulement de l'air. Les simulations aident à visualiser les schémas de flux, à quantifier les forces aérodynamiques et à identifier les zones de turbulence ou de séparation de l'écoulement.

➤ **Validation expérimentale :**

Dans certains cas, il peut être nécessaire de réaliser des essais en soufflerie physique pour valider les résultats des simulations numériques. Cela implique la construction d'un modèle réduit de l'équipement et la mesure des forces aérodynamiques à différentes vitesses de vent et angles d'attaque. Les données expérimentales sont comparées aux résultats des simulations pour vérifier leur précision.

➤ **Analyse des résultats :**

Une fois les simulations et les essais en soufflerie terminés, les données sont analysées pour évaluer les charges aérodynamiques, les points de concentration de turbulence, les zones de faible pression, etc. Ces résultats permettent d'identifier les zones critiques de l'installation qui peuvent nécessiter des renforcements ou des modifications de conception.

➤ **Conception et optimisation :**

En utilisant les informations issues de l'étude aérodynamique, des modifications peuvent être apportées à la conception de la colonne pour améliorer ses performances aérodynamiques.⁽¹³⁾ Cela peut inclure des changements de forme, l'ajout de dispositifs aérodynamiques tels que des déflecteurs ou des pare-vent, ou des renforcements structurels spécifiques.

➤ **Suivi et évaluation continue :**

Une fois l'installation fixe construite, il est important de surveiller en continu son comportement aérodynamique réel et de l'évaluer par rapport aux prédictions de l'étude.⁽¹³⁾ Cela permet d'identifier d'éventuelles anomalies ou problèmes non anticipés et d'apporter des ajustements si nécessaire.

II.8.9 la méthode des volumes finis

La méthode des volumes finis est une approche numérique employée dans ANSYS-CFX pour obtenir une représentation précise des phénomènes aérodynamiques. Cette technique permet de résoudre les équations aux dérivées partielles qui décrivent le comportement des fluides dans une étude aérodynamique en découpant le domaine de calcul en volumes finis ou cellules discrètes de l'espace. Pour une étude aérodynamique d'une colonne de distillation, cette méthode permet de discrétiser et de résoudre les équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie des fluides conformément aux équations Navier Stokes. Les résultats obtenus fournissent des informations détaillées sur les caractéristiques

aérodynamiques de la colonne, telles que les forces exercées sur la géométrie, les écoulements de fluides, les zones de turbulence, etc. Cette approche permet ainsi de mieux comprendre et d'optimiser la performance aérodynamique de la colonne de distillation.

II.8.10 Effets d'aérodynamique sur la stabilité des colonnes :

L'aérodynamique peut avoir un impact significatif sur la stabilité d'une colonne. L'interaction entre le vent et la structure peut générer des forces aérodynamiques qui peuvent induire des vibrations, des oscillations et des déformations dynamiques, potentiellement compromettant la stabilité de la colonne.⁽¹³⁾

➤ Effet de vortex :

Lorsque le vent rencontre une colonne,⁽¹³⁾ des tourbillons appelés vortex se forment autour de la structure. Ces vortex peuvent générer des forces périodiques qui peuvent induire des vibrations et des oscillations. Lorsque les fréquences d'oscillation naturelles de la colonne sont proches des fréquences des vortex, des phénomènes de résonance peuvent se produire, entraînant des amplitudes d'oscillation plus importantes et potentiellement instables.

➤ Effet de galop :

L'effet de galop se produit lorsque les forces aérodynamiques sur la colonne entraînent des oscillations régulières et auto-entretenues. Cela se produit généralement lorsque les forces aérodynamiques et les propriétés d'amortissement de la structure sont couplées de manière à créer une rétroaction positive. L'effet de galop peut entraîner des mouvements de torsion, de flexion ou de déplacement de la colonne, potentiellement menaçant la stabilité.⁽¹³⁾

➤ Effet de ressaut de vent :

L'effet de ressaut de vent se produit lorsque le vent rencontre la colonne et est dévié vers le haut, créant une zone de basse pression à l'amont de la structure⁽¹³⁾. Cela peut entraîner une succion de l'air vers le haut de la colonne, ce qui peut augmenter les charges aérodynamiques et potentiellement affecter la stabilité de la structure.

➤ Effet de torsion :

Les forces aérodynamiques peuvent induire des moments de torsion sur la colonne, entraînant des déformations angulaires et des contraintes tensionnelles. Ces effets de torsion peuvent être critiques pour la stabilité de la structure, en particulier si elle présente une section transversale asymétrique ou une géométrie particulière.⁽¹³⁾

II.9 CONCLUSION :

Pour conclure, il est crucial de mener une analyse aéromécanique approfondie des colonnes afin de garantir la sécurité et la durabilité des structures. Une telle analyse permet de mieux comprendre l'interaction entre le vent et les colonnes et d'optimiser leur conception pour résister efficacement aux forces aérodynamiques. La poursuite de ces recherches joue un rôle essentiel dans l'avancement des connaissances et l'amélioration des normes de construction et d'ingénierie dans ce domaine. Par conséquent, dans le chapitre suivant, nous allons effectuer la conception de notre colonne 700-C1 avec SolidWorks afin de poursuivre notre étude aéromécanique par le biais d'Ansys.

III. CHAPITRE III : Conception de la colonne 700-C1 par SOLIDWORKS

III.1 INTRODUCTION :

Ce chapitre a pour objectif de modéliser la colonne désisopentaneur 700-C1 en utilisant SolidWorks, un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) couramment utilisé pour la modélisation et la conception en 3D de pièces et d'assemblages dans les domaines de la mécanique et de la conception de produits. Nous allons procéder en deux étapes : tout d'abord, nous allons réaliser la modélisation de chaque pièce de la colonne, puis nous assemblerons les pièces pour obtenir le modèle final de la colonne...⁽¹⁾

III.2. Définition de SOLIDWORKS :

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) 3D puissant. Il est utilisé par les ingénieurs et les concepteurs pour créer et modifier des modèles 3D de pièces et d'assemblages. SolidWorks intègre des outils de conception, de simulation, de documentation et de fabrication qui accélèrent le développement de produits et facilitent la collaboration⁽⁶⁾

III.2.1 Terminologie :

Les termes sont utilisés pour décrire les différentes caractéristiques géométriques des modèles dans SolidWorks : ⁽⁶⁾

- **L'origine** : est représentée par deux flèches bleues qui se croisent en (0,0,0) pour le modèle, et en rouge pour les esquisses. ⁽⁶⁾
- **Les plans** : sont des géométries planes utilisées pour ajouter une esquisse 2D ou une coupe de modèle. ⁽⁶⁾
- **Les axes** : sont des lignes droites utilisées pour créer des géométries de modèle, des fonctions ou des répétitions.
- **Les faces** : sont des contours qui définissent la forme d'un modèle ou d'une surface, tandis que les arêtes sont des endroits où deux faces ou plus se croisent.
- **Les sommets** : sont des points où plusieurs lignes ou arêtes se croisent. ⁽⁶⁾

III.2.2 La modélisation 3D :

Dans SolidWorks est un processus de création de modèles de pièces et d'assemblages en trois dimensions à l'aide d'outils de conception intégrés. Voici les étapes de base pour la modélisation 3D dans SolidWorks ⁽⁶⁾

1. **Créer une esquisse** : La première étape consiste à créer une esquisse 2D en définissant les dimensions et les relations géométriques. Cette esquisse peut être créée à partir de zéro ou à partir d'un croquis existant.
2. **Extruder la forme** : Une fois l'esquisse créée, vous pouvez utiliser l'outil d'extrusion pour créer une forme en trois dimensions en tirant la surface de l'esquisse dans la direction souhaitée.
3. **Ajouter des fonctions** : Vous pouvez ajouter des fonctions telles que des coupes, des bosses, des nervures, des filets et des congés pour ajouter des détails et des fonctionnalités supplémentaires à votre modèle.
4. **Créer des assemblages** : Vous pouvez utiliser des outils de modélisation d'assemblage pour créer des relations entre différentes pièces et les assembler en un modèle d'ensemble.

5. **Appliquer des matériaux et des textures** : Vous pouvez appliquer des matériaux et des textures pour donner à votre modèle une apparence réaliste.
 6. **Tester et valider** : Vous pouvez utiliser les outils de simulation pour tester et valider la fonctionnalité de votre modèle et apporter des modifications si nécessaire.
 7. **Documenter** : Vous pouvez créer des dessins techniques et des fichiers de documentation pour communiquer les détails de votre modèle à d'autres personnes.
- Ces étapes de base peuvent être adaptées et combinées pour créer des modèles 3D complexes et détaillés dans SolidWorks.⁽⁶⁾



FIGURE III-1: PIECES 3D SOLIDWORKS

III.2.3 Les étapes principales de l'interface utilisateur de SolidWorks :

Voici les étapes principales de l'interface utilisateur de SolidWorks :⁽⁶⁾

1. **Barre de menus** : La barre de menus contient les menus déroulants pour accéder aux commandes et aux fonctionnalités de SolidWorks.

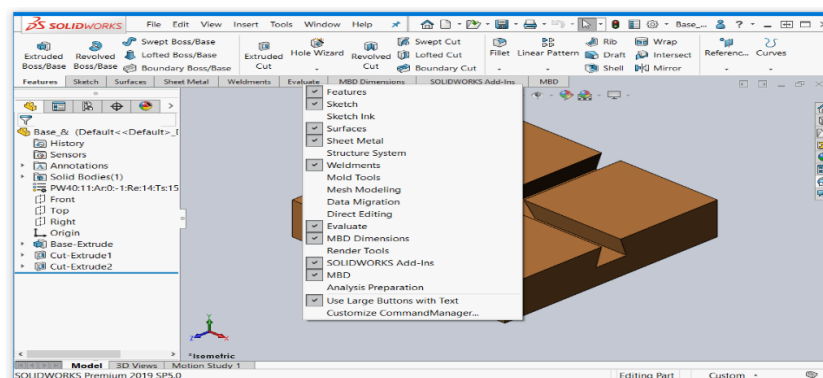


FIGURE III-2 : BARRE MENUS SOLIDWORKS

2. **Barre d'outils standard** : La barre d'outils standard contient des icônes pour les commandes courantes telles que Nouveau, Ouvrir et Enregistrer.



FIGURE III-3: BARRE D'OUTILS SOLIDWORKS

3. **Zone de graphique :** La zone de graphique est l'endroit où vous créez et modifiez vos modèles 3D.



FIGURE III-4: ZONE DE GRAPHIQUE SOLIDWORKS

4. **Gestionnaire de fonctionnalités :** Le gestionnaire de fonctionnalités affiche l'arbre des fonctionnalités de votre modèle 3D et vous permet de modifier chaque fonctionnalité individuellement.
5. **Zone de configuration :** La zone de configuration vous permet de modifier les propriétés de votre modèle, telles que les dimensions et les matériaux.
6. **Barre d'outils contextuelle :** La barre d'outils contextuelle affiche des outils supplémentaires en fonction de la fonctionnalité que vous utilisez actuellement.

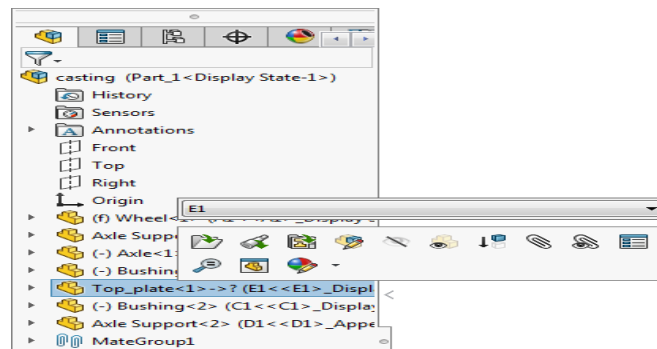


FIGURE III-5: BARRE D'OUTILS CONTEXTUELLE

7. **Zone d'affichage :** La zone d'affichage affiche des informations supplémentaires sur votre modèle, telles que les coordonnées, les dimensions et les propriétés.
 8. **Barre d'état :** La barre d'état affiche des informations sur le modèle actif et indique si une commande est en cours d'exécution.
- Bien que ces étapes donnent une introduction de base à l'interface utilisateur de SolidWorks, ⁽⁶⁾ il est important de souligner que le logiciel propose de nombreuses

autres fonctionnalités et outils qui peuvent être accessibles via les menus et les barres d'outils. Pour utiliser SolidWorks de manière efficace, il est recommandé de suivre une formation appropriée pour exploiter toutes les fonctionnalités.

➤ **Critère de choix de matériaux :**

Trois matériaux différents ont été utilisés pour cette colonne sont :(ANNEXE B)

- **La robe, la jupe et les fonds :** L'acier (SA 516 Gr 70)⁽¹⁾ est un acier au carbone souvent utilisé dans la fabrication de chaudières et des équipement statique sous pression et haute température. Les propriétés mécaniques de l'acier SA 516 Gr 70 dépendent de la composition chimique, de la méthode de fabrication et du traitement thermique.⁽¹⁾
- **Les boulons d'encrage :** L'acier (A307 GR C)⁽¹⁾ est une spécification de l'American Society for Testing and Materials (ASTM) pour les boulons en acier à haute résistance utilisés dans les applications de construction. Les propriétés mécaniques de l'A307 GR C dépendent de la forme et de la taille du boulon, ainsi que de sa méthode de fabrication.
- **L'anneau de base :** L'acier (SA 283 Gr)⁽¹⁾ C'est un acier au carbone de qualité structurelle souvent utilisé dans les applications de construction et de fabrication est conçu pour être utilisé dans des applications de construction et de fabrication où la résistance à la traction et la résistance à la flexion sont des propriétés importantes.

III.3 Modélisation de la colonne par SOLIDWORKS

La modélisation de la colonne objet de notre étude sera réalisée sous la plateforme SOLIDWORKS, tout en suivant et respectant les codes et normes régissant sur la conception et design des colonnes de distillation, et en tenant compte ainsi les paramètres et les recommandations préconisées par le constructeur dans la limite du besoin d'étude.

La réalisation du modèle 3D de la colonne sera en divisant l'entité entière en plusieurs parties : Robe (enveloppe : assemblage de plusieurs viroles), fond inférieur, fond supérieur, jupe, brides et trous d'hommes. Après L'assemblage des différents pièces\sous-assemblages nous donnera un modèle réel de l'équipement.

III.3.1 Fond inférieur\Fond supérieur

Fond elliptique 2:1 selon ASME section VIII division 1 §UG 32, on détermine alors les dimensions illustrées sur la figure suivant les relations suivantes :(ANNEXE A)

$$R = 0.9De ; r = 0.17De ; H_2 = \frac{D_i}{4} ; H = H_1 + H_2 + e ; V(H_2) = 0.52D_i \times H_2 ;$$

L'application numérique donne les résultats récapitulés dans le tableau suivant :

Dimensions (mm)	De	Di	R	r	e	H
Fond inférieur	3668	3600	3301.2	623.56	34	984
Fond supérieur	3634	3600	3270.6	617.78	17	967

TABLEAU III.1: DIMENSIONS DES FONDS INFÉRIEUR\SUPÉRIEUR

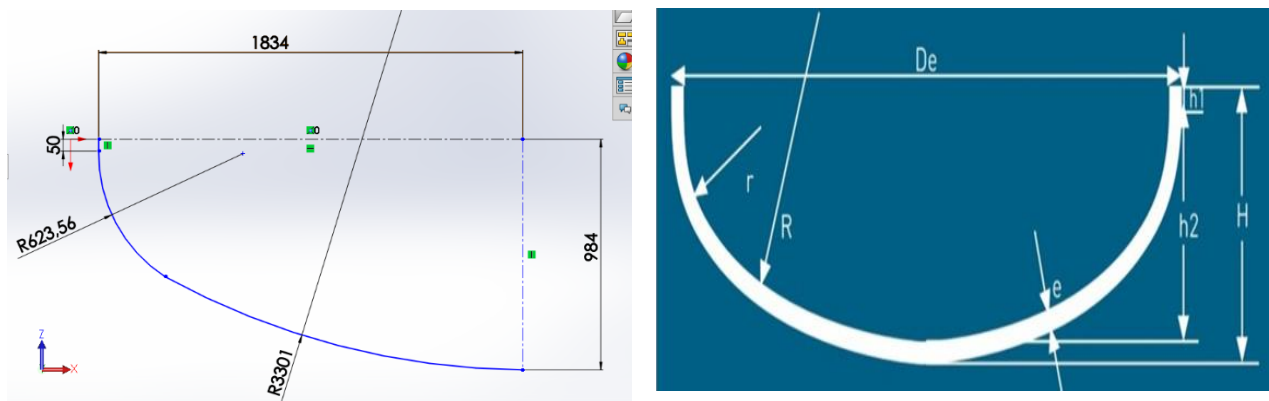


FIGURE III-6: DIFFERENTS PARAMETRES DIMENSIONNELS D'UN FOND ELLIPTIQUE



FIGURE III-7: FOND INFERIEUR APRES REVOLUTION

La forme finale de cette pièce est obtenue par l'application de la fonction "Révolution" sur un dessin de demi-profil du fond elliptique ;

III.3.2 L'enveloppe : (Robe de la colonne) :

La robe de la colonne 700-C-1 est constitué de cinq viroles multi-épaisseurs avec une longueur totale combinée de 49050 mm et un diamètre intérieur unifié de 3600 mm (ANNEXE A)

Les longueurs et les épaisseurs respectives des viroles sont indiqués au tableau suivant :

Viroles	1 ^{ère} virole	2 ^{ème} virole	3 ^{ème} virole	4 ^{ème} virole	5 ^{ème} virole
Longueur (H)	6050	6000	6100	6000	24900
Epaisseur (e)	28	22	20	16	14

TABLEAU III.2 LONGUEURS ET LES EPAISSEURS RESPECTIVES DES VIROLES

Chaque virole sera dessinée dans une esquisse séparément aux autres, ensuite tous seront assemblés. (Voir figures) :

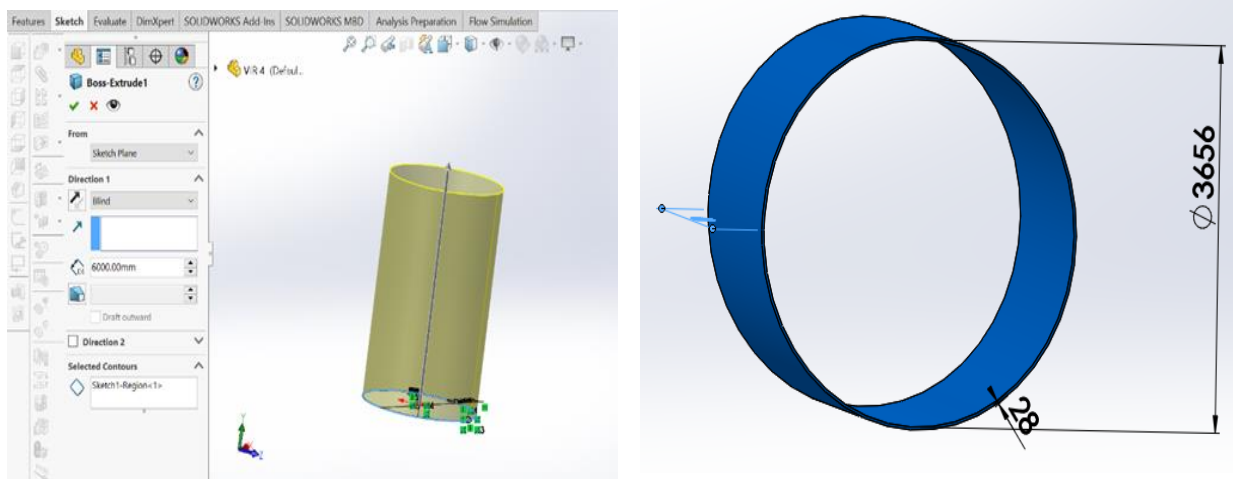


FIGURE III-8: LA 1 ÈRE VIROLES ASSEMBLEES MODELISEE EN SOLIDWORKS

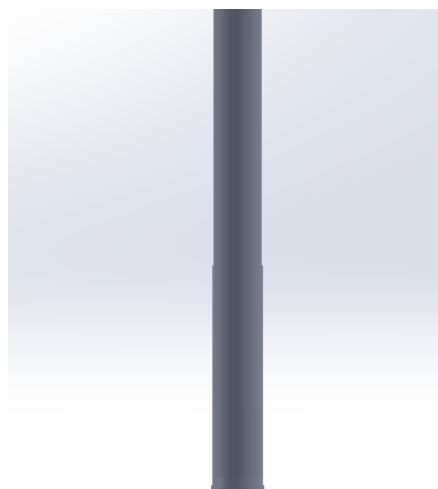


FIGURE III-9: ENVELOPPE (VIROLES ASSEMBLEES) MODELISEE EN SOLIDWORKS

III.3.3 Jupe de la colonne

La jupe de la colonne 700-C-1 est de type évasé construit en deux (02) viroles chacune est spécifié par sa longueur et épaisseur : (ANNEXE A)

	Spécification matériaux	des Epaisseur	Hauteur
1ère virole	SA-516 GR 70	34 [mm]	1910 [mm]
2ème virole	SA-516 GR 70	32 [mm]	5890 [mm]

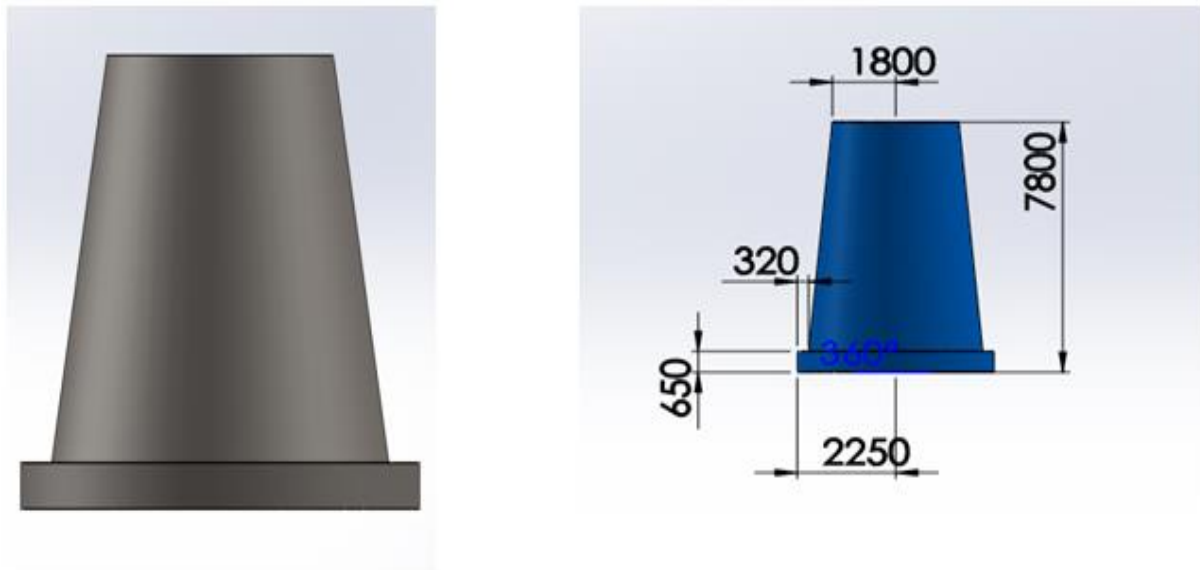


Figure III-10: Jupe de la colonne modélisée en SOLIDWORKS

III.3.4 Brides

Les brides installées sur cette colonne sont du type WN ou LWN , classe 150 selon ASME B16.5.

Le tableaux suivant donnent le type, classe, diamètre et matériau de chaque bride installés sur la colonne : (ANNEXE A)

Item	Classe	Diamètre (in)	Matériau	Type de bride
11	150	6 ''	SA-105	WN
12	150	8''	SA-105	WN
13	150	32''	SA-105	WN
14	150	4''	SA-105	WN
LG1A/B,LT1A/B, LT2A/B,PT	150	2''	SA-105	LWN
O1	150	24''	SA-105	WN
O2	150	6''	SA-105	WN
O3	150	24''	SA-105	WN
TW1	150	2''	SA-105	LWN
TW2	150	2''	SA-105	LWN
TW3,TW4,TW5	150	2''	SA-105	LWN
UC1,UC2	150	2''	SA-105	LWN
V	150	2''	SA-105	LWN

TABLEAU III.3 : LISTE DES BRIDES

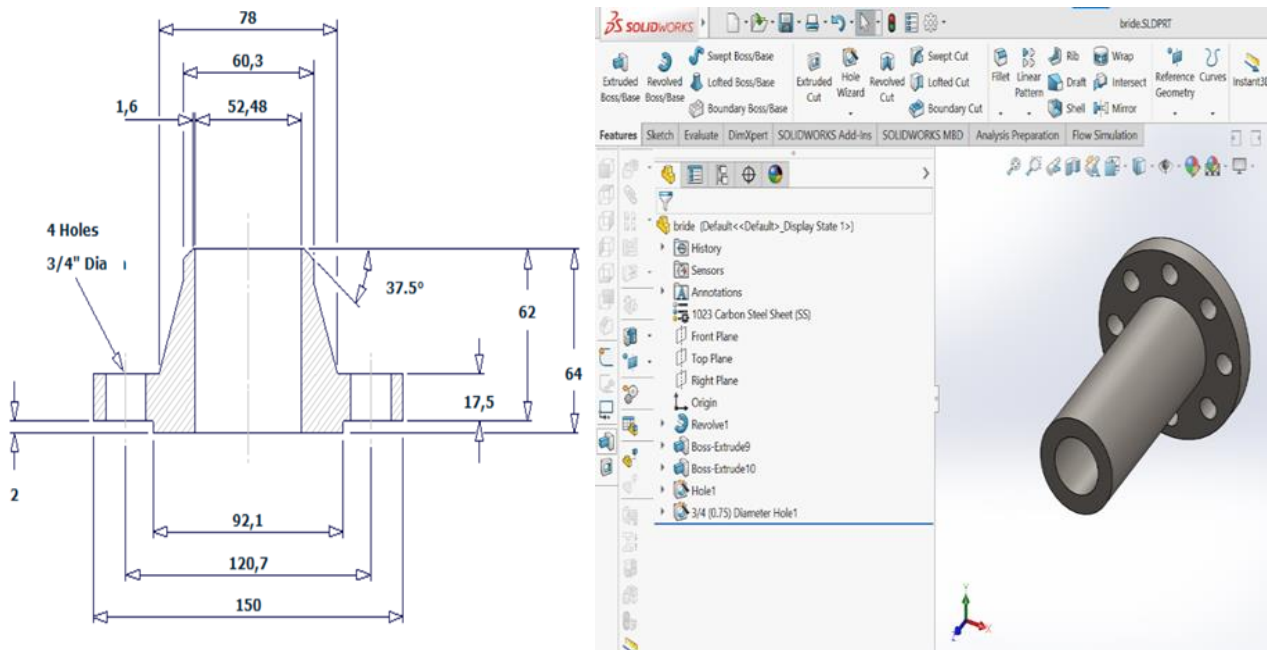


FIGURE III-11: DIMENSIONS ET MODELISATION D'UNE BRIDE 2" (LWN)

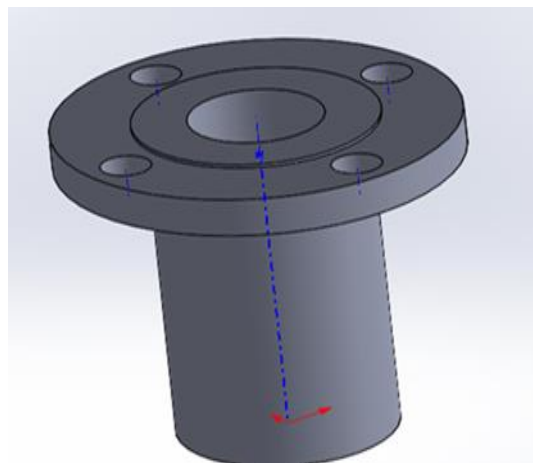


FIGURE III-12: BRIDE 6" (WN) MODELISE EN SOLIDWORKS

III.3.5 Trou d'homme

Le tableau suivant donnent le type, classe, diamètre et matériau de chaque trou d'homme installés sur la colonne :(ANNEXE A)

Item	Classe	Diamètre (in)	Matériau	Type de bride
MH1	150	24"	SA-105	WN
MH2	150	24"	SA-105	WN
MH3	150	24"	SA-105	WN
MH4	150	24"	SA-105	WN
MH5	150	24"	SA-105	WN
MH6	150	24"	SA-105	WN

TABLEAU III.4 : LISTE DES TROUS D'HOMMES

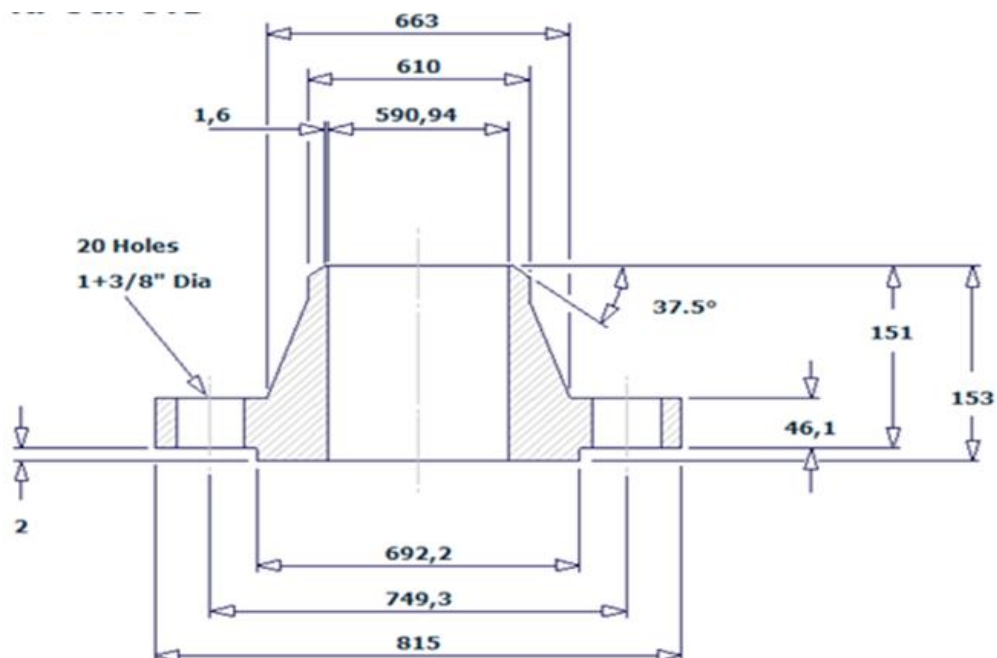
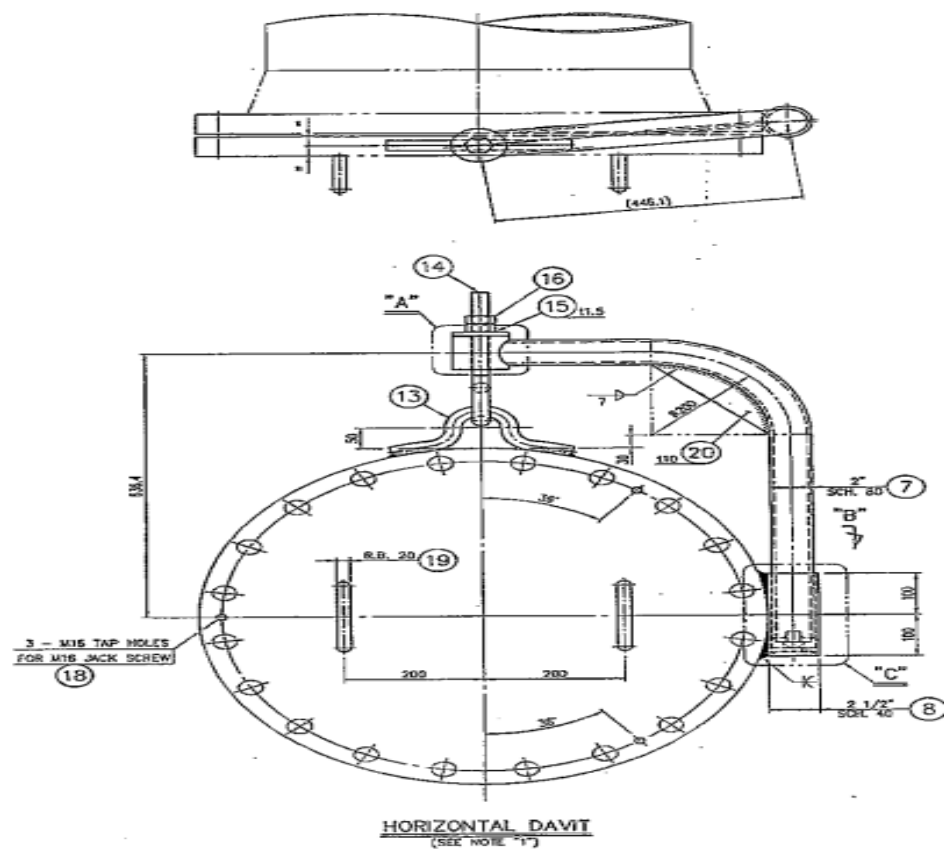


FIGURE III 13: DIMENSIONS D'UNE BRIDE 24"

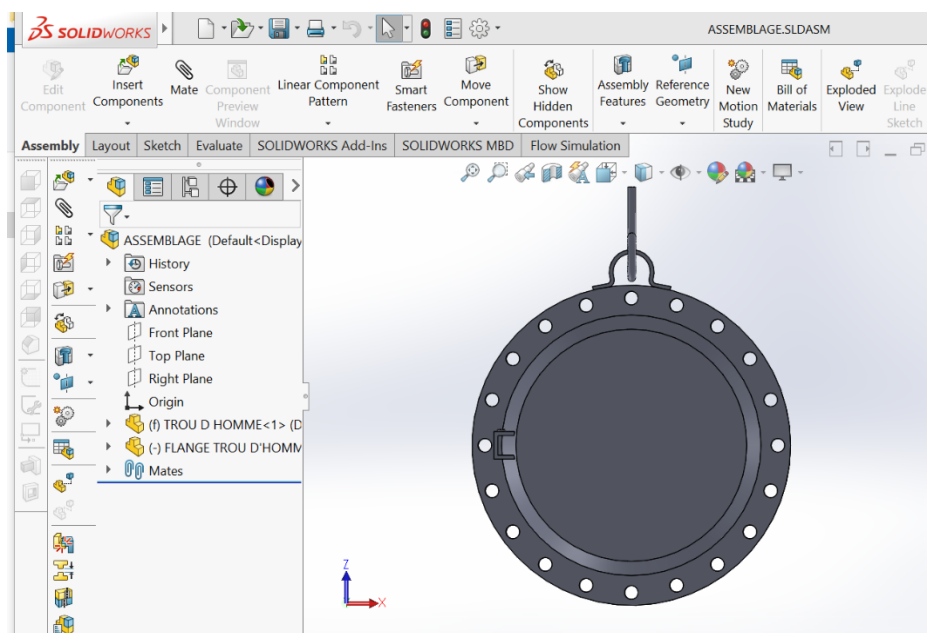


FIGURE III-13: BRIDE PLEINE 24" ASSEMBLE EN SOLIDWORKS VUE DE FACE

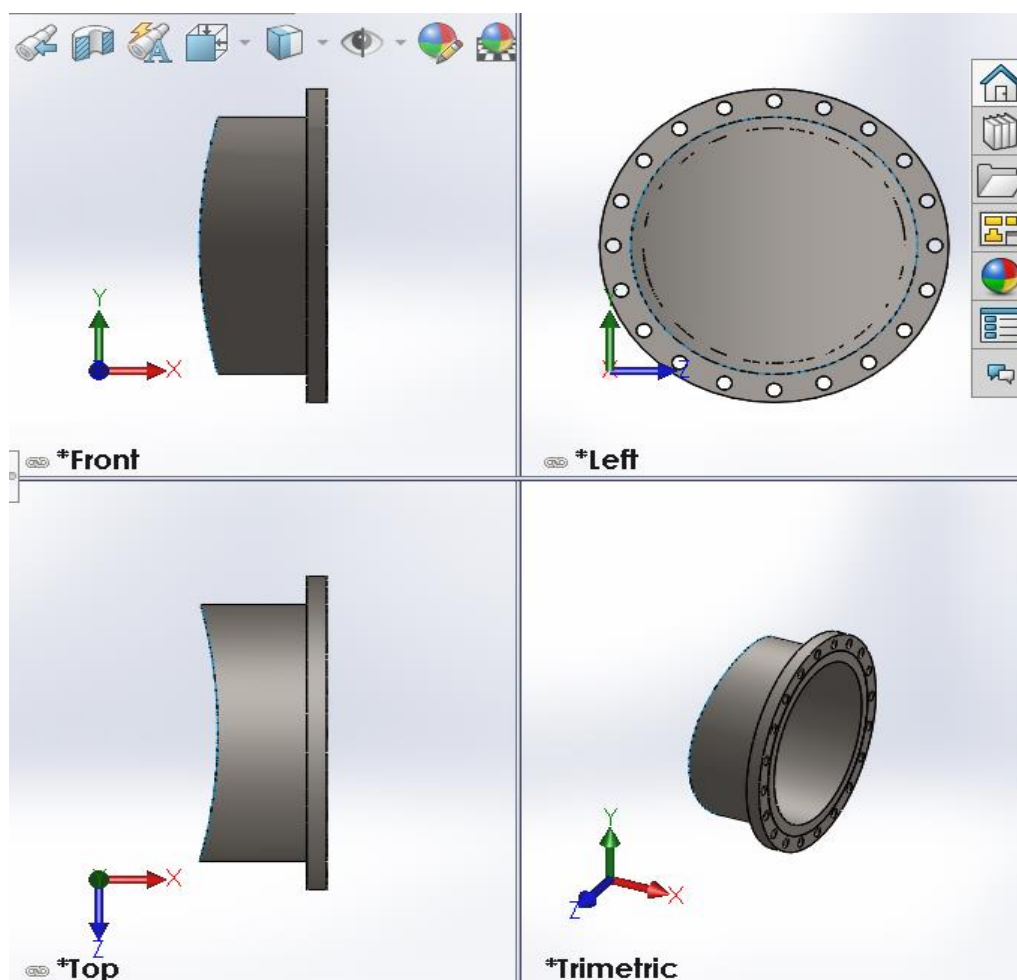


FIGURE III-14: BRIDE PLEINE 24" MODELISE EN SOLIDWORKS

III.3.6 La plateforme et l'échelles de sécurité :

Afin de pouvoir réaliser une plateforme et échelle de sécurité avec toutes les conditions nécessaire , il faut suivre une norme internationale et puisque on avait comme toujours un manque de donnée, on a utilisé la norme ASTM (American Society of Testing and Materials)

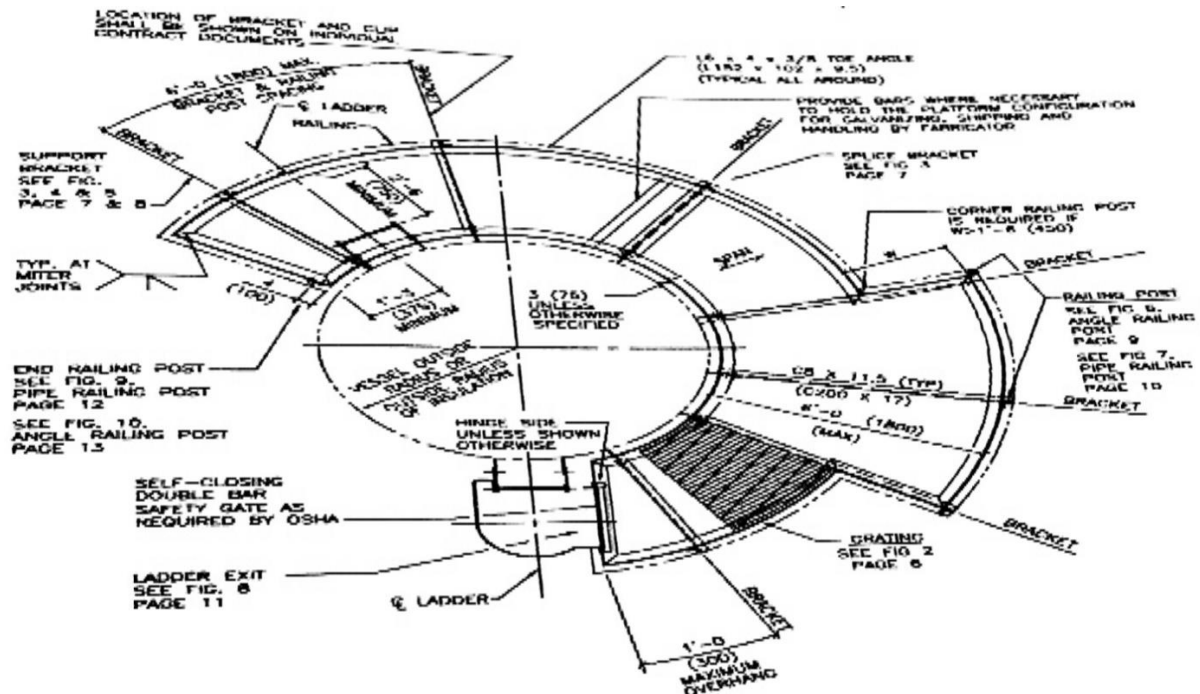


FIGURE III-15: UN DESSIN PLAN TYPIQUE D'UNE PLATEFORME MONTÉE SUR L'ENVELOPPE DE LA COLONNE

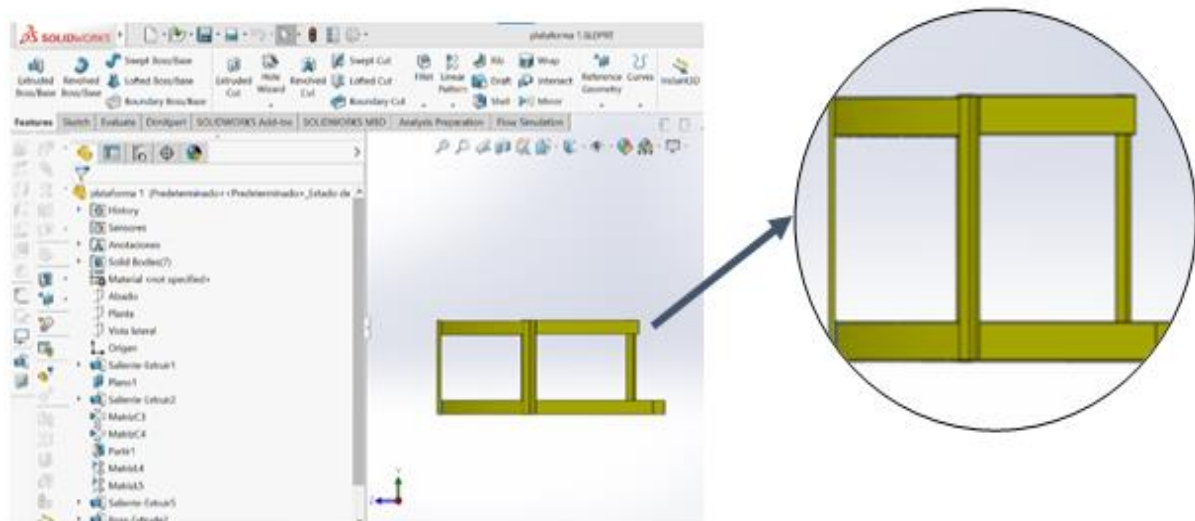


FIGURE III-16: MODELISATION DE LA PLATEFORME EN SOLIDWORKS

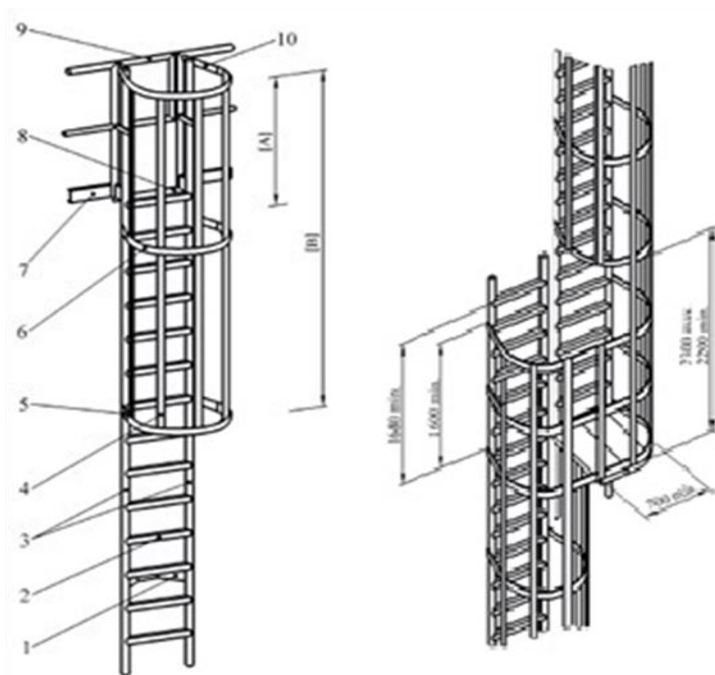


FIGURE III-17: UN DESSIN TYPIQUE DE L'ECHELLE DE SECURITE EN SOLIDWORKS

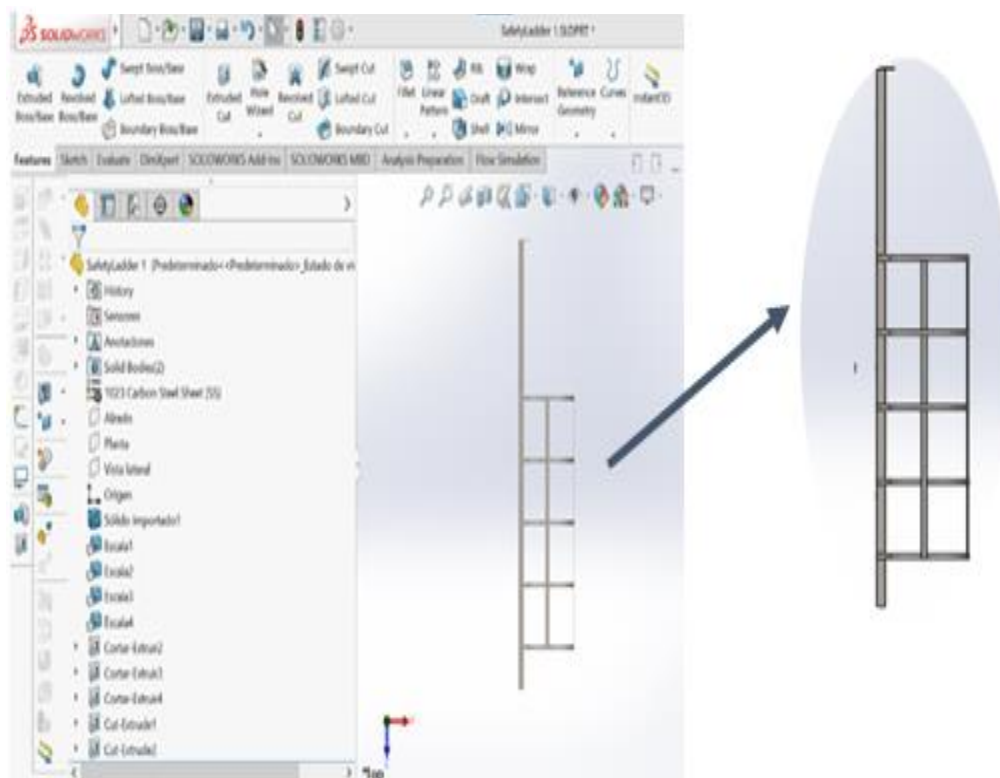


FIGURE III-18: MODELISATION DE L'ECHELLE DE SECURITE EN SOLIDWORKS

III.3.7 L'assemblage final de la colonne :

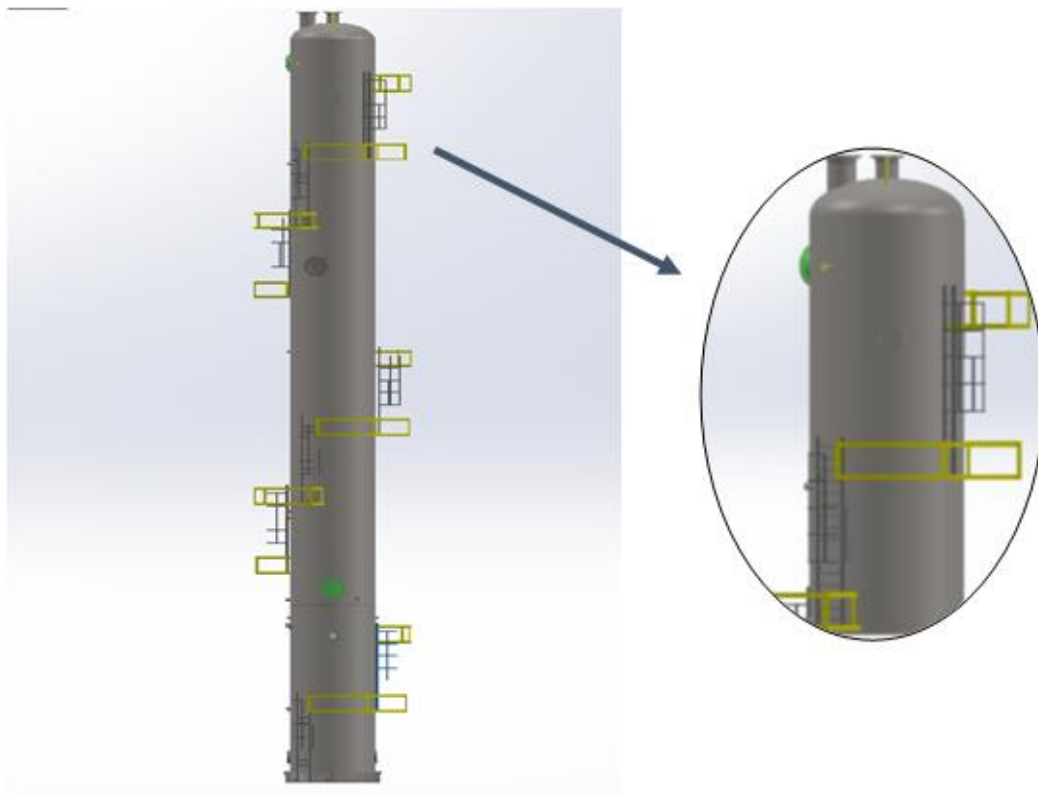


FIGURE III-19: ASSEMBLAGE FINALE DE LA COLONNE DEISOPENTANISEUR 700-C1 EN SOLIDWORKS

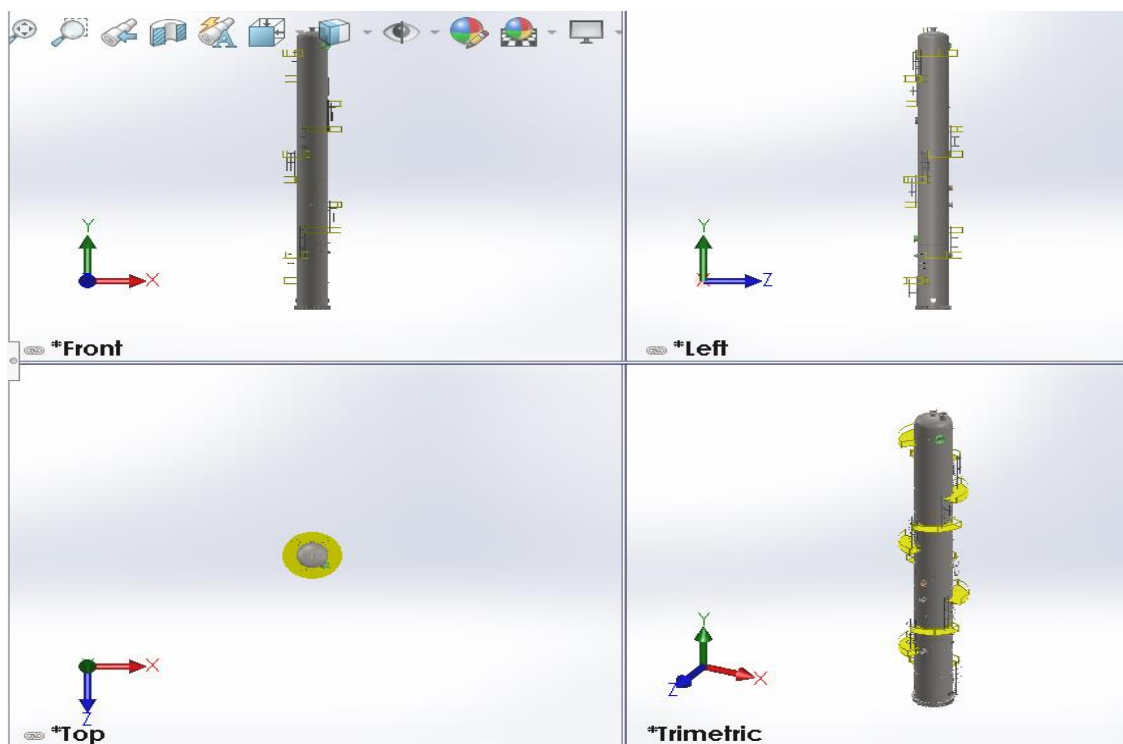


FIGURE III-20: DIFFERENTE VUE ASSEMBLAGE FINALE DE LA COLONNE DEISOPENTANISEUR

III.4 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons effectué progressivement la modélisation de la colonne 700 C1, jusqu'à son assemblage dans SOLIDWORKS, dans le but de l'utiliser pour l'étude aérodynamique du chapitre suivant.

IV. CHAPITRE 04 : Étude aérodynamique de la colonne 700-C1 via le logiciel ANSYS-CFX

IV.1 INTRODUCTION :

L'étude aérodynamique est essentielle dans la conception de la colonne 700-C1 pour garantir une opération efficace et sûre. La simulation numérique est un outil puissant pour comprendre les propriétés de l'écoulement des fluides dans la colonne de distillation et pour prédire les performances de l'équipement.

Dans cette étude aérodynamique par ANSYS, on va examiner la distribution de la pression dynamique, la vitesse et de la viscosité turbulente dans la colonne de distillation. Ces quantités sont importantes pour comprendre les forces qui agissent sur les surfaces en contact avec le fluide et pour prédire les pertes de charge dans la colonne.

Enfin, on va discuter les résultats de la simulation et de leur impact sur la conception de la colonne de distillation. Les résultats de la simulation peuvent aider les ingénieurs à optimiser la conception de la colonne de distillation pour améliorer les performances et réduire les coûts d'exploitation.

Remarque :

Afin de faciliter le calcul et obtenir des résultats plus précis avec ANSYS-CFX, il est nécessaire d'exclure les brides et les trous d'homme qui ont été assemblés dans le chapitre précédent " modélisation de la colonne de distillation 700-C1 ". Par conséquent, nous ne considérerons que la jupe, le fond supérieur et inférieur, ainsi que les 5 viroles de la colonne pour notre étude aéromécanique.

IV.2 Logiciel de simulation ANSYS :

ANSYS est un logiciel de simulation numérique leader de son marché, utilisé dans des domaines différents de l'industrie dans le développement de produits industriels⁽⁸⁾. Il couvre toutes les étapes nécessaires à une simulation : le traitement géométrique, le maillage, la résolution, le traitement de résultats et l'optimisation. ANSYS offre une plateforme de calcul multi-physique intégrant la mécanique des fluides et des structures, la thermique ainsi que la simulation de systèmes et de circuits.

IV.2.1 Environnement logiciel :

L'environnement de logiciels permet de mettre en œuvre le code ANSYS :

ANSYS Workbench : cette plate-forme propose une approche différente dans la construction d'un modèle en réutilisant le code ANSYS initial. Elle est particulièrement adaptée au traitement de cas à la géométrie complexe (nombreux corps de pièces) et aux utilisateurs non confirmés dans le domaine du calcul. Dans cet environnement, l'utilisateur travaille essentiellement sur une géométrie et non plus sur le modèle lui-même.⁽⁸⁾ La plate-forme est donc chargée de convertir les requêtes entrées par l'utilisateur en code ANSYS avant de lancer la résolution. Le modèle en éléments finis généré reste néanmoins manipulable en insérant des commandes propres au code ANSYS.

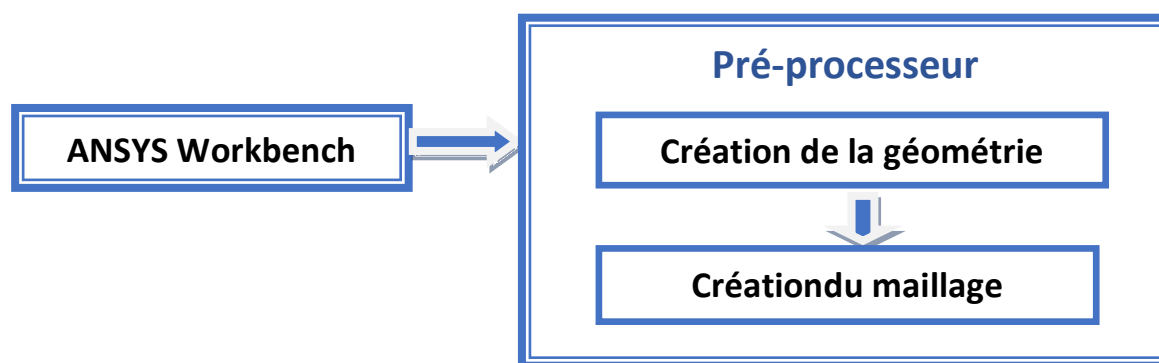
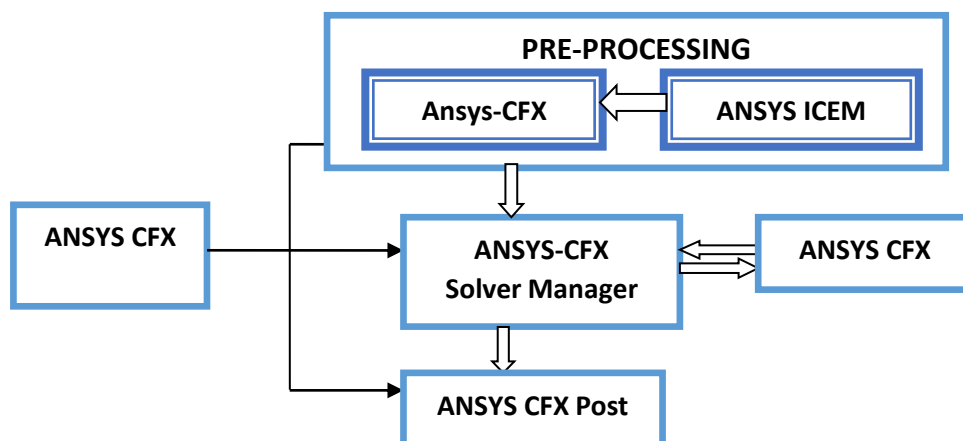


Schéma 4.1 : ANSYS WORKBENCH PRE-PROCESSEUR

IV.3 ANSYS CFX :

ANSYS CFX se compose de trois modules qui communiquent entre eux comme montré sur la Figure. Un logiciel qui permet la réalisation de la géométrie et du maillage est nécessaire pour exécuter une analyse de CFD. Dans notre cas le logiciel ANSYS ICEM CFD est utilisé.



SCHEMA 4.2 : MODELES D'ANSYS-CFX

IV.3.1 CFX-Pre :

CFX-Pre offre une interface moderne, cohérente et intuitive pour la définition des problèmes complexes de CFD. CFX-Pre peut lire plusieurs maillages d'une variété de sources. L'utilisateur est guidé dans la définition physique en se déplaçant le long de la barre d'outils 'Define', qui présente les étapes principales dans la définition du problème. ⁽⁸⁾

La création et la modification des objets physiques sont présentées par une interface utilisateur avec les panneaux tabulés fournissant l'accès facile aux détails des modèles. La définition des problèmes est montrée dans le 'Object selector'. Une fois que la définition de problème est complète, il faut exporter un fichier de définition (*.def) vers le module CFX-Solver pour avoir la solution du problème. ⁽⁸⁾

IV.3.2 CFX-Solver :

Il permet de résoudre les équations de l'hydrodynamique modélisant le problème physique étudié. Toutes les spécifications du problème produites dans le module CFX-Pre sont résolues

par CFX Solver pour une erreur bien définie ou un nombre d'itération maximale. Tous les résultats sont stockés dans un fichier (*.res)⁽⁸⁾

IV.3.3 CFX- Solver Manager :

Il fournit une interface graphique au CFX-Solver afin de fournir des informations sur l'évolution de la solution et une manière facile de le commander. Ces fonctions principales sont les suivantes :

1. Indiquer les dossiers d'entrée au solver CFX
2. Lancer ou arrêter la simulation avec le solver CFX
3. Modifier certain paramètre dans le fichier de définition
4. Surveiller la progression de la solution avec le solver CFX
5. Lancer une autre simulation en parallèle.

IV.3.4 CFX-Post :

Il est conçu pour permettre la visualisation facile et le traitement quantitatif des résultats de simulations. Il dispose d'outils graphiques très puissants permettant la présentation et l'analyse des résultats en forme : ⁽⁸⁾

1. Lignes de courant, Champ de vitesse...
2. Visualiser différents paramètres définis par l'utilisateur
3. Définir et calculer des nouvelles variables
4. Exporter les résultats en différent format, pour tracer l'évolution des variables avec d'autres logiciels -graphiques.

IV.4 Modélisation numérique via l'utilisation du logiciel ANSYS

IV.4.1 La partie Géométrie :

Dans un premier temps, l'utilisateur de logiciel est tenu de choisir un système de coordonnées afin de caractériser la géométrie. Les domaines pouvant varier suivant les études, il peut employer des coordonnées cartésiennes ou cylindriques.

La première étape de la simulation est la définition du domaine du calcul. Il s'agit de choisir le nombre de dimensions, pour la forme géométrique de la zone à étudier.

Caractéristiques géométriques du domaine :

Pour diminuer le temps de calcul il suffit de prendre la moitié du domaine d'étude choisi au début, en admettons que le même phénomène se déroule du part et d'autre du plan de symétrie.

- Longueur du domaine : $l = 20 \text{ m}$
- Hauteur du domaine : $H = 80 \text{ m}$
- Largeur du domaine : $L = 40 \text{ m}$
- Hauteur de la colonne à partir du sol = $0,02 \text{ m}$

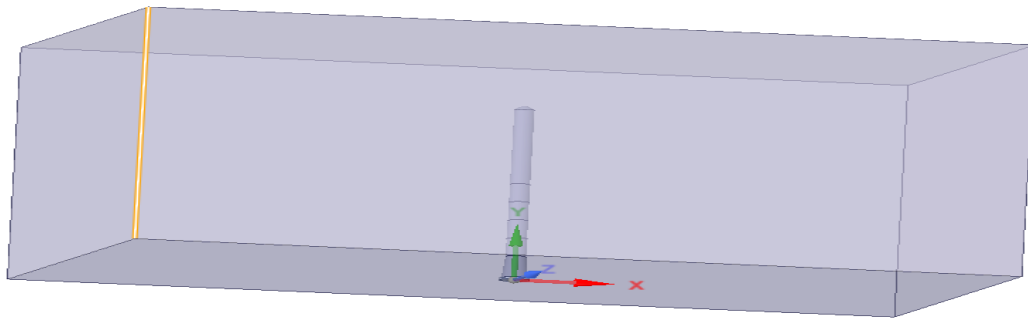


FIGURE IV-1: GEOMETRIE DE LA COLONNE DANS ANSYS-ICEM

IV.4.2 La partie maillage :

Après l'étape de la géométrie, il faut définir un maillage du domaine c'est-à-dire découper le domaine en mailles élémentaires. Le choix de la finesse du maillage est un problème délicat. Il convient de faire un maillage suffisamment fin pour que les résultats aient une bonne précision et reproduisent l'ensemble des phénomènes sans toutefois conduire à des temps de calcul trop longs. Le Choix de la taille des mailles peut être basé sur les échelles caractéristiques des phénomènes et des détails géométriques à représenter.

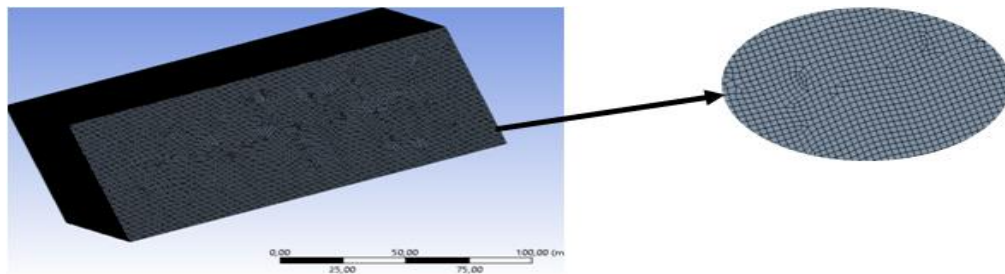


FIGURE IV-2: MAILLAGE DE LA GEOMETRIE

Les statistiques du maillage :

Nombre d'élément : 11000184

Taille d'élément : 1 m

Nombre de nœuds : 975609

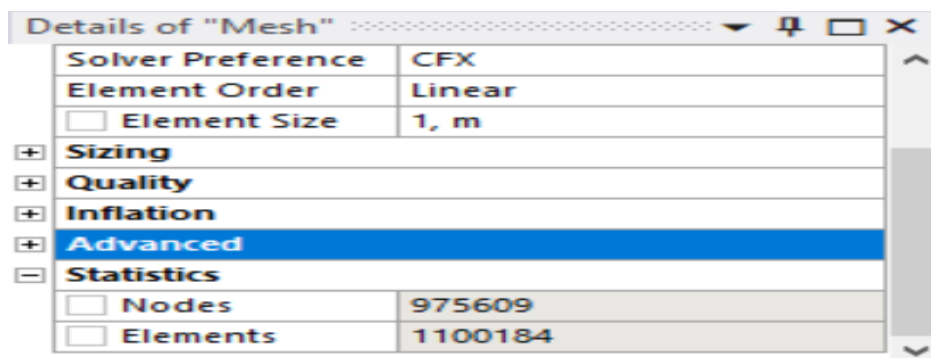


FIGURE IV-3 : LES STATISTIQUES DU MAILLAGE PAR ANSYS-CFX

IV.4.3 La partie CFX :

➤ PRE-PROCESSING :

Dans cette interface CFX-Pre on va introduire les différents paramètres physiques concernant l'écoulement :

- Conditions initiales et conditions aux limites ;
- Choix du modèle de turbulence ;
- Choix du nombre d'itération.

▪ Les conditions initiales et conditions aux limites au code CFX-pre

Le logiciel ANSYS-CFX met à la disposition de l'utilisateur un sous- programme dans lequel il est possible d'établir des profils initiaux non uniformes pour chacune des variables de l'écoulement

Condition d'entrée (Inlet) : On spécifie la vitesse du vent 25 m/s(ANNEXE A)

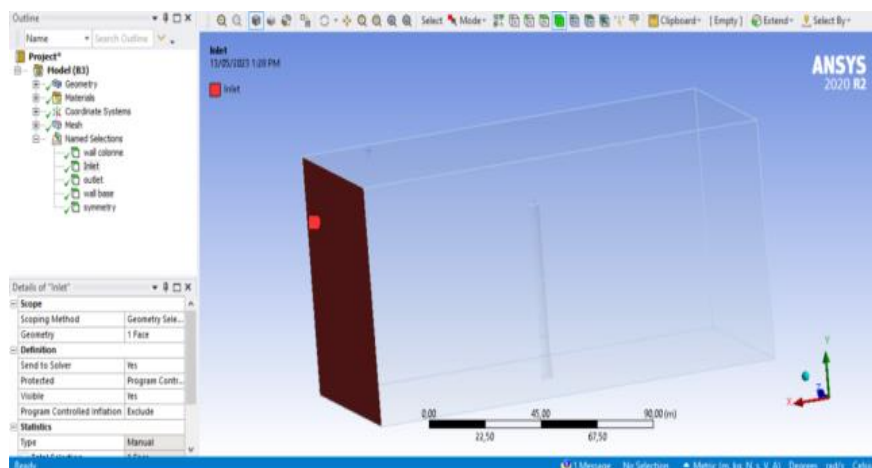


FIGURE IV-4: LA CONDITION D'ENTREE, ANSYS-CFX

- **Condition de sortie (Outlet) :** pression totale (1atm)

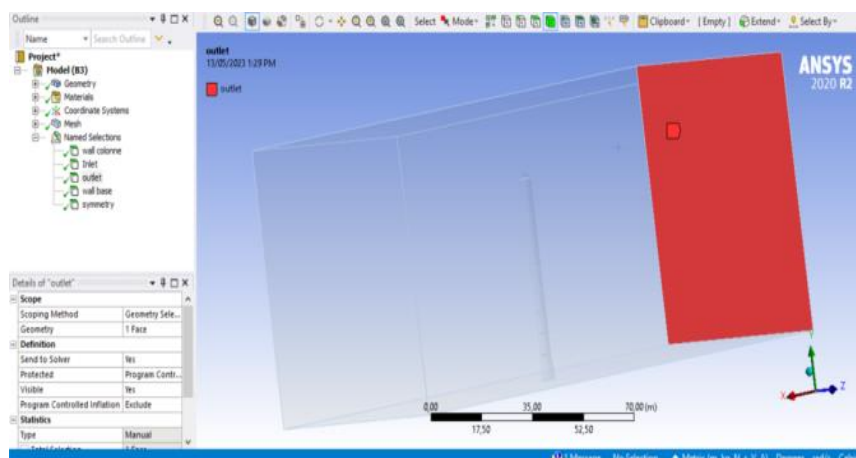


FIGURE IV-5: LA CONDITION DE SORTIE (OUTLET) , ANSYS-CFX

- Condition de paroi: au niveau de la surface extérieure de la colonne

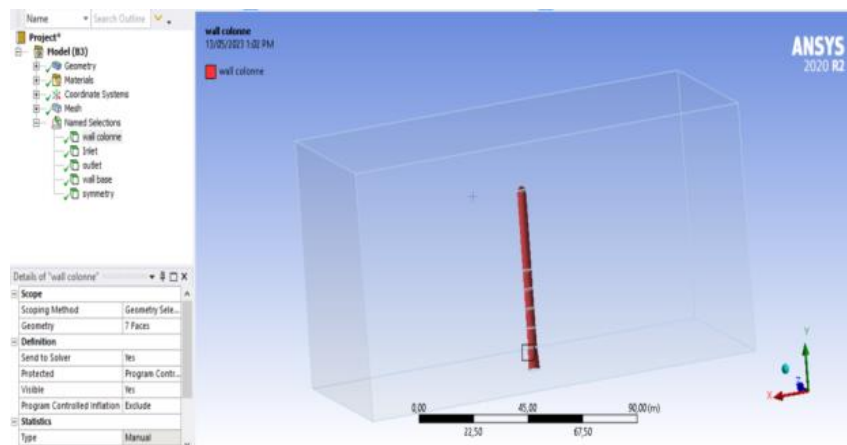


FIGURE IV-6: LA CONDITION DE PAROI AU NIVEAU DE LA SURFACE EXTERIEURE DE LA COLONNE

Condition de paroi : au niveau de la terre

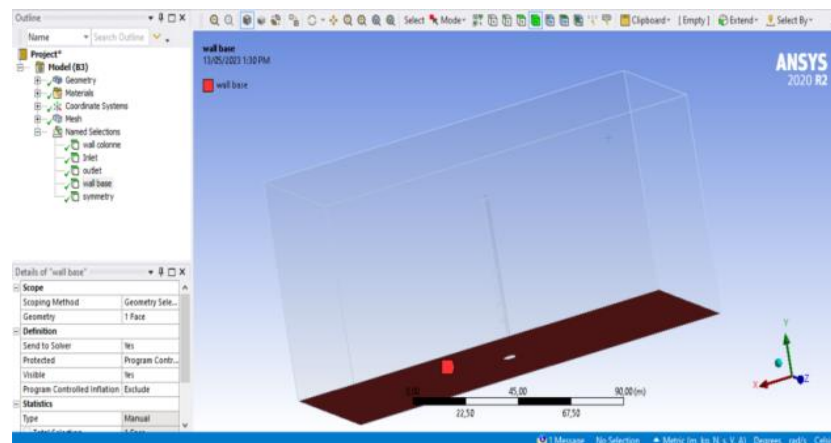


FIGURE IV-7: CONDITION DE PAROI: AU NIVEAU DE LA TERRE, ANSYS-CFX

- Condition de symétrie: sur le reste des surfaces limites du domaine fluide

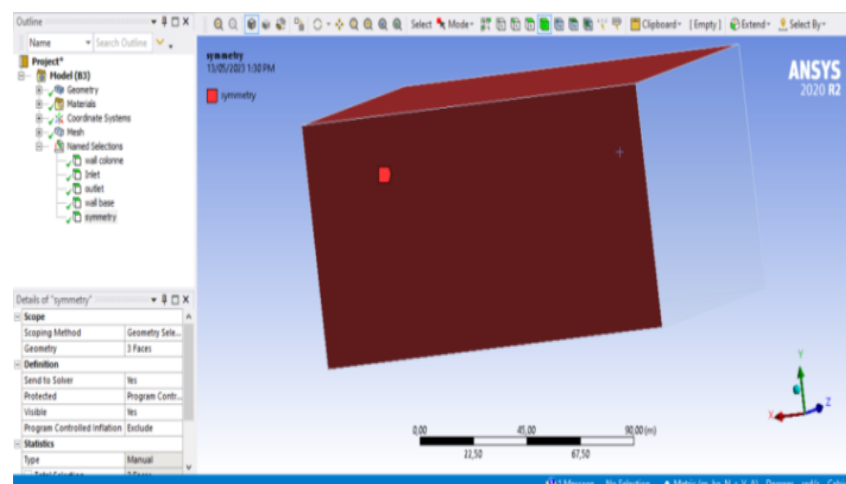


FIGURE IV-8: CONDITION DE SYMETRIE: SUR LE RESTE DES SURFACE DU DOMAINE FLUIDE

▪ choix du modèle de turbulence :

Le logiciel ANSYS CFX propose plusieurs modèles de turbulence, mais nous avons opté pour le modèle $k-\omega$ SST pour modéliser les écoulements. Ce modèle est couramment utilisé dans les calculs aérodynamiques en raison de sa précision et de sa rapidité de calcul

▪ Choix du nombre d'itération :

Nombre d'itération : 1000

➤ Le SOLVER CFX :

➤ Solver control :

le solveur control entame les calculs ; dans cette partie on a la modification des propriété du fluides donc on rajoute la vitesse de référence du vent : 25 m/s (annexe A)

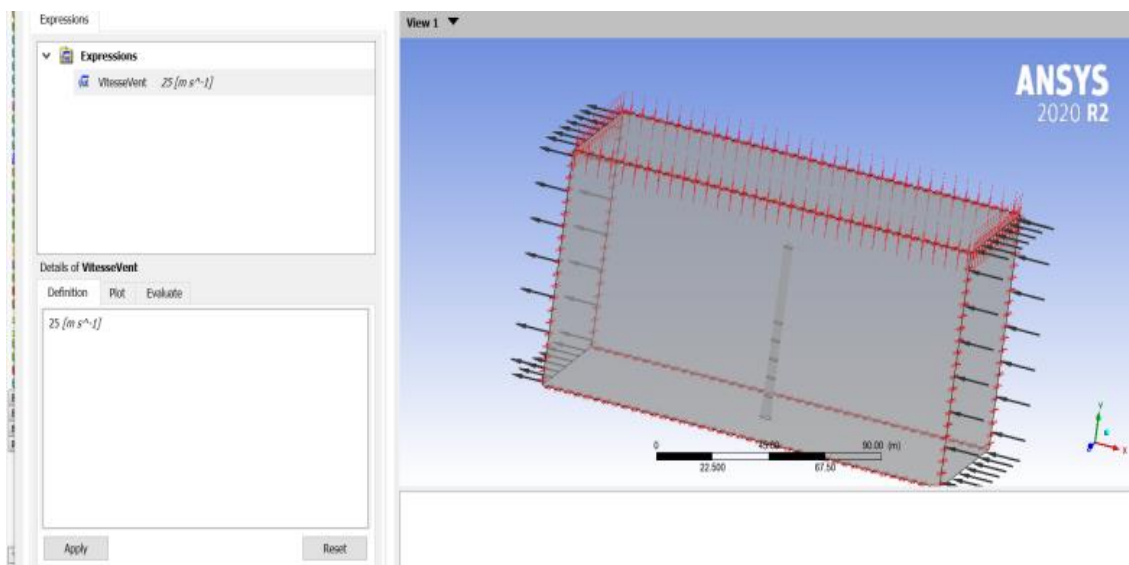


FIGURE IV-9: INTRODUIRE LES CONDITIONS AU LIMITES DANS ANSYS-CFX PRE

➤ Solver Manager

Le logiciel CFX Solver utilise la convergence des résidus pour évaluer la qualité de la solution obtenue lors de la simulation numérique en mécanique des fluides. Cette convergence est suivie en temps réel pendant la simulation, avec une condition de convergence établie à $RMS=10^{-4}$. Le logiciel utilise une méthode itérative pour résoudre le système numérique et atteindre cette condition. Cependant, la convergence des résidus dépend de plusieurs facteurs, tels que la qualité du maillage, le choix du schéma numérique, les conditions aux limites et les

paramètres de la simulation, qui doivent être ajustés pour obtenir des résultats fiables .

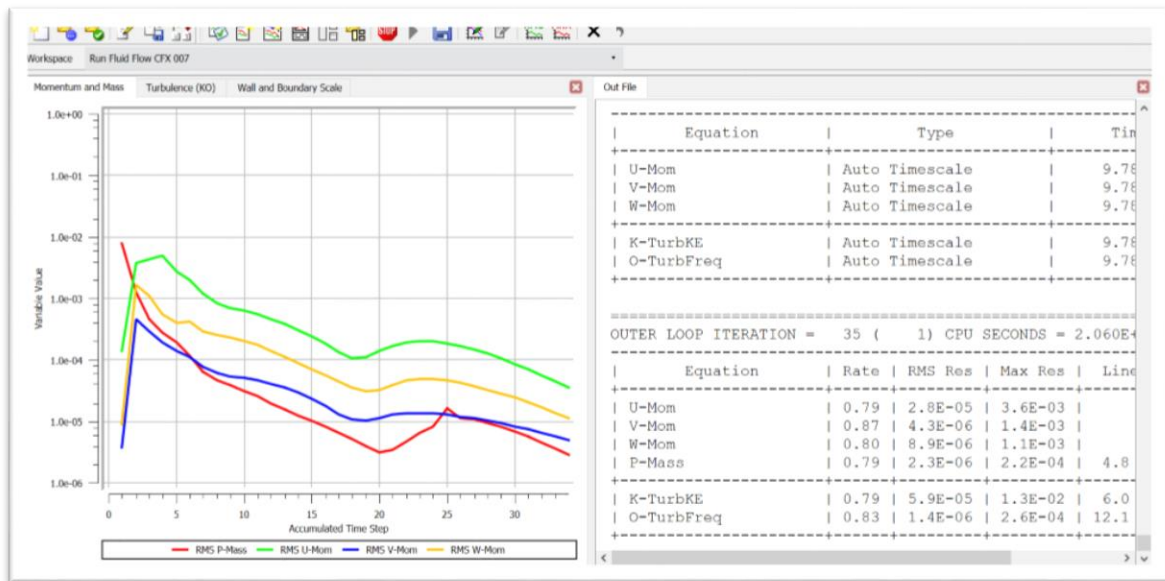


FIGURE IV-10: LE GRAPHE DE PROGRESSION DES CONVERGENCES DU CALCUL NUMERIQUE

➤ Calcul de nombre de Reynolds

La formule de calcul du nombre de Reynolds (Re) est :

$$Re = \frac{\rho \times v \times L}{\mu}$$

Où :

ρ est la densité du fluide en kg/m³

v est la vitesse du fluide en m/s

L est la longueur caractéristique de l'écoulement en m

μ est la viscosité dynamique du fluide en Pa*s. ($1,8 \times 10^{-5}$)

$$\text{Application numérique : } Re = \frac{1,29 \times 25 \times 3,6}{1,8 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 6,45 \times 10^6$$

Le nombre de Reynolds permet de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent. Si Re est inférieur à environ 2300, l'écoulement est laminaire, tandis que si Re est supérieur à environ 4000, l'écoulement est turbulent. Donc avec $Re = 6,45 \times 10^6$ l'écoulement est turbulent

IV.5 Discussion graphique des déferents contours :

Dans cette partie, on vas examiner les résultats de la simulation sur la colonne de distillation 700-C1, en particulier l'impact de l'augmentation de la vitesse du vent sur les caractéristiques de l'écoulement, telles que la pression, la vitesse et la viscosité turbulente. Nous avons

également souligné l'importance de prendre en compte les conditions d'écoulement à l'extérieur de la colonne lors de l'analyse de la performance de la colonne et de l'optimisation de sa conception et l'identification des zones critiques de la colonne pour assurer la résistance mécanique de cette dernière et l'efficacité optimale dans la séparation des différents composants.

IV.5.1 Effets des variations de vitesse en étude aérodynamique

Notre démarche consistera à réaliser une simulation aérodynamique sur la colonne. Nous prévoyons de faire varier la vitesse du vent entre les valeurs minimale (5 m/s) et maximale (100 m/s) de référence de notre zone, fixées à 25 m/s, afin de comprendre les effets et les conséquences des changements de vitesse du vent sur notre colonne.

➤ 1 ère cas : vitesse du vent 25 m/s (Vitesse de référence)

IV.5.1.1.1 Le Champs de pression , Les contours de pression statique :

Le graphique de contour de pression dynamique dans ANSYS CFX illustre la répartition de la pression statique. Sa valeur maximale atteint 394,5 Pa, tandis que sa valeur minimale est de (-1625 Pa) (figure IV 11). Ces résultats indiquent la présence des zones à haute et basse pression autour de la colonne 700-C1, résultant des forces exercées par le vent sur celle-ci. À une vitesse de 25 m/s, la pression statique atteint son maximum dans des conditions de fonctionnement standard , Plus la vitesse est élevée, plus la pression est grande.

En examinant le graphe de contour de pression, nous pouvons observer la répartition spatiale de la pression. Les zones de haute pression sont représentées en rouge et en jaune, tandis que les zones de basse pression apparaissent en bleu ou en vert. Les valeurs maximale et minimale de la pression dynamique nous permettent d'identifier les zones où les forces exercées par le fluide sont les plus significatives.

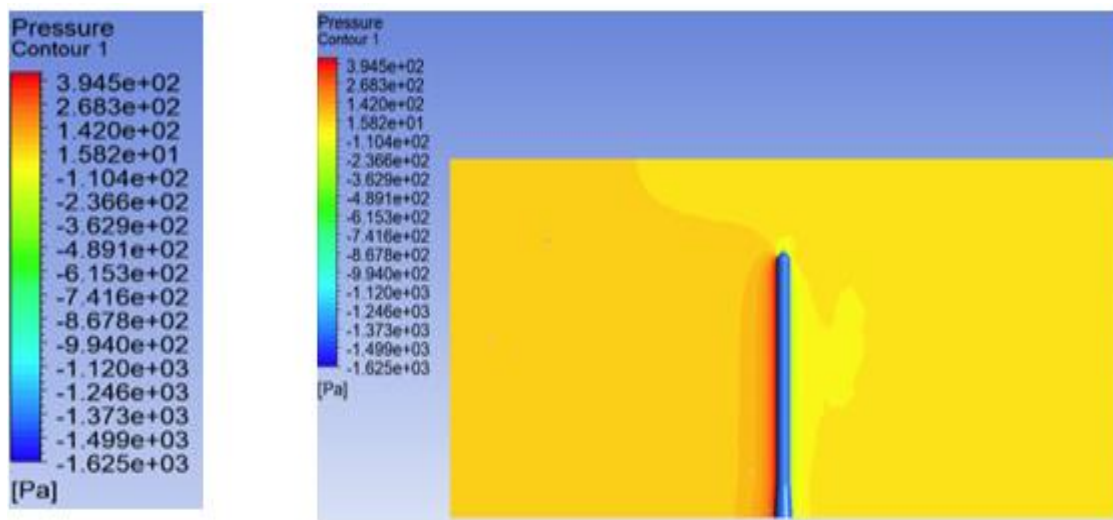


FIGURE IV-11: LES CONTOURS DE PRESSION STATIQUE

IV.5.1.1.2 Champs de vitesse :

1) Contours sur le plan (XY)

la vitesse sur le plan XY autour de la colonne évolue à partir d'une valeur nulle (0.00 m/s) au début, cela dû à la présence de la couche limite près de la surface extérieure de la colonne qui perturbe l'écoulement du vent, jusqu'à une valeur maximale 47.97 m/s (FIGURE IV 12) due à plusieurs facteurs sont :

- La géométrie de la colonne 700-C1 peut créer une zone de dépression à son sommet, qui ralentit l'écoulement du vent et crée des tourbillons autour de la colonne
- la vitesse d'entrée est de 25 m/s, la diminution de la vitesse autour de la colonne est due à des pertes de charge ou des effets de frottement sur les parois de la colonne
- Avec une hauteur de colonne de 56.85 m, celle-ci est suffisamment élevée pour générer une zone de recirculation à l'arrière. Cette dernière peut ralentir l'écoulement du vent, entraînant une diminution de la vitesse autour de la colonne. Cependant, elle peut également créer une zone de basse pression qui aspire l'air environnant et accélère l'écoulement du vent dans cette région. Cela peut expliquer l'augmentation de la vitesse observée jusqu'à 47,97 m/s.

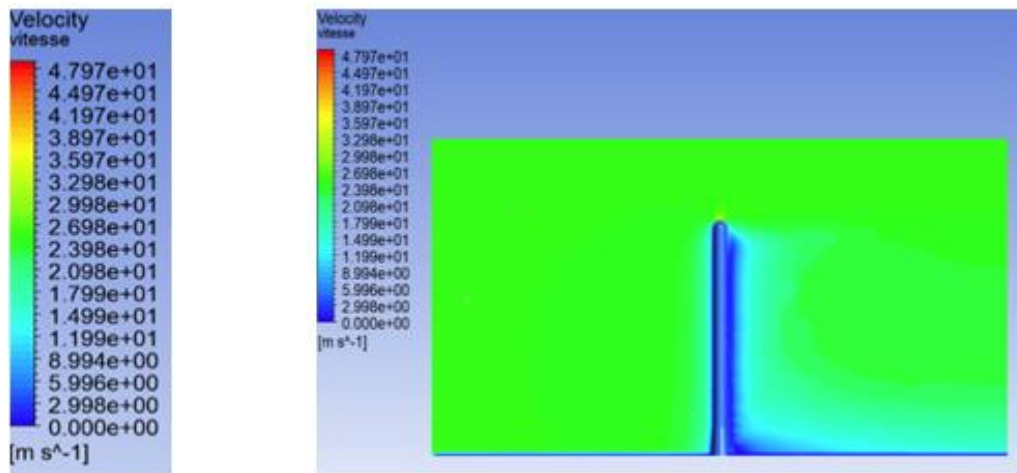


FIGURE IV-12: CONTOURS SUR LE PLAN (XY)

2) Contours sur le plan (XZ)

L'augmentation de la vitesse dans le plan XZ (FIGURE IV 13) autour de la colonne de distillation est attribuable à la formation d'un écoulement tourbillonnaire ou vortex, qui est courant lorsqu'il y a des obstacles dans un flux. Ce tourbillon peut provoquer une augmentation locale de la vitesse.

Par ailleurs, la hauteur de la colonne 700-C1 (56.85 m) a également un effet sur le flux. Plus la hauteur est élevée, plus la pression à la base de la colonne sera importante. Cela peut entraîner une augmentation de la vitesse dans les zones environnantes.

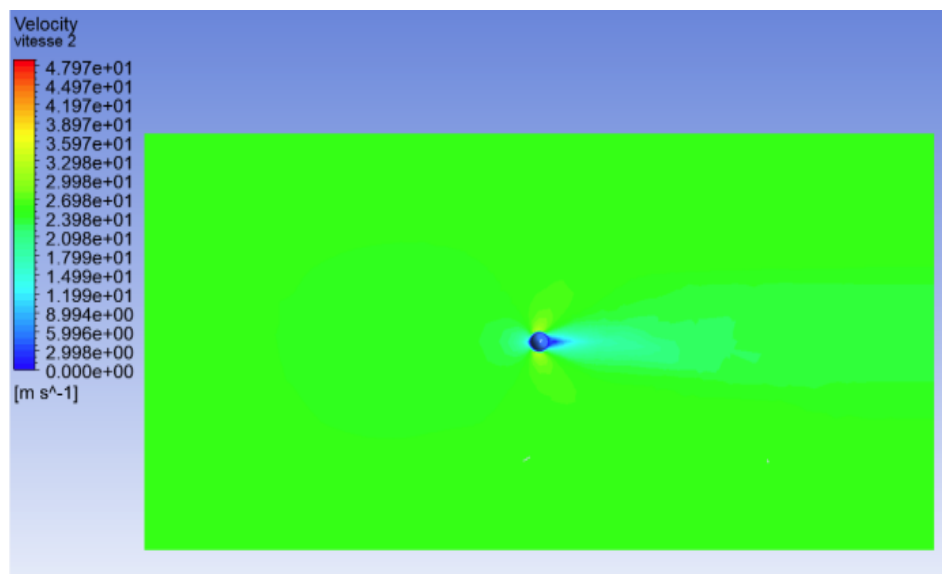


FIGURE IV-13: CONTOUR DE VITESSE DANS LE PLAN (XZ)

IV.5.1.1.3 Distribution de la viscosité turbulentes (contour 2)

Le deuxième graphique de contour représente la distribution de la viscosité turbulente, qui est une quantité essentielle en mécanique des fluides car elle permet de calculer les forces de frottement entre le fluide et les surfaces en contact avec celui-ci.

La viscosité turbulente donne des informations sur la résistance du fluide au mouvement turbulent, et elle atteint généralement son maximum dans les zones les plus turbulentes .

Le graphe de contour de la viscosité turbulente dans ANSYS CFX (FIGURE IV 14) permet de visualiser la répartition spatiale de cette grandeur. Les zones où la viscosité turbulente est élevée jusqu'à (1,799 Pa/s) seront représentées en rouge ou en jaune sur le graphe, tandis que les zones où elle est faible jusqu'à $(5,012 \times 10^{-6} \text{ Pa/s})$ apparaîtront en bleu ou en vert fournissent des informations sur les zones où le mouvement est le plus turbulent.

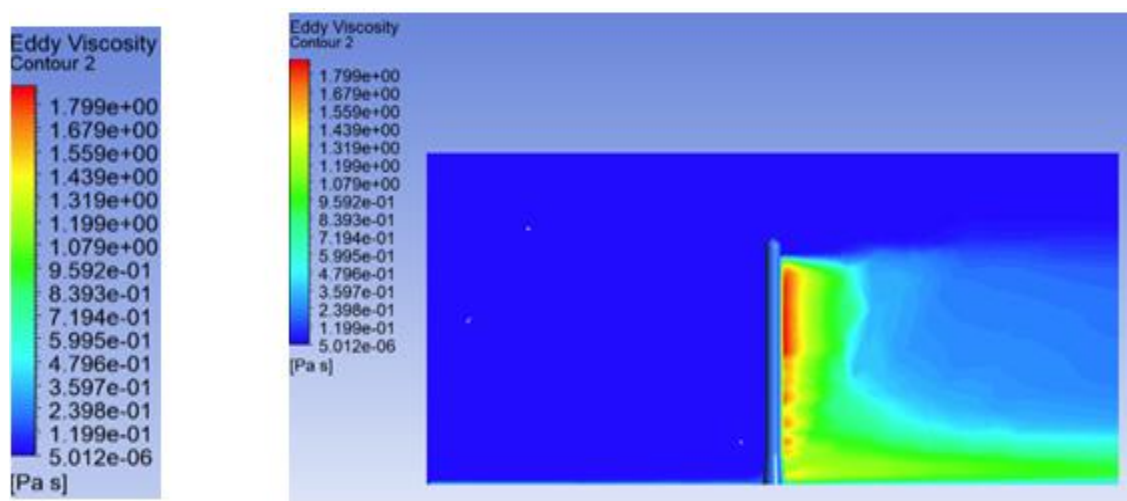


FIGURE IV-14: DISTRIBUTION DE LA VISCOSITE TURBULENTES (CONTOUR 2)

➤ 2 -ème cas :vitesse du vent minimale 5 m/s :

Lors d'une étude aérodynamique d'une colonne de distillation, la diminution de la vitesse peut avoir un impact significatif sur les résultats obtenus, notamment sur la pression , la vitesse et la viscosité turbulente. Il est important d'interpréter les résultats des graphes générés par le logiciel ANSYS-CFX afin de comprendre l'impact de la vitesse du vent sur ces variables.

- 1) la baisse de pression de 394,5 Pa à 16,78 Pa (Figure IV-15) suggère que la colonne rencontre moins de résistance à l'écoulement lorsque la vitesse du vent est réduite. Cela peut avoir des implications positives sur les performances de la colonne, avec une diminution de la perte de charge et une amélioration de l'efficacité globale du processus de distillation.
- 2) La diminution de la vitesse de 47,97 m/s à 9,558 m/s est attribuée à une diminution de l'énergie cinétique de l'écoulement et à une augmentation de la dissipation d'énergie dans la zone de turbulence.
- 3) Pour ce qui est de la viscosité turbulente , une diminution de la vitesse du vent (5m/s) entraîner une augmentation de la viscosité turbulente (38.24 Pa.s) , car l'écoulement devient plus lent.

Finalement , la réduction de la vitesse peut avoir un impact sur la stabilité de la colonne de distillation, donc une vitesse plus faible rendre l'écoulement plus stable, car elle réduit les forces exercées sur les parois de la colonne et peut réduire la turbulence à l'intérieur de la colonne 700-C1 .

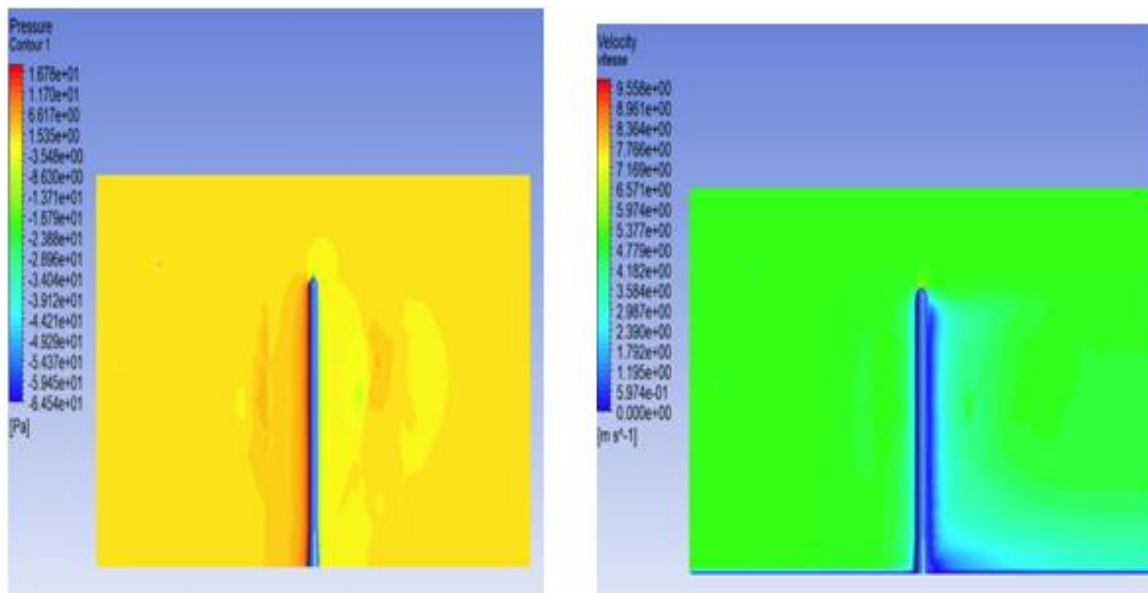


FIGURE IV-16: CONTOUR DE PRESSION STATIQUE, ET LA VITESSE DANS LE PLAN (XY)

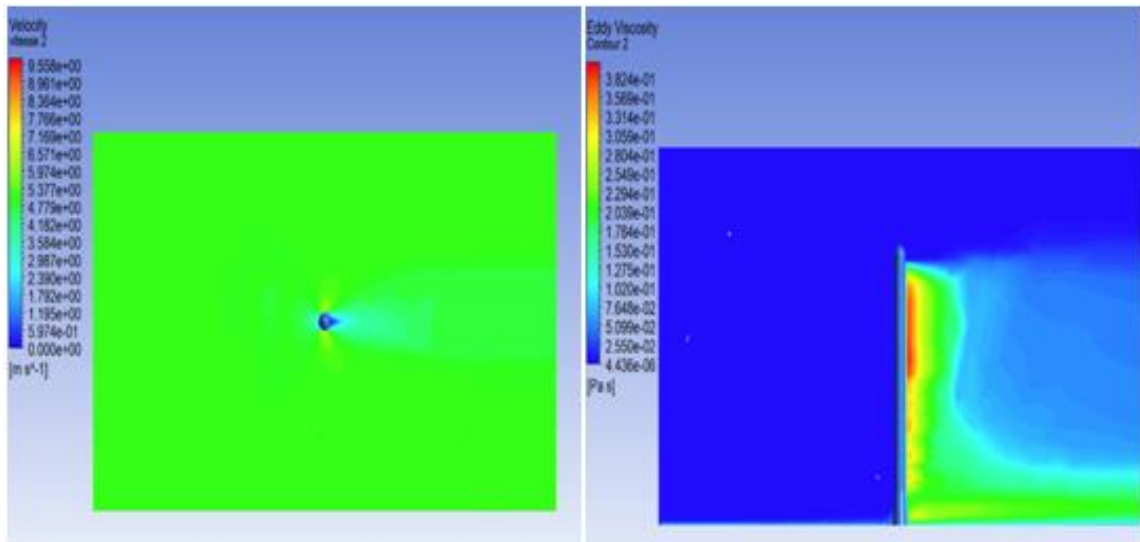


FIGURE IV-17: CONTOUR DE VITESSE DANS LE PLAN (XY) ET CONTOUR DE VISCOSITE TURBULENTE(XZ)

➤ 3-ème cas vitesse du vent maximale (100 m/s)

Dans ce cas, l'augmentation de la vitesse d de 25 m/s à 100 m/s a entraîné une augmentation significative de la pression, passant de 394,5 Pa à 6301 Pa. Cette augmentation de pression est due à l'augmentation de la vitesse passant de 47,94 m/s à 192,2 m/s. qui exerce une force plus importante sur les parois de la colonne.

Il est à noter que la viscosité turbulente a augmenté de 1,799 à 1,981 Pa/s, ce qui indique une turbulence plus forte et plus intense.

Enfin en interprétant ces résultats, on peut dire que cette augmentation de la pression et de la vitesse affecter la stabilité de la colonne et peut nécessiter une conception plus robuste pour résister aux forces générées par l'écoulement .

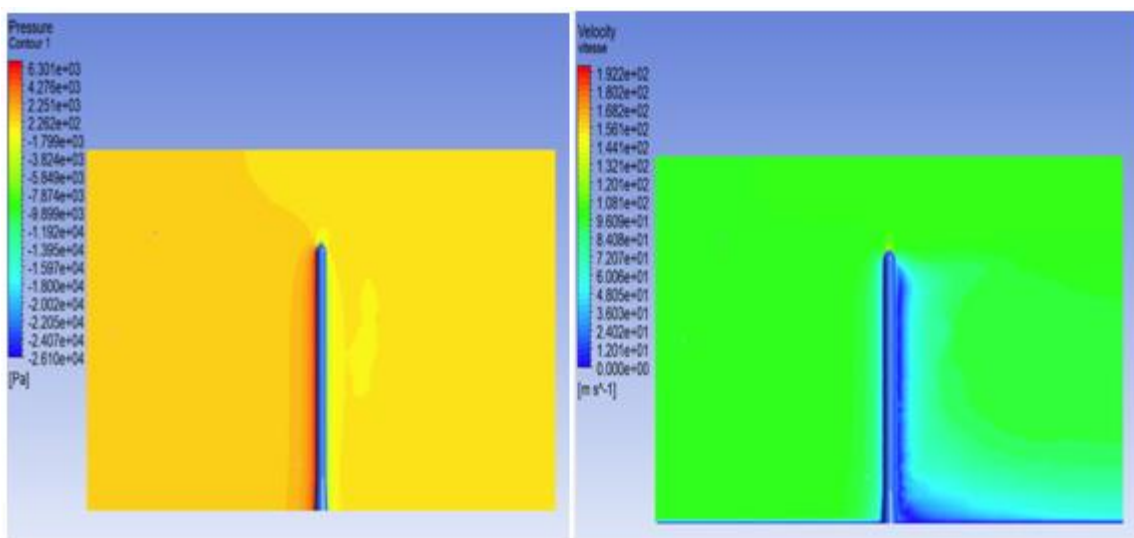


FIGURE IV-18: CONTOUR DE VITESSE DANS LE PLAN (XZ) ET CONTOUR DE VISCOSITE TURBULENTE

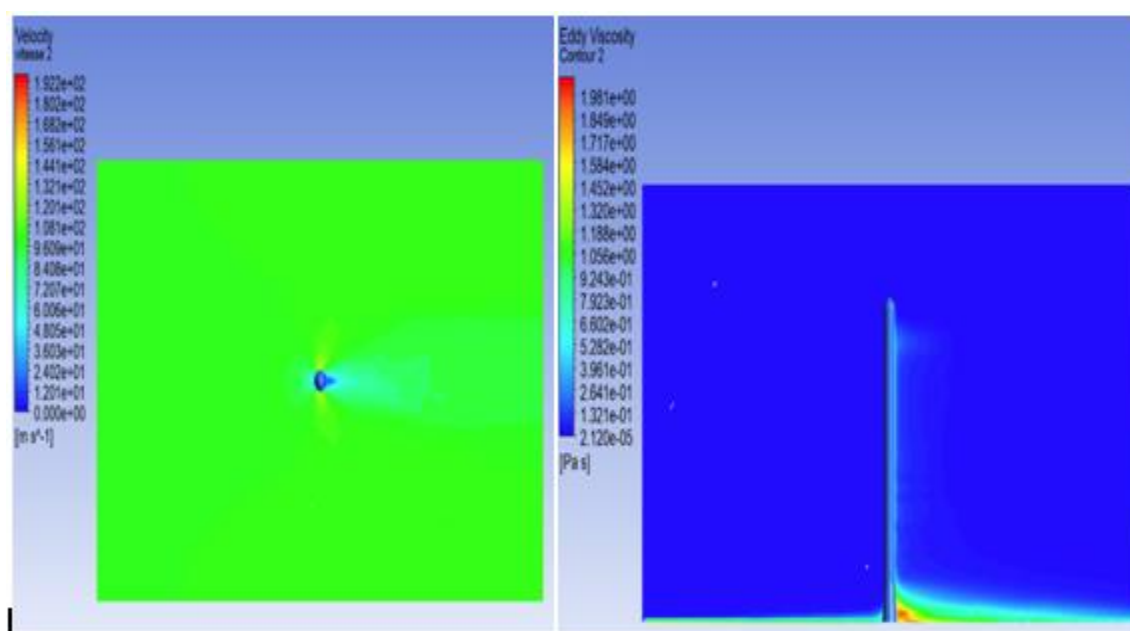


FIGURE IV-19: CONTOUR DE VITESSE DANS LE PLAN (XY) ET CONTOUR DE VISCOSITE TURBULENTE (XZ)

En résumé : Les fluctuations de la vitesse du vent ont eu un impact significatif sur la pression, la vitesse et la viscosité turbulente. Il est donc essentiel de prendre en compte la vitesse de référence du vent avant la conception d'une colonne de distillation pour évaluer et garantir la stabilité de l'installation, ainsi que pour optimiser ses performances et sa sécurité dans divers domaines d'application.

IV.6 Étude paramétrique des grandeurs aérodynamique :

L'étude paramétrique vise à évaluer l'impact de divers paramètres qui sont la différence de pression, la force du vent, le couple et le coefficient de trainée sur le comportement de la colonne dans des conditions aérodynamiques.

En se concentrant plus particulièrement sur l'effet de la force du vent sur ces paramètres, Les résultats de cette étude sont présentés sous forme de tableaux via Ansys-CFX, Cela permet de mieux comprendre la corrélation entre les différents paramètres et les performances aérodynamiques de la colonne.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs des paramètres aérodynamiques obtenues par le logiciel ANSYS CFX, en fonction de la variation de la vitesse du vent :

Table of Design Points						
	A	B	C	D	E	F
1	Name	P6 - VitesseVent	P7 - CDrag	P8 - Couple	P9 - Forcevent	P10 - Pression
2	Units	m s ⁻¹		J	N	Pa
3	DP 0 (Current)	5	0.60207	1.1974E+05	-4148.6	-8.2507
4	DP 1	10	0.59527	4.7342E+05	-16407	-32.701
5	DP 2	15	0.59069	1.0561E+06	-36632	-72.711
6	DP 3	20	0.58639	1.863E+06	-64649	-128.16
7	DP 4	25	0.58435	2.9016E+06	-1.0066E+05	-199.04
8	DP 5	30	0.58331	4.1712E+06	-1.447E+05	-285.4
9	DP 6	40	0.58998	7.492E+06	-2.6018E+05	-511.08
10	DP 7	50	0.59109	1.1723E+07	-4.073E+05	-799.65
11	DP 8	60	0.59201	1.6904E+07	-5.8742E+05	-1153.8
12	DP 9	80	0.59254	3.0076E+07	-1.0452E+06	-2054.1
13	DP 10	100	0.59297	4.7031E+07	-1.6344E+06	-3214.1
*						

FIGURE IV-20: TABLEAU DES PARAMETRES AERODYNAMIQUE VIA ANSYS-CFX

➤ **Variation du couple en fonction de la vitesse :**

Le couple du vent désigne la force de torsion exercée sur une structure par le vent, Elle est une mesure de la tendance d'une force à faire tourner un objet autour d'un point, qui peut entraîner une torsion et des dommages sur la structure de la colonne

Le couple aérodynamique C exercé par un écoulement d'air sur une structure est donné par la formule suivante :

$$C = F \times B$$

Avec:

F: la force de traînée résultante exercée par l'écoulement d'air sur la structure. Cette force est perpendiculaire à l'écoulement. (N)

B: le bras de levier, c'est-à-dire la distance entre le point d'application de la force F et l'axe de rotation de la structure. (m)

Le graphe représentant la variation du couple en fonction de la vitesse du vent (Figure IV-21) est une courbe en forme de parabole. Il illustre que le couple du vent croît proportionnellement à la vitesse du vent, donc plus la vitesse du vent est élevée, plus la force de traînée est élevée, ce qui augmentera le couple du vent et les vibrations dans la colonne qui peuvent affecter la qualité finale du produit de la distillation

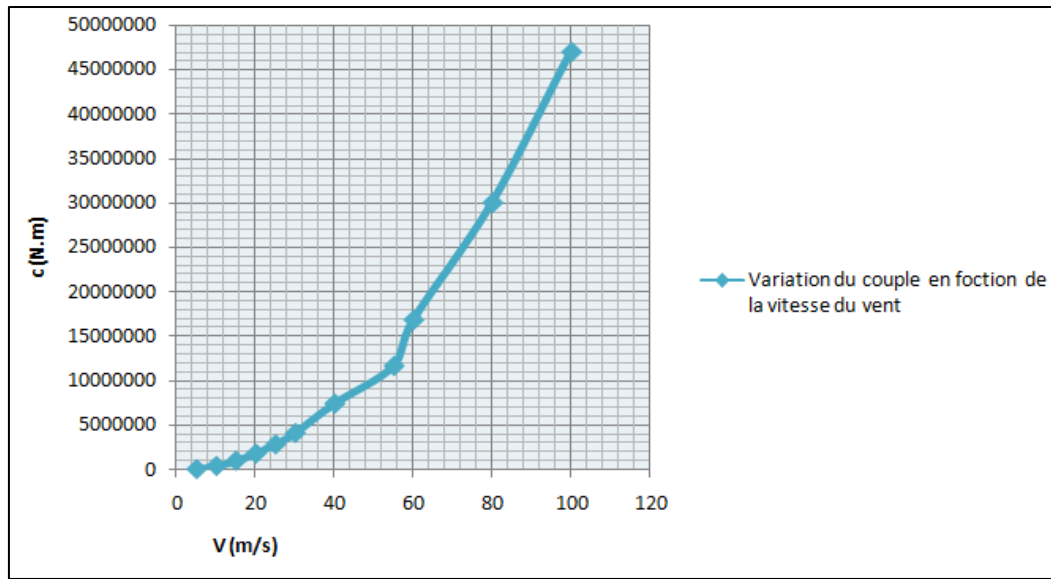


FIGURE IV-22: COURBE DE LA VARIATION DU COUPLE EN FONCTION DE LA VITESSE

➤ **la variation de la pression en fonction de la vitesse :**

Lorsque le vent souffle sur la face avant de la colonne, il rencontre une résistance à son écoulement. Cela crée une zone de haute pression à l'amont du cylindre. Simultanément, l'air s'écoule autour du cylindre, créant une zone de basse pression à l'aval. L'augmentation de la différence de pression entre l'amont et l'aval est directement proportionnelle à la vitesse du vent.

Le graphe décrivant la relation entre la différence de pression et la vitesse du vent présente une courbe en forme de parabole, démontrant ainsi que la différence de pression augmente de manière proportionnelle à la vitesse du vent.

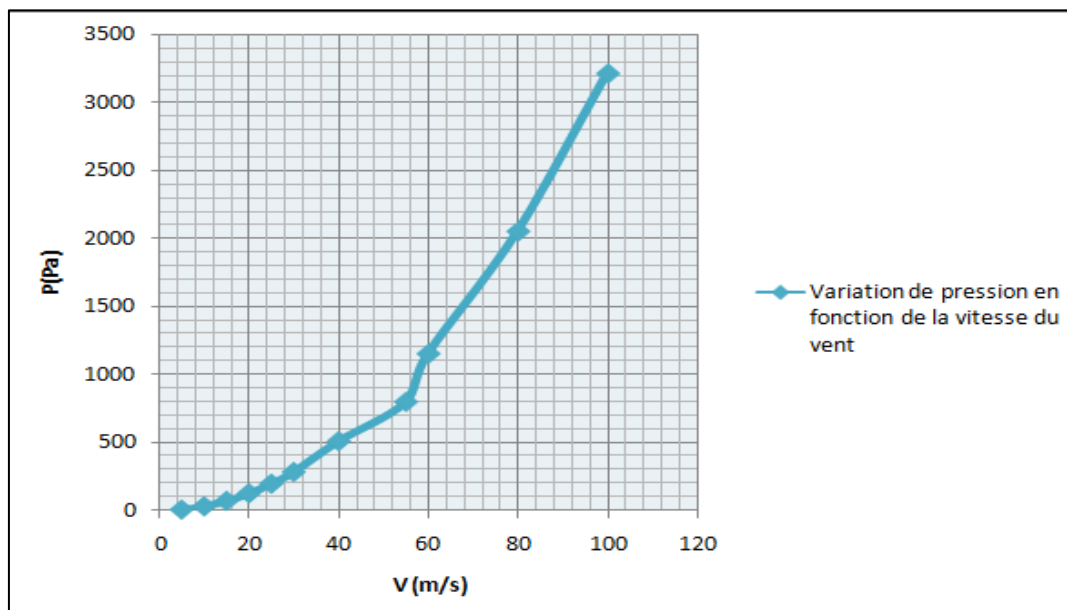


FIGURE IV-23: COURBE DE LA VARIATION DE LA PRESSION EN FONCTION DE LA VITESSE

➤ la variation de la force du vent en fonction de la vitesse :

Le graphe représente une courbe parabolique, illustrant ainsi la relation quadratique entre la force du vent et sa vitesse.

la force du vent :

$$F = 1/2 \times \rho \times S \times V^2$$

avec :

ρ : la masse volumique en kg/m^3

V : la vitesse de référence du vent en m/s

S : la surface de l'objet exposée au vent

La formule démontre que la force du vent augmente de manière proportionnelle à la surface de la colonne exposée au vent, et de manière quadratique par rapport à la vitesse du vent . Lorsque le vent rencontre la colonne , il se produit un phénomène appelé détachement de couche limite. À des vitesses de vent plus élevées, la couche limite peut se détacher plus facilement, créant ainsi un flux d'air turbulent et instable. Ce détachement de couche limite peut entraîner une augmentation de la force du vent, car l'air turbulent peut exercer des pressions plus élevées sur l'installation.

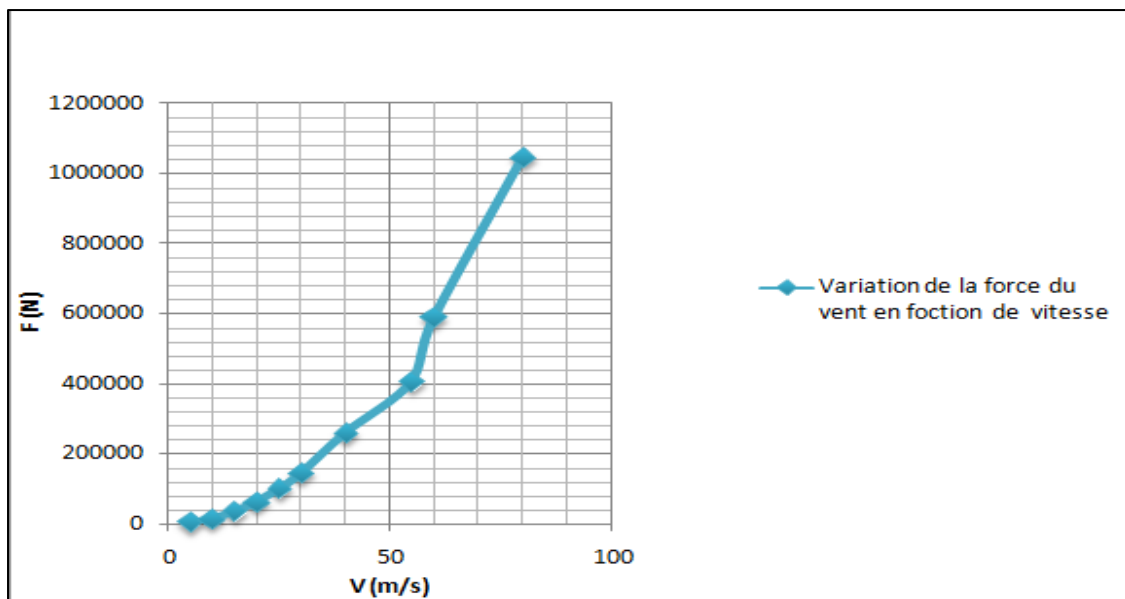


FIGURE IV-24: COURBE DE LA VARIATION DE LA FORCE DU VENT EN FONCTION DE LA VITESSE

➤ la variation du coefficient de traînée en fonction de la vitesse :

Le coefficient de traînée correspond à la mesure de la force de résistance exercée par l'air ou un fluide sur un objet en mouvement. Dans le cadre d'une étude aérodynamique sur une colonne de distillation, cette grandeur permet d'évaluer l'énergie perdue en raison de la résistance de l'air à l'écoulement autour de la colonne. Il convient de souligner que le coefficient de traînée est influencé par divers paramètres, notamment la géométrie de l'objet, la rugosité de sa surface, la densité et la viscosité de l'air.

La courbe illustre que le coefficient de traînée diminue au départ avec l'augmentation de la vitesse du vent, mais à partir de 35 m/s, il augmente à mesure que la vitesse du vent continue d'augmenter, car une vitesse plus élevée de l'air engendre une augmentation de la pression de l'air sur la surface de l'objet, ce qui conduit à une augmentation de la force de traînée. Cette variation de la courbe s'explique par la transition entre deux régimes de flux différents : le régime laminaire et le régime turbulent.

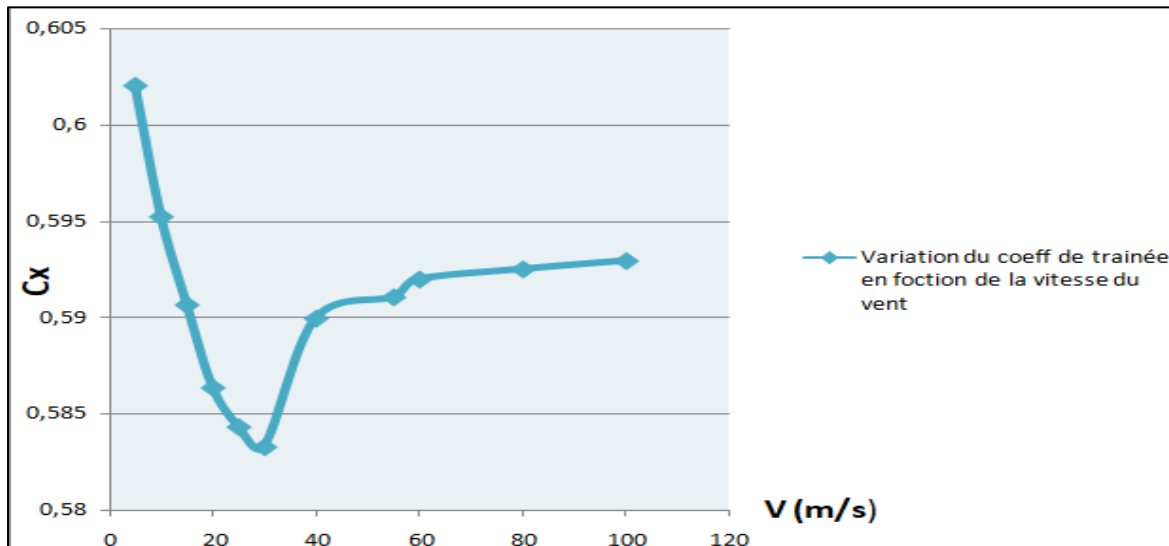


FIGURE IV-25: COURBE DE LA VARIATION DE COEFFICIENT DE TRAINEE EN FONCTION DE LA VITESSE

IV.7 Vérification des résultats

- **Vérification de la pression dynamique :**

on peut vérifier les résultats de la pression dynamique obtenu numériquement par des solutions analytiques pour prouver que l'étude est réalisée correctement.

La pression dynamique calculée analytiquement :

On a :
$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2$$

Avec :

ρ : la masse volumique en kg/m³ (1.29 Kg/m³ (25°c))

V : la vitesse de référence du vent en m/s (25 m/s) ρ

$P = 403,12 \text{ Pa}$

D'après le graphe la pression dynamique maximale à la vitesse de référence (25m/s) donnée par ANSYS-CFX : $P = 394.5 \text{ Pa}$

L'erreur relative :

$$\delta P = \frac{\text{valeur approchée} - \text{valeur réelle}}{\text{valeur réelle}} \times 100$$

Application numérique : $\delta P = 2.138 \%$

	Analytiquement	Simulation	Erreur relative
Pression dynamique	403.12	394.5	2.138 %

Donc les résultats calculés analytiquement et numériquement sont presque identique.

• **Vérification du coefficient de trainée :**

La loi du coefficient de trainée exprimée mathématiquement comme

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S}$$

Application numérique : $C_d = \frac{218713.03}{\frac{1}{2} \times 1.225 \times (25)^2 \times 952.22}$

Donc : $C_d = 0.6$

En se basant sur les résultats du logiciel, qui indiquent une valeur moyenne de 0.59, on peut procéder au calcul de l'erreur relative.

$$\delta P = \frac{\text{valeur approchée} - \text{valeur réelle}}{\text{valeur réelle}} \times 100$$

Application numérique : $\delta P = 1.33 \%$

	Analytiquement	Simulation	Erreur relative
Coeff de trainée	0.6	0.59	1.33 %

Donc les résultats calculés analytiquement et numériquement sont presque identique.

En résumé :

L'étude paramétrique a été menée pour évaluer l'impact de plusieurs paramètres (la variation de pression, le couple, la force du vent et le coefficient de trainée) sur le comportement de la colonne dans des conditions aérodynamiques, en se concentrant sur l'effet de la force du vent sur ces paramètres. Les résultats de cette étude nous permis de mieux comprendre la relation entre les différents paramètres et les performances aérodynamiques de la colonne.

IV.8 CONCLUSION

Suite à cette étude aérodynamique, nous pourrons mieux appréhender le comportement de la colonne de distillation dans des conditions extérieures sera possible. Cette compréhension permettra d'améliorer la conception et le dimensionnement de la colonne, garantissant ainsi leur efficacité et leur sécurité face aux vents forts. Les résultats de la simulation permettront donc l'optimisation de la performance et de la stabilité de la colonne dans divers environnements aérodynamiques. Toutefois, il est important de noter qu'il reste encore à vérifier la stabilité mécanique de la colonne 700-C1.

**V. CHAPITRE V : VERIFICATION DE LA STABILITE
MECANIQUE DE LA COLONNE 700-C1**

V.1 INTRODUCTION

La vérification de la stabilité externe de la colonne de distillation est une étape essentielle dans la conception et la sécurité de fonctionnement de l'unité de distillation, elle se réfère à la capacité de la colonne de distillation à supporter la charge externe agissant sur elle. Ces charges peuvent être dues au vent, aux tremblements de terre, aux fluctuations de pression ou à d'autres facteurs environnementaux. La vérification de la stabilité externe vise à s'assurer que la colonne est conçue et construite pour supporter ces charges et éviter tout risque de rupture.

La résistance structurelle des colonnes est évaluée à l'aide de normes et de codes de conception spécifiques. Ces normes fournissent des critères de conception et des facteurs de sécurité pour garantir que la colonne résistera aux charges externes prévues. Effectuez des calculs de résistance des matériaux et des simulations numériques dans notre cas on va utiliser ANSYS Mechanical pour évaluer la capacité de la colonne à résister à ces charges.

Des dispositifs de fixation et de soutien appropriés doivent être installés pour maintenir la colonne en place et lui permettre de résister aux forces externes. Ces dispositifs peuvent comprendre des ancrages, des supports de fondation et d'autres renforts structuraux.

V.2 Données de départ

V.2.1 Données d'opération : (ANNEXE B)

Fluide	NAPHTA A
pression de service	2.9/3.5 [Kg/Cm ²]
Température de Service	72/91 [C°]
Nombre de plateaux	68

TABLEAU V.1 : DONNEES D'OPERATION

V.2.2 Données de conception mécanique : (ANNEXE A)

Pression de calcul	4.5 [Kg/Cm ²]
Température d'épreuve hydrostatique	110 C°
Pression d'épreuve hydrostatique	9.45 [Kg/Cm ²]
Surépaisseur de corrosion	3 [mm]
Épaisseur d'isolation	40 [mm]
Diamètre extérieur de la jupe	4543 [mm]

Diamètre intérieur de la colonne		3600	[mm]
Diamètre extérieur de la colonne	Trançon 1	6050	[mm]
	Trançon 2	6100	[mm]
	Trançon 3	6000	[mm]
	Trançon 4	6100	[mm]
	Trançon 5	24900	[mm]
Le poid	A vide	340106	[Kg]
	Pleine d'eau	829550	[Kg]

TABLEAU V.2: DONNEES DE CONCEPTION MECANIQUE

V.2.3 Spécification des matériaux :

La virole		SA 516 Gr 70 ((C) : 0,27% - 0,31% ;(Mn) : 0,79% - 1,3% ;(P) : 0,035% ;(S) : 0,035% ; (Si) : 0,13% - 0,45%)
Fonds	Fonds superieur	SA 516 Gr 70
	Fonds inferieur	SA 516 Gr 70
La jupe		SA 516 Gr 70
Anneau de base		SA 283 Gr C ((C) : 0,08 % à 0,35 % ;(Mn) : 0,60 % à 1,65 % ;(P) : moins de 0,040 % ; (S) : moins de 0,050 % ;(Si) : 0,15 % à 0,40 % ;(Cu) : moins de 0,35 %)

TABLEAU V.3 : SPECIFICATION DES MATERIAUX

V.2.4 Propriétés des matériaux :

	σ_e	σ_r
SA 516 Gr 70	260 [N/mm ²]	485 [N/mm ²]
SA 283 Gr C	205 [N/mm ²]	380 [N/mm ²]
SA 307 Gr C	240 [N/mm ²]	415 [N/mm ²]

TABLEAU V.4: PROPRIETES DES MATERIAUX

Dans cette partie on va vérifier les résultats obtenus analytiquement avec ceux obtenus à l'aide du logiciel ANSYS Mechanical, qui utilise des méthodes de résolution numérique.

V.3 ANSYS Mechanical

Est un logiciel de simulation numérique utilisé dans le domaine de l'ingénierie pour analyser et résoudre des problèmes complexes liés aux structures, à la mécanique des fluides et à la dynamique des corps rigides. Il fait partie de la suite de logiciels ANSYS.⁽⁸⁾

Pour simuler la colonne, les étapes suivantes ont été réalisées :

1.Définir le type d'analyse : Nous avons sélectionné le type d'analyse statique dans le module d'étude (Study).⁽⁸⁾

2. Créer la géométrie La géométrie de la colonne de distillation a été importée dans le logiciel à partir du logiciel de CAO SolidWorks.⁽⁸⁾

3. Mailler la géométrie : Nous avons procédé à la création d'un maillage géométrique afin de discretiser le domaine en éléments finis. Nous sélectionnons le type d'éléments, ajustons les paramètres de maillage, puis exécutons le maillage. Toutes ces opérations sont effectuées dans le module dédié au maillage (Meshing).

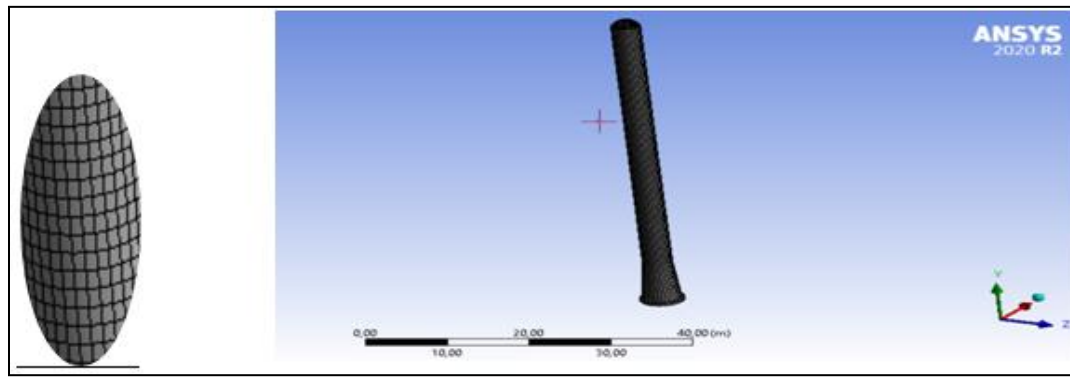


FIGURE V-1:MAILLAGE DE LA GEOMETRIE

Les statistiques du maillage :

ordre des éléments Linéaire

Nombre d'élément

46300

Taille d'élément

0.5 m

Nombre de nœuds

24447

4. Appliquer les conditions aux limites Nous avons spécifié les conditions aux limites requises pour la simulation de la colonne, telles que :

Les forces appliquées :

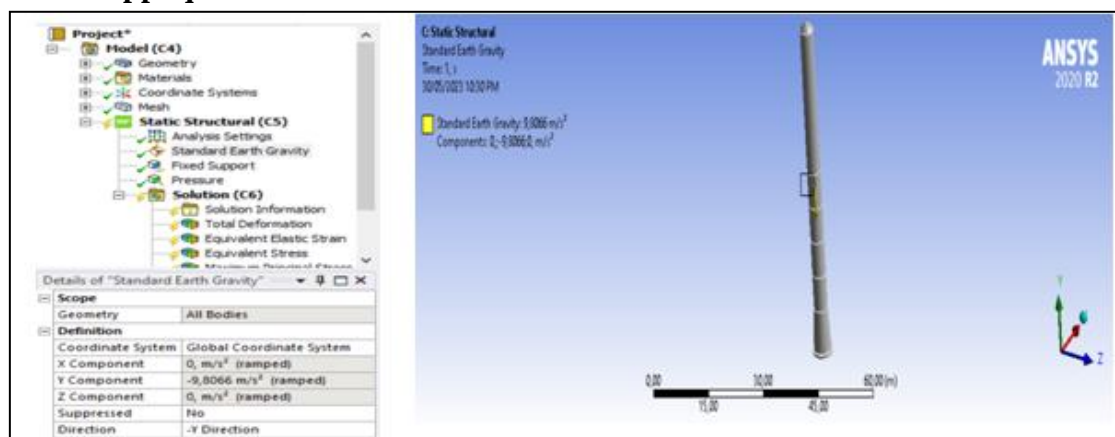


FIGURE V-2:APPLICATION DE LA GRAVITE TERRESTRE STANDARD

Les contraintes appliquées :

$$\sigma_{fl} = \frac{M_f \times y}{I}$$

Avec :

σ_{fl} : Contrainte de flexion [N/mm²]

M_f : Moment flechissant 11069815.14 [N m]

Y : La hauteur totale de la colonne incluant la jupe 56.8 [m]

I : Le moment d'inertie de la section transversale de la poutre : 1.59 [m⁴]

$$\sigma_{fl} = 395.45 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

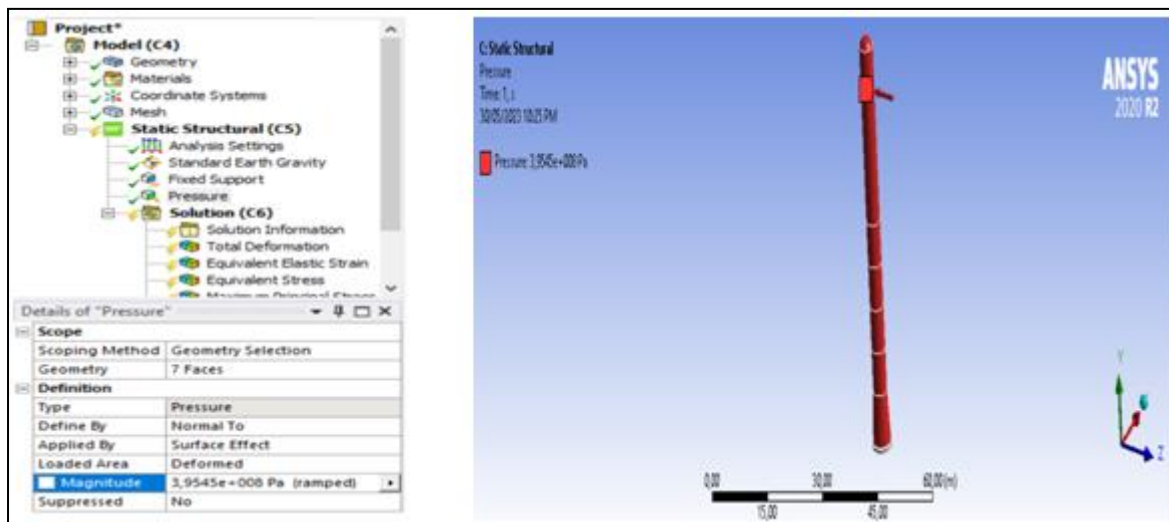


FIGURE V-3: LA CONTRAINTE APPLIQUEE

Les appuis appliqués



FIGURE V-4: FIXATION DE LA BASE DE LA COLONNE

5. Résoudre le problème : Nous exécutons le calcul dans le module de résolution (Solution) afin d'obtenir les résultats souhaités.

6. Post-traiter les résultats : visualiser les déplacements, contraintes, déformations, modes propres, etc. en fonction du type d'analyse. Ceci se fait dans le module de post-traitement (Postprocessing)

V.4 Vérification de la stabilité générale de la colonne

Les calculs sont conformés selon le code ASME, SECTION VIII DIVISION 1 et la réglementation française NV 65 ET PSI 1969

V.4.1 Calcul de la charge due au poids d'équipement plein d'eau:

Cette charge est calculée à partir de la formule suivante :

$$\sigma_w = q_{\max} \cdot g$$

Avec

$q_{\max}$: poids d'équipement plein d'eau 829550 [Kg]

$g = 9,81$ [m/s²]

$$\sigma_w = 8137885,5 \text{ [N]}$$

V.4.2 La charge due à la compression longitudinale au niveau de l'anneau de base :

L'équipement est exposé à des charges multiples telle que la charge due au vent, la charge due au séisme et la charge due au poids de l'équipement en service.

La charge résultante de compression est composée de trois charges :

$$\sigma_{cl} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$

Avec :

σ_1 : charge due au poids en service

σ_2 : charge due au vent

σ_3 : charge due au séisme

➤ Calcul de la charge au niveau de l'anneau de base résultant du poids en service:

la charge au niveau de l'anneau de base due au poids de l'équipement déterminé à partir de la formule suivante:

$$\sigma_1 = P_s \times g$$

Avec :

P_s: le poids de l'équipement en service

g : Accélération de pesanteur 9.81 [m/s²].

$$\sigma_1 = 395643 \times 9,81$$

$$\sigma_1 = 3881.26 \cdot 10^3 \text{ [N]}$$

➤ **Calcul de la charge due au vent :**

La charge due au vent dépend de la dimension la plus grande (horizontale ou verticale) de la surface exposée au vent et de la hauteur h du point le plus haut de cette surface

Pour notre équipement, le point le plus haut c'est le sommet de la plate forme.

$$\sigma_2 = P \times S_p$$

Avec :

P :pression du vent 1471 [Pa]

S_p : surface projetée 212.59 [m²]

$$\sigma_2 = 318044,3695 \text{ [N]}$$

➤ **calcul de la charge due au séisme :**

La charge sismique est un facteur clé à prendre en compte lors de la vérification de la stabilité externe d'une colonne de distillation. Les tremblements de terre génèrent de grands mouvements sismiques qui exercent d'énormes contraintes sur les colonnes et compromettent leur stabilité structurelle. Une analyse sismique complète selon les normes et les codes de conception est nécessaire pour évaluer la réponse de la colonne.

$$\sigma_3 = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} W$$

AVEC:

A : coeff de la zone d'accélération	0,25
D : facteur d'amplification dynamique moyenne	1,07
Q : facteur de qualité	1,10
R : coeff de la performance globale de la structure	2
W : poids total de la structure	378500 [Kg]

$$\sigma_3 = 549347,939 \text{ [N]}$$

Finalement, en remplaçant les valeurs trouvées dans la formule de la charge résultante de compression on aura :

$$\sigma_{cl} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$

$$\sigma_{cl} = 4748650.14 \text{ N}$$

$$\sigma_w = 8137885,5 \text{ N}$$

$$\sigma_{cl} = 4748650.14 \text{ [N]} \ll \sigma_w = 8137885,5 \text{ [N]}$$

d'où la stabilité générale de la colonne est vérifiée

V.5 Calcul de la flèche

Il est nécessaire de concevoir les colonnes de manière à limiter leur flexion à un maximum de 150 [mm] pour 30 [m] de hauteur.

La flèche résultant de la charge du vent peut être déterminée en utilisant la formule suivante.(selon standard ASCE 7-95(Formerly ANSI A581).

$$\Delta_d = \frac{P_v D_i H (12H)^3}{16EI}$$

Avec :

Δ_d : la fleche maximale

P_v : pression du vent 1471 [Pa]

H_{tot} : hauteur de la colonne $h_{tot} = h_{cl} + h_{skt} = 49050 + 7800 = 56850$ [mm]

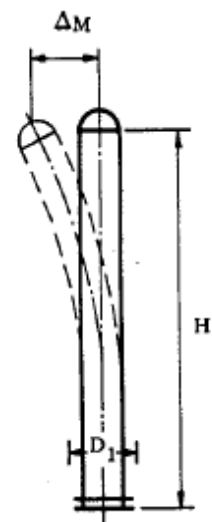
E : module d'élasticité $2,04153915 \times 10^{11}$ [Pa]

D_i : diamètre intérieur de la colonne 3600 [mm]

I : moment d'inertie ($r^3 \pi e_j$)

E_j : épaisseur de la jupe 34 [mm]

$R = 1800$ [mm]



$$\Delta_d = 46.97 \text{ mm}$$

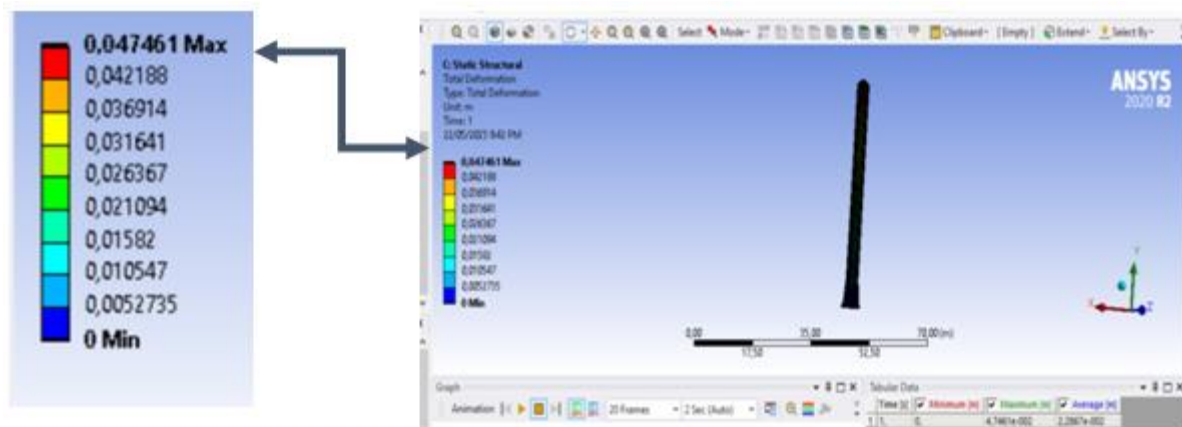


FIGURE V-5: LA FLECHE DE LA COLONNE

Comparaison des résultats :

	ANALYTIQUE	SIMULATION	ERREUR RELATIVE
La flèche de la colonne [mm]	46.97	47.46	0.0104

Les résultats calculés analytiquement et numériquement sont presque identique

- La flèche maximale autorisée est de 150 mm pour 30 m de hauteur :

$$\Delta_{m \text{ adm}} = \frac{49.05 \times 0.15}{30} = 245,25 \text{ [mm]}$$

$$\Delta_m = 46.97 \text{ [mm]} \ll \Delta_{m \text{ adm}} = 245,25 \text{ [mm]}$$

Etant donné que la flèche réelle ne dépasse pas cette limite, la stabilité de la colonne est vérifiée

V.6 Distribution des contraintes de Von mises :

Le matériau SA -516 -70 correspond à l'acier, avec les propriétés mécaniques

$$\sigma_{limite} = 260 \text{ MPa} , \sigma_r = 415 \text{ MPa}$$

La simulation par ANSYS STATIC STRUCTURAL donne le résultat suivant :

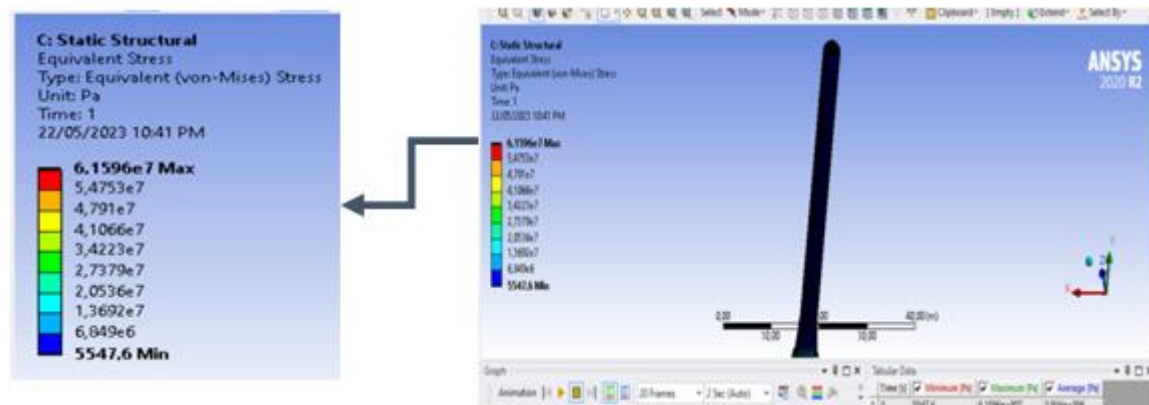


FIGURE V-6: DISTRIBUTION DES CONTRAINTES DE VON MISES

Nom de l'objectif	unité	Valeur minimale	Valeur moyen	Valeur maximale
Contrainte (Von mises)équivalente	[Pa]	5547.6	3.516×10^6	61.59×10^6

- Condition de résistance :

$$\sigma_{\text{von mises}} < \sigma_{\text{limite}}$$

$$\sigma_{\text{von mises}} = 61.59 \text{ [MPa]} < \sigma_{\text{limite}} = 260 \text{ [MPa]}$$

D'après l'étude globale, on a trouvé que la colonne résiste mais il reste à confirmer ces résultats par un coefficient de sécurité suffisamment large

V.7 Distribution de coefficient de sécurité dans la structure :

Le coefficient de sécurité est une mesure utilisée pour évaluer la marge de sécurité entre les charges appliquées et la capacité de la colonne à résister à ces charges.

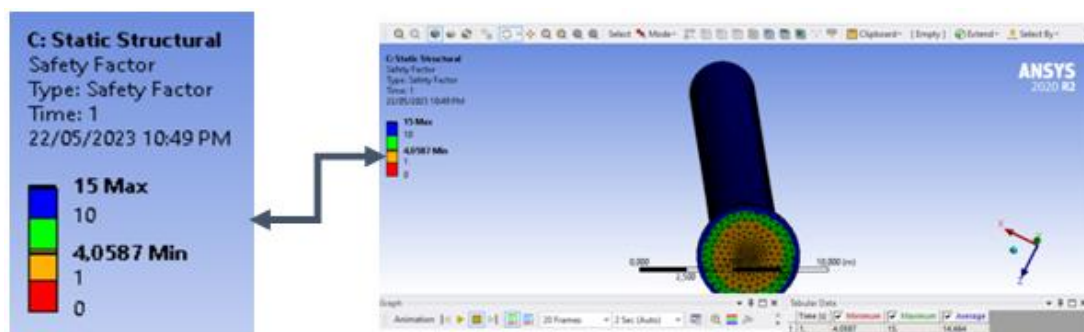


FIGURE V-7: DISTRIBUTION DE COEFFICIENT DE SECURITE

La figure ci-dessus représente la distribution du coefficient de sécurité CS dans la structure. Sa valeur minimale est de 4.0587 ce qui suffisant pour dire que la colonne résiste .

V.8 Vérification de la stabilité de la jupe :

La contrainte présente dans la paroi de la jupe résulte de la combinaison des contraintes induites par le poids de l'appareil et par le moment fléchissant M_f .

- **Condition de stabilité:**

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma_s]$$

Avec :

$\sigma_{\max}$: la contrainte maximale sur la jupe

$[\sigma]_s$: contrainte admissible du matériau de la jupe $[N/mm^2]$.

V.8.1 Partie supérieure de la jupe

La contrainte maximale sur la partie supérieure de la jupe :

$$\sigma_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S_j} + \frac{M_{\text{vent}}}{W_j}$$

Où :

$Q_{\max}$: charge maximale sur la jupe ,8137885 ,5 [N]

M_{vent} : moment du vent 10437485.3 [N.m]

S_j : surface la section transversale de la jupe:

$$S_j = \pi \cdot D_{mj} \times e_j \text{ [mm}^2\text{]}$$

Avec :

e_j : épaisseur de la jupe 32 [mm]

D_{mj} : Diamètre moyen de la jupe. :

$$D_{mj} = D_{\text{int}} + e_j$$

$$D_{mj} = 4262.2 + 32 = 4294.2 \text{ [mm]}$$

$$S_j = \pi \times 4294.2 \times 32$$

$$S_j = 431700.06 \text{ [mm}^2\text{]}$$

W_j : Module de résistance à la flexion de la section transversale de la jupe

$$W_j = 0.8 \times D_{mj}^2 \times e_j \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$W_j = 0.8 \times 4294.2^2 \times 32$$

$$W_j = 4.72 \times 10^8 \text{ [mm}^3\text{]}$$

En substituant les valeurs obtenues dans la formule de contrainte maximale de la jupe, nous aurons :

$$\sigma_{\max} = \frac{8137885.5}{431700.06} + \frac{10437485.3}{4.72 \times 10^8}$$

$$\sigma_{\max} = 18.87 \text{ [MPa]}$$

$$[\sigma_s] = \frac{\sigma_{cr}}{n_s}$$

où:

n_s : Coefficient de sécurité ($n_s = 2$)

σ_{cr} : Contrainte admissible du matériau de la jupe, elle est en fonction du rapport entre la hauteur de la jupe et la longueur critique de l'onde :

$$\sigma_{cr} = f(H_j ; L_{cr})$$

L_{cr} : longueur critique , $l_{cr} = 1.009 \cdot \pi \cdot R_{ej}$

H_{sj} : la hauteur de la jupe $h_{sj} = 5890$ [mm]

R_{sj} : rayon de la partie supérieure de la jupe , $R_{sj} = 2163.1$ [mm]

- Calculons le rapport :

$$\frac{H_j}{L_{cr}} = \frac{5890}{6856.73} = 0.859 > 0.707$$

Dans ce cas, la formule utilisée pour la contrainte critique est la suivante :

$$\sigma_{cr} = f(h_j, l_{cr}) = 1.47 \cdot E \left(\frac{e-c}{R} \right)$$

Avec

c : surépaisseur de corrosion , $c = 3$ [mm]

E : Module d'élasticité longitudinale $E = 202.35 \times 10^3$ [MPa]

$$\sigma_{cr} = 3987.8 \text{ [MPa]}$$

En conclusion, nous obtenons : $[\sigma_s] = \frac{3987.8}{2}$

$$[\sigma_s] = 1993.93 \text{ [MPa]}$$

V.8.2 Partie inferieur de la jupe

La contrainte maximale sur la partie inferieure de la jupe :

$$\sigma_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S_j} + \frac{M_{\text{vent}}}{W_j}$$

Où :

$Q_{\max}$: charge maximale sur la jupe , 8137885 ,5 [N]

M_{vent} : moment du vent 11065110.91 [N.m]

S_j : surface la section transversale de la jupe:

$$S_j = \pi \cdot D_{mj} \times e_j \text{ [mm}^2\text{]}$$

Avec :

e_j : épaisseur de la jupe 34 [mm]

D_{mj} : Diamètre moyen de la jupe. :

$$D_{mj} = D_{int} + e_j$$

$$D_{mj} = 4475 + 34 = 4509 \text{ [mm]}$$

$$S_j = \pi \times 4509 \times 34$$

$$S_j = 481625 \text{ [mm}^2\text{]}$$

W_j : Module de résistance à la flexion de la section transversale de la jupe

$$W_j = 0.8 \times D_{mj}^2 \times e_j \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$W_j = 0.8 \times 4509^2 \times 34 = 5.53 \times 10^8 \text{ [mm}^3\text{]}$$

En substituant les valeurs obtenues dans la formule de contrainte maximale de la jupe, nous aurons :

$$\sigma_{\max} = \frac{8137885.5}{481625} + \frac{11065110.91}{5.53 \times 10^8}$$

$$\sigma_{\max} = 16.91 \text{ [MPa]}$$

$$[\sigma_s] = \frac{\sigma_{cr}}{n_s}$$

où:

n_s : Coefficient de sécurité ($n_s = 2$)

σ_{cr} : Contrainte admissible du matériau de la jupe ,elle est en fonction du rapport entre la hauteur de la jupe et la longueur critique de l'onde :

$$\sigma_{cr} = f(H_j ; L_{cr})$$

L_{cr} : longueur critique , $L_{cr} = 1.009 \cdot \pi \cdot R_{ej}$

H_{ij} : la hauteur de la jupe $h_{ij} = 1910$ [mm]

R_{ij} : rayon de la partie inférieure de la jupe , $R_{ij} = 2271.5$ [mm]

- Calculons le rapport :

$$\frac{H_j}{L_{cr}} = \frac{1910}{7196.7} = 0.265 < 0.707$$

Dans ce cas, la formule utilisée pour la contrainte critique est la suivante :

$$\sigma_{cr} = f(h_j, l_{cr}) = 0.06 \times E \times (e_j - c)^2 \times \left(\frac{9H_j^2}{8R_{ej}^4} + \frac{7\pi^4}{6H_j^2} \right)$$

$$\sigma_{cr} = 364.52 \text{ [MPa]}$$

$$[\sigma_s] = \frac{364.52}{2}$$

$$[\sigma_s] = 182.26 \text{ [MPa]}$$

- **Comparison des résultats**

	σ_{max} [MPa]	$[\sigma_s]$ [MPa]
Partie supérieure de la jupe	18.87	1993.93
Partie inférieure de la jupe	16.91	182.26

Après avoir obtenu les résultats et les avoir comparés, nous pouvons conclure que la stabilité de la jupe est assurée.

V.9 Vérification de la stabilité de l'anneau de base :

V.9.1 La contrainte maximale de compression dans l'anneau de base :

$$\sigma_{max} = \frac{Q_{max}}{S_{ab}} + \frac{M_{vent}}{W_{ab}}$$

Avec :

Q_{max} : charge maximale sur l'anneau de base 8137885,5 N

S_{ab} : surface de l'anneau de base

M_{vent} : moment du vent

W_{ab} : moment d'inertie

$$\begin{aligned} S_{ab} &= \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \\ &= \frac{\pi}{4} (4923^2 - 4243^2) = 4.89 \text{ [m}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{ab} &= \frac{\pi}{32} (D_{ext}^4 - D_{int}^4) / D_{ext} \\ &= 5.25 \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned}$$

$$M_{vent} = 5363937.06 \text{ [N.m]}$$

Alors

$$\sigma_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S_{ab}} + \frac{M_{\text{vent}}}{W_{ab}}$$

$$\sigma_{\max} = 2.952 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{\max} = 2.952 \text{ [MPa]} \ll \sigma_e = 205 \text{ [MPa]}$$

Cela signifie donc que la résistance de l'anneau de base est vérifiée.

V.9.2 Vérification de l'épaisseur de l'anneau de base :

L'épaisseur de l'anneau de base est donnée par la formule suivante :

$$e_{ab} = 1.73b \sqrt{\frac{\sigma_{\max}}{[\sigma]_{fl}}} \text{ [mm]}$$

Avec :

$\sigma_{\max}$: la contrainte maximale de compression dans l'anneau de base.

$$\sigma_{\max} = 2.952 \text{ [MPa]}.$$

b : largeur de partie extérieur de l'anneau de base, b = 340 [mm]

$[\sigma]_{fl}$: Contrainte admissible à la flexion [MPa].

$$[\sigma]_{fl} = \beta [\sigma] \text{ [MPa]}$$

$[\sigma]$: Contrainte admissible à la traction,

$$[\sigma] = 108.167 \text{ [MPa]}.$$

β : Coeff. de passage de la contrainte de traction à la contrainte de flexion égale 1,2

Alors:

$$[\sigma]_{fl} = 1.2 \times 108.167$$

$$[\sigma]_{fl} = 129.89 \text{ [MPa]}$$

$$e_{ab} = 88.7 \text{ [mm]}$$

	Valeur calculée [mm]	Valeur du constructeur [mm]
Epaisseur de l'anneau de base	88.7	90

En se basant sur la valeur fournie par le constructeur, on peut conclure que l'épaisseur de l'anneau de base est suffisante pour supporter la charge de l'équipement et résister à l'effet du vent.

V.10 Vérification de la nécessité de l'ancrage :

L'ancrage de la colonne de distillation est réalisé à l'aide d'accessoires tels que des boulons d'ancrage. Ces dispositifs sont conçus pour résister aux charges externes attendues et maintenir la colonne solidement en place et empêcher une déformation et des vibrations excessives ou des mouvements indésirables.

$$\sigma_{\min} = \frac{Q_{\min}}{S_{ab}} - \frac{M_v}{W_{ab}} \quad [\text{MPa}]$$

Avec :

$Q_{\min}$: poids de l'appareil à vide est égal à 3336439.9 [N]

On a :

1- $\sigma_{\min} > 0$

Alors $\frac{Q_{\min}}{S_{ab}} > \frac{M_v}{W_{ab}}$ donc l'équipement est stable (pas nécessaire d'ancrer la colonne).

2- $\sigma_{\min} = 0$

Alors $\frac{Q_{\min}}{S_{ab}} = \frac{M_v}{W_{ab}}$ donc équilibre théorique

3- $\sigma_{\min} < 0$

Alors $\frac{Q_{\min}}{S_{ab}} < \frac{M_v}{W_{ab}}$ donc l'équipement est instable (nécessité d'ancrer la colonne).

$$\sigma_{\min} = \frac{Q_{\min}}{S_{ab}} - \frac{M_v}{W_{ab}} = -0.339 \quad [\text{MPa}] < 0$$

➡ l'équipement n'est pas stable (nécessité d'ancrer la colonne).

V.10.1 Calcul des boulons d'ancrage :

- La charge totale sur l'anneau de base est :

$$P = \sigma_{\min} \times S_{ab} \quad [\text{N}]$$

Alors : $P = |-0.339| \times 4.89 \times 10^6$

$$P = 1.66 \times 10^6 \quad [\text{N}]$$

- La charge appliquée à un boulon d'ancrage :

$$P_b = \frac{P}{n} [N]$$

Avec :

P : la charge de traction agissante sur tous les boulons

n : nombre de boulons (n = 44 boulons).

Donc : $P_b = 3.77 \times 10^4 [N]$

La condition de résistance des boulons à la traction :

$$\sigma_b \leq [\sigma]$$

$[\sigma]$: contrainte admissible à la traction du matériau des boulons (SA 307 GR C)

,

$$[\sigma] = 115.22 [MPa]$$

$$\sigma_b = \frac{P_b}{S_b} [MPa]$$

Avec :

S_b : surface de chaque boulon

$$S_b = \pi \times \frac{D_b^2}{4} [mm^2]$$

D_b : diamètre du boulon est égal à 100 [mm]: Alors :

$$\sigma_b = \frac{3.77 \times 10^4}{7.85 \times 10^3} = 4.81 [MPa]$$

$$\sigma_b = 4.81 [MPa] < [\sigma] = 115.22 [MPa]$$

D'après les résultats, il est clair que les boulons d'ancrage résistent efficacement à la traction en cas de poussée de vent.

V.11 Vérification de la résistance de l'appareil lors de l'essai hydrostatique

L'essai hydrostatique a pour objectif principal d'assurer la sécurité et la fiabilité de la colonne de distillation. En augmentant la pression au-delà des conditions normales de fonctionnement, cet essai permet de détecter d'éventuelles faiblesses ou défauts structurels susceptibles de compromettre la sécurité de l'installation.

L'évaluation de la stabilité externe de la colonne est l'un des aspects clés de l'essai hydrostatique. Cela implique de s'assurer que la colonne peut résister aux forces et aux contraintes induites par la pression hydrostatique, sans subir de déformations excessives ou de défaillances structurelles. Ainsi, l'essai vise à vérifier la rigidité et la solidité suffisantes de la colonne pour supporter la pression hydrostatique appliquée

V.11.1la contrainte dans la virole :

la formule du contrainte est donnée par la formule suivante

$$\sigma_v = \frac{(\sum P + P_f) D_i}{2(e_v - c)} \leq [\sigma_{essai}]$$

Avec :

$[\sigma]_{essai}$: contrainte pendant l'essai hydrostatique,

$$[\sigma]_{essai} = 0.9 \sigma_e$$

σ_e : limite élastique à la température de l'essai hydrostatique, $\sigma_e = 260$ [MPa]

$$[\sigma]_{essai} = 260 \times 0.9 = 234 \text{ [MPa]}$$

$$[\sigma]_{essai} = 234 \text{ [MPa]}$$

e_v : épaisseur de la virole

c : addition supplémentaire à l'épaisseur du corps de l'appareil, $c = 3$ [mm]

P_f : pression fictive correspondant aux charges supplémentaires sur le corps de l'appareil,

$$P_f = \frac{2\phi[\sigma]\Delta_e}{D_i + \Delta_e} \text{ [MPa]}$$

Δ_e : addition qui tient compte des charges supplémentaires, $\Delta_e = 2$ [mm]

d_i : diamètre intérieur de la colonne 3600 [mm]

ϕ : coefficient de soudure longitudinale, $\phi = 1$.

$[\sigma]$: contrainte admissible à la température d'essai hydrostatique

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_r^{20^\circ}}{n_r}; \frac{\sigma_e^{20^\circ}}{n_e} \right\} = \min \left\{ \frac{485}{3}; \frac{260}{1.5} \right\}$$

$$[\sigma] = \{137.66; 173.33\}$$

$$[\sigma] = 137.66 \text{ [MPa]}$$

Alors : $P_f = 0.153$ [MPa]

La pression réelle σ_p est égale à :

$$\sum p = P_{essai} + P_{st}$$

P_{essai} : pression d'essai hydrostatique est égale à :

$$P_{essai} = 1.3 \cdot P_s \cdot k \quad (\text{selon code ASME VIII div I})$$

Avec $k = \delta a / \delta d = 1$

δa : contrainte admissible (T du test hydrostatique)

δd : contrainte admissible (T du design)

$$P_{\text{essai}} = 1,3 \cdot 7,27 \cdot 1 = 9,451 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{\text{essai}} = 0.927 \text{ [MPa]}$$

P_{st} : la pression de l'eau que contient la colonne. $P_{\text{st}} = \rho g h$,

avec :

ρ : masse volumique d'eau : $\rho = 1000 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$.

g : accélération de pesanteur : $g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$.

H : hauteur de la colonne : $h = 49050 \text{ [mm]}$

$$P_{\text{st}} = 0.481 \text{ MPa}$$

$$\Sigma P = P_{\text{essai}} + P_{\text{st}} = 1.41 \text{ [Mpa]}$$

Finalement, en remplaçant les valeurs trouvées dans la formule de la contrainte pendant l'essai hydrostatique on aura :

$$\sigma_v = \frac{(1.41 + 0.153) 3600}{2(e_v - 3)} \leq [\sigma_{\text{essai}}] = 234 \text{ [MPa]}$$

Virole	Epaisseur	σ_v	$[\sigma]_{\text{essai}}$
1	28	112.54	234
2	22	148.07	234
3	20	165.49	234
4	16	216.41	234
5	14	229.21	234

V.11.2 Fond supérieur :

$$\sigma_{fs} = \frac{(\Sigma P + P_f) \times y_{fs} \times D_i}{2(e_{fs} - c)} \leq [\sigma_{\text{essai}}]$$

Avec

e_{fs} : épaisseur du fond supérieur est égale à : 17 [mm]

y_f : facteur de la forme du fond dépend de rapport(H_e / D_i)

sa valeur est donnée par la formule : $y_f = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_i}{2H_e} \right)^2 \right] = 0.91$

Avec :

d_i : diamètre intérieure de la colonne 3600 [mm]

h_e : hauteur de la partie elliptique du fond 967[mm]

$$\sigma_{fs} = 182.99 \text{ [MPa]} < [\sigma_{\text{essai}}] = 234 \text{ [MPa]}$$

V.11.3Fond inferieur :

$$\sigma_{fi} = \frac{(\sum P + P_f) \times y_{fi} \times D_i}{2(e_{fi} - c)} \leq [\sigma_{essai}]$$

Avec :

e_{fi} : épaisseur du fond inférieur est égale à : 34 [mm].

y_{fi} : facteur de la forme du fond

sa valeur est donnée par la formule : $y_{fi} = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_i}{2H_e} \right)^2 \right] = 0.91$

Avec :

- d_i : diamètre intérieure de la colonne 3600 [mm]
- h_e : hauteur de la partie elliptique du fond 984[mm]

$$\sigma_{fs} = 81.02 \text{ [MPa]} < [\sigma_{essai}] = 234 \text{ [MPa]}$$

Fonds	Epaisseur [mm]	σ_f [MPa]	$[\sigma]_{essai}$ [MPa]
Fond Supérieur	17	81.02	234
Fond Inferieur	34	182.99	234

Les résultats des calculs indiquent que les épaisseurs de la virole, du fond supérieur et du fond inférieur assurent une résistance adéquate lors de l'épreuve hydrostatique.

V.12 CONCLUSION

En conclusion, les calculs de vérification de la stabilité externe d'une colonne de distillation sont d'une importance cruciale pour garantir la sécurité et la fiabilité de l'installation. Ces calculs prennent en compte les charges externes telles que les vents, les séismes et les fluctuations de pression afin de s'assurer que la colonne est conçue pour résister à ces forces et éviter toute défaillance structurelle. Grâce à ces calculs, il est possible d'évaluer les forces exercées sur la colonne et de déterminer si elle est suffisamment rigide et solide pour y résister. Les normes et les codes de conception spécifiques fournissent des critères et des facteurs de sécurité pour garantir que la colonne est conçue selon des standards acceptables.

Les dispositifs de fixation et de soutien appropriés jouent également un rôle crucial dans la stabilité de la colonne. Ils assurent que la colonne est solidement ancrée et qu'elle peut résister aux forces externes sans subir de mouvements indésirables ou de déformations excessives.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire est réalisé dans un cadre éducatif lors du projet de fin d'études dans le but d'évaluer le comportement de l'intégrité des colonnes de distillation sous des différentes contraintes aérodynamiques.

Ce travail nous a permis de comprendre la démarche de conception d'une colonne de distillation ainsi que les efforts extérieurs régissant sur ces équipements en respectant les normes universelles, cette recherche bibliographique nous a donné une vue précise sur les différents composants des colonnes ainsi que les généralités sur l'aérodynamique, notamment les propriétés aérodynamiques.

Nous avons également utilisé des logiciels de simulation numérique tel que SolidWorks pour la modélisation de la colonne 700 C1, et le logiciel ANSYS pour comprendre et analyser la structure fine de l'écoulement autour de la colonne, ainsi que pour déterminer les paramètres aérodynamiques dans la simulation par ANSYS-CFX, ainsi l'étude de stabilité mécanique de la colonne à l'aide d'ANSYS-MECHANICAL.

L'analyse des résultats issues de cette étude donne un état de stabilité satisfaisante pour la colonne 700 C1 objet de notre étude, cette colonne est capable de résister aux différents types de charges, y compris dans des conditions extrêmes. Afin de garantir la validité des résultats obtenus la vérification a été établie par des calculs analytiques en utilisant des formules éprouvées.

A la fin de ce travail, nous espérons que ce mémoire pourra servir de référence, qu'il sera objet de futures développements et améliorations par les étudiants des futures promotions de la faculté des hydrocarbures et de la chimie, ainsi qu'il pourra devenir une ressource de plus en plus utile dans ce domaine.

RECOMMANDATION :

Suite à notre étude, nous recommandons de prendre en compte à la fois les facteurs aérodynamiques et la stabilité mécanique lors de la conception de la colonne de distillation. Intégrer ces paramètres dès la conception permettra d'assurer un bon fonctionnement et une sécurité optimale de la colonne face aux conditions environnementales. Cela comprend notamment la conception d'une structure résistante aux vents forts .

L'étude aérodynamique permet d'analyser les paramètres environnementaux ayant un impact significatif sur les performances et la stabilité de la colonne. En prenant en compte ces paramètres, les ingénieurs de conception peuvent créer une colonne capable de fonctionner de manière efficace et sûre dans diverses conditions environnementales.

De la même manière, l'étude de stabilité mécanique permet de vérifier la capacité de la colonne à résister aux forces mécaniques telles que les charges de vent, les séismes et les mouvements de sol, etc. Cette étude garantit qu'elle est conçue de manière robuste et résistante, pouvant supporter des forces externes sans se déformer ou être endommagée.

Au final, la prise en compte de tous les paramètres pertinents, y compris aérodynamiques et de stabilité mécanique, permettra de concevoir une colonne de distillation sûre, fiable et efficace, répondant aux besoins du projet.

VI. Références

1. **Engineering, Groupe Samsung.** « *Manuelle opératoire pour unité d'hydrotraitement du naphta léger-i (Unité N0 : 700) RA1K* ». *Projet de réhabilitation et adaptation de la raffinerie de skikda* . Skikda : s.n., 2013.
2. **TOTAL.** *document de TOTAL sur les colonne de distillation*. France : s.n.
3. **Naftec, Aval.** *Présentation de la Raffinerie de Skikda*. SKIKDA : s.n., 2008.
4. **., G. LEFEVRE.** *Grandes réactions de transformation chimique des hydrocarbures*. Edition TECHNIP. paris : s.n., 1978.
5. **Technologies, Axens IFP Groupe.** « *FORMATION ISOMÉRISATION* » *projet d'adaptation raffinerie Skikda*. ALGER : s.n., 2012.
6. **solidworks.com.** <https://my.solidworks.com/>. *solidworks.com*. [En ligne]
7. **connaissance des energies.** *Le raffinage pétrolier , transformation du pétrole brut en produits pétroliers*. [En ligne] (7).
8. **ANSYS, Inc.** ANSYS site web. <https://www.ansys.com/>. [En ligne]
9. **colonne a garnissage.** *INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques)*. [En ligne]
10. **White, F. M.** *Fluid Mechanics, 6th Edition, McGraw-Hill Education*. 2006.
11. **Pope, S. B.** *Turbulent Flows, Cambridge University Press*. (2000).
12. **Anderson Jr., J. D.** *Fundamentals of Aerodynamics, 5th Edition, McGraw-Hill Education*. 2010.
13. **définition de l'aerodynamique.** *Techno-Science.net*. [En ligne]

Annexes A

ITEM NO. 700-C-1

BASE BLOCK

Base configuration:	double base plate
Foundation compressive strength:	102 kg/cm ²
Concrete ultimate 28-day strength:	255 kg/cm ²
Anchor bolt material:	SA 307-C
Anchor bolt allowable stress, S_b :	1,174.999 kg/cm ²
Bolt circle, BC:	4,767 mm
Anchor bolt corrosion allowance (applied to root radius):	1.5 mm
Anchor bolt clearance:	28 mm
Base plate material:	SA 283-C
Base plate allowable stress, S_p :	1,103.799 kg/cm ²
Base plate inner diameter, D_i :	4,243 mm
Base plate outer diameter, D_o :	4,923 mm
Base plate thickness, t_b :	90 mm
Gusset separation, w :	130 mm
Gusset height, h :	392 mm
Gusset thickness, t_g :	20 mm
Compression ring width:	240 mm
Compression ring thickness, t_c :	50 mm
Initial bolt preload:	0 % (0 kg/cm ²)
Number of bolts, N :	44
Bolt size and type:	72 mm
Bolt root area (corroded), A_b :	30.6845 cm ²
Diameter of anchor bolt holes, d_b :	100 mm

LOAD DUE TO EARTHQUAKE FACTOR CALCULATION

1. DESIGN DATA

DESIGN CODE : R.P.A.99 (REGLES PARASISMQUES ALGERIENNES)
 ZONE CLASSIFICATION : SEISMIC ZONE IIa
 GROUPE D'USAGE: 1A (WORK SITE OF VITAL IMPORTANCE)
 CLASSIFICATION DES SITES: CATEGORIE S3

2. TOTAL SEISMIC FORCE (APPLIED AT THE BASE OF THE STRUCTURE)

$$V = (A \times D \times Q \times R) \times W$$

where, A : Coefficient of zone acceleration : 0.25
 D : Factor of average dynamic amplification : 1.07
 Q : Factor of quality : 1.10
 R : Coefficient of global performance of the structure : 2.00
 W : Total weight of the structure

DOCUMENT 4
ETAT DESCRIPTIF

Job No. : SO2278
 Client : SONATRACH

Lieu : SKIKDA/ALGERIE

ETAT DESCRIPTIF

Ordre d'achat No : MDA120
 No Item (repère) : 700-C-1
 No Fabrication : WHC-09-070-004
 Service : DEISOPENTANIZER

Nom du Fabricant :
 WOORYANG HC CO.,LTD
 Adresse du fabricant :
 584-6, Manho-ri, Poseung-eup, Pyeongtaek-
 si, Gyeonggi-do, 451-821, Korea
 Année de construction : 2010
 Plans No : 6648-0700-5-WHC-700C1-001
 Code de construction : ASME SEC VIII DIV.1
 2007 ED. + 2008 ADD.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

- Type (récipient, chaudière, échangeur, four,
 etc.) : COLONNE
 - Dénomination de l'appareil :
 DEISOPENTANIZER
 - Forme générale : PRESSION VESSLE
 - Fluide véhiculé : HYDROCARBURES
 - Pression max de service :
 2.9(DESSUS)/3.5 (BTM) kg/cm2
 - Température de calcul : 110°C
 - Température de service :
 72(DESSUS)/91(BTM) °C
 - Pression d'essai : 23 kg/cm2
 - Matériaux utilisés : C.S(SA516-70)
 - Epaisseur : 14,16,20,22,28(SHELL) /
 17,34(TÊTE)
 - Charge limite de rupture : 4945.624 kg/cm2
 - Contrainte admissible : 1406 kg/cm2
 - Coefficient de joint : 0.85/100
 - Radiographie : SPOT/FULL
 - Traitement thermique : NON
 - Surépaisseur de corrosion : 3mm
 - Essais non destructifs : RT,UT,MT,PT
 - Volume intérieur : 511m3

DOCUMENT 4
DESCRIPTION OF EQUIPMENT

Project : SO2278
 Client : SONATRACH

Location : SKIKDA/ALGERIE

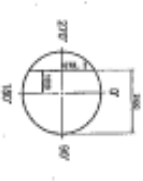
DESCRIPTION OF EQUIPMENT

Purchase Order No : MDA120
 Item or Tag No : 700-C-1
 Manufacturers No : WHC-09-070-004
 Department : DEISOPENTANIZER

Manufacturer's Name :
 WOORYANG HC CO.,LTD
 Address : 584-6, Manho-ri, Poseung-eup,
 Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do, 451-821, Korea
 Manufacturing Year : 2010
 Drawing No : 6648-0700-5-WHC-700C1-001
 Manufacturing Code : ASME SEC VIII DIV.1
 2007 ED. + 2008 ADD.

TECHNICAL CHARACTERISTIC

- Type (Vessel, Boiler, Heat exchanger,
 Furnace...) : COLUMN
 - Equipment Name : DEISOPENTANIZER
 - General Form : PRESSURE VESSLE
 - Fluid handled : HYDROCARBONS
 - Maximum Operating Pressure :
 2.9(TOP)/3.5 (BTM) kg/cm2
 - Design Pressure : 4.5/F.V kg/cm2
 - Design Temperature : 110°C
 - Operating Temperature :
 72(TOP)/91(BTM) °C
 - Test Pressure : 9.45 kg/cm2
 - Type of Materials : C.S(SA516-70)
 - Thickness : 14,16,20,22,28 (SHELL) /
 17,34 (HEAD)
 - Tensile Point : 4945.624 kg/cm2
 - Allowable stress : 1406 kg/cm2
 - Coefficient of weld joint : 0.85/100
 - Radiography : SPOT/FULL
 - Heat Treatment : NO
 - Corrosion Allowance : 3mm
 - Non-Destructive Tests : RT,UT,MT,PT
 - Volume : 511m3

[illegible]

ZONES DE VENT

Pour l'obtention des zones de vent, on a recours à la notion de vitesse de référence du vent. Celle-ci est définie de la manière suivante :

La vitesse de référence du vent, V_{ref} , est la vitesse moyenne sur dix minutes mesurée dans les conditions conventionnelles avec une probabilité annuelle de dépassement égale à 0,02 (ce qui correspond à une période de retour de 50 ans).

Trois zones de vent ont été définies (zones I, II et III), et les valeurs correspondantes de la vitesse de référence qui ont servi à leur détermination sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Zone	V_{ref} (m/s)
I	25
II	28
III	31

Tableau A1.1 : Valeurs de la vitesse de référence du vent

ZONE I

AIN DEFLA	EL OUED	SETIF
AIN TEMOUCHENT	GUELMA	SIDI BEL ABBES
ALGER	ILLIZI	SKIKDA
ANNABA	JIJEL	SOUK AHRAS
BATNA	KHENCHELA	TAMANGHASSET
BEDJAIA	MASCARA	TARF
BISKRA	MEDEA	TEBESSA
BLIDA	MILA	TISSEMSILT
BORDJ BOU ARIRIDJ	MOSTAGANEM	TIPAZA
BOUIRA	ORAN	TIZI OUZOU
BOUMERDES	OUM EL BOUAGUI	TLEMCEN
CHLEF	RELIZANE	
CONSTANTINE	SAIDA	

ZONE II

ADRAR	GHARDAIA	OUARGLA
BECHAR	M'SILA*	TIARET
EL BAYADH	NAAMA	TINDOUF

ZONE III

DJELFA
LAGHOUAT
M'SILA : communes de Ain El Malh, Djebel Messad et Slim.

* Communes autres que celles de la zone III

ANNEXE B

ITEM NO. 700-C-1

10

Thickness Summary

Component Identifier	Material	Diameter (mm)	Length (mm)	Nominal t (mm)	Design t (mm)	Total Corrosion (mm)	Joint E	Load
TOP HEAD	SA-516 70	3,600 ID	914	14*	12.36	3	1.00	External
Straight Flange on TOP HEAD	SA-516 70	3,600 ID	50	17	13.38	3	1.00	External
#1 SHELL	SA-516 70	3,600 ID	24,850	14	13.68	3	0.85	External
#2 SHELL	SA-516 70	3,600 ID	6,000	16	15.21	3	0.85	External
#3 SHELL	SA-516 70	3,600 ID	6,100	20	15.22	3	0.85	External
#4 SHELL	SA-516 70	3,600 ID	6,000	22	20.52	3	0.85	External
#5 SHELL	SA-516 70	3,600 ID	6,000	28	20.55	3	0.85	External
Straight Flange on BTM HEAD	SA-516 70	3,600 ID	50	34	20.58	3	1.00	External
BTM HEAD	SA-516 70	3,600 ID	928	28*	12.36	3	1.00	External
UPPER SKIRT	SA-516 70	3,656 / 3,781.5 OD	849.5	26	20.65	1	0.55	Seismic
#1 LOWER SKIRT	SA-283 C	3,781.5 / 4,326.2 OD	4,800	32	19.51	1	0.70	Seismic
#2 LOWER SKIRT	SA-283 C	4,326.2 / 4,543 OD	2,000	34	18.9	1	0.55	Seismic

Component	Weight (kg) Contributed by Attachments									Surface Area m ²
	Body Flanges		Nozzles & Flanges		Packed Beds	Ladders & Platforms	Trays & Supports	Rings & Clips	Vertical Loads	
	New	Corroded	New	Corroded						
TOP HEAD	0	0	277.9	268.9	0	4,123.5	0	0	0	1.04
#1 SHELL	0	0	1,329.1	1,301.9	0	16,302.3	57,435.2	3,456.2	0	84.64
#2 SHELL	0	0	508.2	496.5	0	3,278.1	15,114.5	288.3	0	8.36
#3 SHELL	0	0	518.6	511.1	0	3,284	15,114.5	577.8	10,000	14.9
#4 SHELL	0	0	6.9	6.2	0	3,311.7	15,114.5	455	0	6.84
#5 SHELL	0	0	894.7	862	0	3,828.9	3,022.9	0	3,000	3.01
BTM HEAD	0	0	1,354.2	1,232.5	0	2,751.4	0	0	22,600*	6.24
UPPER SKIRT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#1 LOWER SKIRT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#2 LOWER SKIRT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL:	0	0	4,889.6	4,679.2	0	36,879.8	105,801.7	4,777.3	35,600*	125.02

* This number includes vertical loads which are not present in all conditions.

* Platforms and ladders are not included in surface area.

Vessel operating weight, Corroded: 378,885 kg
 Vessel operating weight, New: 395,643 kg
 Vessel empty weight, Corroded: 323,349 kg
 Vessel empty weight, New: 340,106 kg
 Vessel test weight, New: 829,550 kg
 Vessel surface area: 952.22 m²

Nozzle Schedule

Nozzle mark	Service	Size	Materials								
			Nozzle	Impact	Norm	Fine Grain	Pad	Impact	Norm	Fine Grain	Flange
I1	6"	6" Sch 80 (XS) DN 150	SA-106 B Smls. Pipe	No	No	No	SA-516 70	No	Yes	Yes	WN A105 Class 150
I2	8"	8" Sch 80 (XS) DN 200	SA-106 B Smls. Pipe	No	No	No	SA-516 70	No	Yes	Yes	WN A105 Class 150
I3	32"	758.30 IDx28.00	SA-516 70	No	Yes	Yes	N/A	N/A	N/A	N/A	WN A105 Class 150
I4	4"	4" Sch 120 DN 100	SA-106 B Smls. Pipe	No	No	No	SA-516 70	No	Yes	Yes	WN A105 Class 150
LG1B, LG1A, LT1A,B, LT2A,B, PT	2"	50.80 IDx15.90	SA-105	No	No	No	N/A	N/A	N/A	N/A	LWN A105 Class 150
MH1	24"	581.60 IDx14.00	SA-516 70	No	Yes	Yes	SA-516 70	No	Yes	Yes	WN A105 Class 150
MH2	24"	581.60 IDx14.00	SA-516 70	No	Yes	Yes	SA-516 70	No	Yes	Yes	WN A105 Class 150
MH3	24"	581.60 IDx14.00	SA-516 70	No	Yes	Yes	SA-516 70	No	Yes	Yes	WN A105 Class 150
MH4	24"	577.60 IDx16.00	SA-516 70	No	Yes	Yes	SA-516 70	No	Yes	Yes	WN A105 Class 150
MH5	24"	569.60 IDx20.00	SA-516 70	No	Yes	Yes	SA-516 70	No	Yes	Yes	WN A105 Class 150
MH6	24"	553.60 IDx28.00	SA-516 70	No	Yes	Yes	SA-516 70	No	Yes	Yes	WN A105 Class 150
O1	24"	581.60 IDx14.00	SA-516 70	No	Yes	Yes	SA-516 70	No	Yes	Yes	WN A105 Class 150
O2	6"	6" Sch 80 (XS) DN 150	SA-106 B Smls. Pipe	No	No	No	SA-516 70	No	Yes	Yes	WN A105 Class 150
O3	24"	553.60 IDx28.00	SA-516 70	No	Yes	Yes	SA-516 70	No	Yes	Yes	WN A105 Class 150
TW1	2"	50.80 IDx15.90	SA-105	No	No	No	N/A	N/A	N/A	N/A	LWN A105 Class 150
TW2	2"	50.80 IDx15.90	SA-105	No	No	No	N/A	N/A	N/A	N/A	LWN A105 Class 150
TW3, TW4, TW5	2"	50.80 IDx15.90	SA-105	No	No	No	N/A	N/A	N/A	N/A	LWN A105 Class 150
UC1, UC2	2"	50.80 IDx15.90	SA-105	No	No	No	N/A	N/A	N/A	N/A	LWN A105 Class 150
V	2"	50.80 IDx15.90	SA-105	No	No	No	N/A	N/A	N/A	N/A	LWN A105 Class 150