



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



N° d'ordre: M2..../GPE/2021

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

**Filière : Génie des procédés**

**Option : Génie des procédés de l'environnement**

### Thème

**Récupération des gaz torchés lors du démarrage de la  
section réfrigération au complexe GP1/Z**

Présenté par :

**1-Mme BENSLIMANE Houria Ikram**

**2-Melle SALAA Yamna**

Soutenu le 12/07/ 2021 devant le jury composé de :

Président :	S. BENDENIA	Pr	Université de Mostaganem
Examinatrice :	S. TERKHI	MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Z. MEKIBES	MAA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	S. SLAMANI	MAB	Université de Mostaganem
Encadreur :	I.S. ABDELI	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2020-2021

## *Dédicace*

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

En tout premier lieu, je remercie le bon **Dieu**, tout puissant, de m'avoir donné la force, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

### **A MA très chère mère**

Aucune dédicace très chère maman, ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour toi, tes sacrifices innombrables et ton dévouement firent pour moi un encouragement.

Tu m'as aidé et soutenu pendant de nombreuses années avec à chaque fois une attention renouvelée.

Puisse Dieu tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et Bonheur.

### **A la mémoire De mon père**

A la mémoire de mon cher papa Benslimane Naceur je ne saurais exprimer mon grand chagrin en ton absence j'aurais aimé que tu sois à mes côtés ce jour, que ce travail soit une prière pour le repos de ton âme je t'aime papa

### **A mon mari Bouamrane Madjid**

Pour l'amour et l'affection qui nous unissent.

Je ne saurais exprimer ma profonde reconnaissance pour le soutien continu dont tu as toujours fait preuve

Tu m'as toujours encouragé, incité à faire de mon mieux ton soutien m'a permis de réaliser le rêve tant attendu

Je te dédie ce travail avec mes vœux de réussite de prospérité et de bonheur

### **A mon oncle Mourad**

Ces quelques lignes, ne sauraient traduire le profond amour que je te porte.

Ton précieux soutien, ton encouragement tout au long de mes années d'étude, ton amour et ton affection, Que ce travail soit l'expression de mon estime pour toi et que Dieu te protège, t'accorde santé, succès et plein de bonheur dans ta vie.

### **A mon beau père Kobibi ALI**

Vous avez toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, je tiens à honorer l'homme que vous êtes grâce à vous j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais vous remercier pour votre amour, votre générosité, votre compréhension... votre soutien fut une lumière. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

### **A ma belle-mère Fatima « amma »**

Je profite de la présente occasion pour vous remercier pour tout le soutien la sympathie et l'amour que vous m'accordez

Que dieu le tout puissant vous comble de santé de bonheur et vous prouve une longue vie pleine de joie

### **A mon frère Ibrahim el Khalil**

Je ne saurai traduire sur du papier l'affection que j'ai pour toi, je n'oublierai jamais ces merveilleux moments passés ensemble Intelligent que tu es, j'implore Allah de te réserver un avenir meilleur

### **A ma petite sœur Chaimae**

Une sœur comme on ne peut trouver nulle part ailleurs, Puisse Allah te protéger, garder et renforcer notre fraternité. Je te souhaite tout le bonheur du monde

**A ma futur princesse « Israe »** Dans quelque jours, inchallah tu seras parmi nous puisse dieute protéger te procurer santé et longue vie.

**HOURIA IKRAM BENSLIMANE**

## *Dédicace*

Au meilleur des pères, A ma très chère mère

Qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté

A qui je dois tout, Pour leur soutien tout au long de mon  
parcours universitaire.

A ma sœur adorée Chahinez, A qui je souhaite un avenir  
radieux plein de réussite

A mes deux meilleures amies Ikram & Rym

Qui ont toujours été à mes côtés, avec qui j'ai passé des  
moments qui m'ont marqué, A tous nos moments de folies et  
d'émotions. A mes amis Sofi, Hamza, Raid, Djilali, Amine qui  
m'ont toujours soutenu même aux pires moments

« Chanceuse de vous avoir dans ma vie »

SALAA Yamna

## Remerciements

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

Les premières personnes que nous tenons à remercier particulièrement nôtres encadreure Madame **ABDELI ISLAM SAFIA** pour l'orientation, la confiance, la patience, qui ont constitué un apport considérable sans lesquels ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Le travail présenté dans ce mémoire est réalisé au département Technique de complexe GP1/Z, dirigé par l'encadreur **Mr KERMAOUI FAYCEL**, à qui nous exprimons notre profonde gratitude pour tous les conseils et encouragement qu'IL nous a prodigués pendant toute la durée de ce travail.

Nous remercions également et profondément **Mr GHEZZAR MOUFFOK REDOUANE** qui n'a jamais cessé de nous conseiller, orienter et nous encourager. Merci pour sa disponibilité et sa coopération remarquable et nous lui souhaitons plein succès

Nous remercions vivement **Mm S. BENDENIA** de l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de juger mon travail.

Comme nous tenons à remercier l'ensemble des d'examineurs d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail qu'ils trouvent ici l'expression de nos meilleurs sentiments.

Que toutes personnes ayant contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail trouvent ici le témoignage de notre profonde reconnaissance. Enfin nous ne pourrions terminer ces remerciements sans une pensée à l'ensemble de mes enseignants qui sont à l'origine de tout notre savoir.

## **Résumé**

Le complexe GP1/Z a mené de multiples projets et actions de récupération des gaz de combustion, visant à améliorer l'environnement et sa durabilité.

En effet, ces actions s'inscrivent dans le cadre de la politique d'entreprise de la SONATRACH qui consiste notamment à réduire la quantité de gaz de combustion pour limiter les émissions de gaz à effet de serre et améliorer la performance environnementale et l'efficacité énergétique.

Notre travail comprend une étude technico-économique de récupérations des gaz torchés au niveau du complexe GP1/Z.

Mots clés : complexe GP1/Z, Sonatrach, environnement, gaz de torche.

## **Abstract**

The GP1/Z complex has carried out a number of combustion gas recovery projects and actions aimed at improving the environment and its sustainability.

These actions are within the policy framework of SONATRACH to reduce the amount of combustion gases to limit greenhouse gas emissions and improve environmental performance and energy efficiency.

Our work is to conduct a technical and economic the flaring gas recovery gas by the GP1/Z complex,

Keywords: GP1/Z complex, sonatrach, environment, flare gas.

## **ملخص**

نقد مجمع GP1 / Z العديد من المشاريع والإجراءات لاستعادة غازات الاحتراق، بهدف تحسين البيئة واستدامتها.

في الواقع، هذه الإجراءات هي جزء من سياسة الشركة سوناطراك، والتي تتكون بشكل خاص من تقليل كمية غازات الاحتراق للحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وتحسين الأداء البيئي والكفاءة.

يشمل عملنا دراسة تقنية اقتصادية لعمليات استرداد الغاز في مجمع GP1 / Z.

الكلمات المفتاحية: مجمع GP1 / Z ، سوناطراك ، البيئة ، غاز التوهج.

## Sommaire

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Présentation du complexe GP1/Z</b>	
I.1 introduction.....	3
I.2 Description du complexe .....	3
I.2.1 présentation du complexe GP1/Z.....	3
I.2.2 principales installations du complexe GP1/Z .....	4
I.3 prétraitement de la charge.....	5
I.3.1 section de stockage d'alimentation .....	5
I.3.2 traitement du GPL brut .....	5
A) section Déshydratation .....	5
B) section de séparation de GPL .....	6
C) section de réfrigération détaillée.....	6
D) section d'Huile chaude .....	7
I.4 Description du procédé .....	7
a. circuit de butane commercial.....	8
b. circuit de propane commercial .....	8
I.5 définition de GPL.....	8
I.5.1 les caractéristiques de GPL .....	9
I.5.2 utilisation du gaz de pétrole liquéfié.....	9
I.5.3 procédé de production de GPL.....	9
I.5.4 composition du GPL .....	9
I.6 les installations de stockage des produits .....	10
I.6.1 section de stockage des produits .....	10
I.6.2 section de récupération des gaz évaporés.....	11
A) présentation de la section de BOG .....	11
B) description de la section BOG propane .....	11
I.7 les installations de chargements.....	11
I.7.1 section de chargement de bateaux à basse température .....	11
I.7.2 section de chargement de camions à température ambiante .....	12

I.8 conclusion .....	12
<b>Chapitre II : les équipements du torchage</b>	
II.1 introduction.....	14
II.2 définitions .....	14
II.3 composition chimique de gaz torché .....	15
II.4 les types de torchage.....	15
II.5 la réaction de combustion .....	15
II.6 évolutions de quantité du gaz torché sur les 8 dernières années .....	16
II.7 les sources et produits de torchage .....	17
II.8 les causes de torchage dans le complexe GP1/Z .....	17
II.9 les principaux siègés de torchage .....	18
II.10 systèmes de torche.....	18
II.11 impacts des gaz torchés sur l'environnement.....	19
III.1 définition simple de réchauffement climatique.....	19
III.2 les causes de changement climatique.....	19
III.3 les mécanismes climatiques .....	21
III.4 Gaz à effet de serre.....	21
III.5 conclusions.....	21
<b>Chapitre III : Calculs et résultats</b>	
III .1 Problématique.....	22
III.2. Solution proposée .....	22
III.3. Estimation du volume de propane torché.....	22
III.3.1. Nombre d'arrêts de trains.....	23
III.3.2. Méthode de calcul du niveau au V-1006.....	23
III.3.3. Volume de cylindre horizontal .....	24
III.3.4. La quantité annuelle de propane torché .....	29
III.4. Objectif de l'étude .....	30
III.5. Dimensionnement de la ligne de récupération de propane .....	30
III.5.1. Equipements .....	31
III.5.2. Théories de calculs .....	31



III.5.3. Longueur de ligne .....	34
III.5.4. Calculs .....	36
III.6. Simulation .....	39
a. Description du Simulateur HYSYS V.8.8.....	39
Interprétation des résultats.....	42
Conclusion générale .....	42
Références	
Annexes	

### **Listes des figures**

Figure I.1 : Complexe GP1/Z	5
Figure I.2 : section de réfrigération	7
Figure I.3 : bacs de stockages	10
Figure I.4 : sphères de stockage	10
Figure II.1: Torchage du gaz.	14
Figure II.2: combustion complète	16
Figure II.3 : combustion incomplète	16
Figure II.4 : quantité du gaz torché	17
Figure II.5 : circuit de torchage	18
Figure II.6 : Réchauffement climatique.	19
Figure II.7 : mécanisme de l'effet de serre	21
Figure III.1 : Dimensions du ballon V-1006.	24
Figure III.2 : les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt train (500)	26
Figure III.3 : les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur au démarrage train (500)	26
Figure III.4 : les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt train (600)	27
Figure III.5 : les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur au démarrage train (600)	27

Figure III.6 : localisation de la ligne et collecteur de récupération	30
Figure III.7 : longueur de la ligne train	34
Figure III.8 : tracé de collecteur	34
Figure III.9 : coude 90°	35
Figure III.10 : vanne de garde	35
Figure III.11 : coupe transversale de la pipe	36
Figure III.12 : la ligne train du propane récupéré simulée par HYSYS	40
Figure III.13 : collecteur de récupération injecté à la section BOG simulé par HYSYS	42

### **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau III.1 : Nombre d'arrêt par an	22
Tableau III.2 : Les différentes opérations effectuées au niveau des trains	24
Tableau III.3 : composition du réfrigérant	34
Tableau III.4 : Comparaison entre les calculs et résultats obtenus par HYSYS	42

## Liste des abréviations

<b>GN</b>	Gaz naturel
<b>GPL</b>	Gaz de pétrole liquéfié
<b>RTO</b>	Région transport Ouest
<b>BOG</b>	Boil of Gaz
<b>HP</b>	Haute pression
<b>MP</b>	Moyenne pression
<b>BP</b>	Basse pression
<b>M6 et D1</b>	Quais de chargement navire
<b>Hb</b>	Chaleur du réfrigérant quittant le Schiller
<b>Hc</b>	Chaleur du réfrigérant quittant le compresseur
<b>He</b>	Chaleur du réfrigérant entrant le Schiller
<b>LPG</b>	Liquified petroleum Gaz
<b>COV</b>	Composé organique volatils
<b>HAP</b>	Hydrocarbures aromatique polycycliques
<b>COS</b>	Coefficient d'occupation des sols
<b>CS</b>	Compagnie de sécurisation
<b>GES</b>	Gaz a effet de serre
<b>V-1006 et V-1012</b>	Ballon accumulateur
<b>V-1531</b>	Ballon tampon GN
<b>V-1011</b>	Ballon d'aspiration

### Introduction générale

Les branches d'activité sont nombreuses, dont les hydrocarbures, dont les matières de base sont le pétrole et le gaz naturel, ce dernier étant le plus répandu et ne pouvant que répondre à la demande mondiale croissante en énergie. Bien que cette énergie ne soit pas renouvelable, ou on puisse dire qu'elle est non renouvelable, mais à long terme (c'est-à-dire en millions d'années), elle est renouvelable.

Notre pays est riche en ressources pétrolières et en ressources en gaz naturel, et la première source d'énergie naturelle. Gaz de pétrole liquéfié appelé GPL, l'Algérie est l'un des principaux producteurs mondiaux d'exportation. C'est un mélange d'hydrocarbures légers, stocké sous forme liquide issu du raffinage du pétrole, et utilisé pour 40% et 60% du traitement du gaz naturel. Il est principalement composé de propane et de butane. Le marché mondial des carburants en est très demandé. Il faut donc préciser que le gaz de pétrole liquéfié est un produit à moindre coût, et qu'il réduit également la pollution. Vue qu'en est devant une sorte d'énergie non renouvelable. Le complexe GP1/Z vise à lutter contre toute forme de gaspillage d'énergie [1].

Notre principe de fonctionnement est d'estimer la quantité de propane brûlée lors du démarrage de la section de réfrigération et d'étudier la possibilité de récupérer cette quantité de matière. Car lors du redémarrage de la partie réfrigération, la procédure nécessite que la pression dans la bouteille d'aspiration soit inférieure à 3kg/cm<sup>2</sup>. Vue de la différence de pression sous le ballon lors du déclenchement, un certain volume de vapeur doit être pulvérisé depuis le ballon pour réduire la pression.

Cette thèse est divisée en trois chapitres :

- Chapitre *I* présentation du complexe GP1/Z,
- Chapitre *II* est concentré sur les équipements du torchage,
- Chapitre *III* nous traitons la proposition de récupérer les gaz torchés vers BOG lors du démarrage de section de réfrigération par un calcul de quantité de propane récupéré et une simulation pour la réalisation de la nouvelle ligne

## **CHAPITRE I:**

### **Présentation du complexe GP1/Z**

## I.1 INTRODUCTION :

Notre stage pratique est réalisé dans le complexe GP1/Z du département technique, et nous sommes en mesure d'expliquer le mode de fonctionnement du département et du département de production. En conséquence, nous sommes en mesure d'acquérir des connaissances expérimentales pour compléter les connaissances théoriques que nous avons acquises au cours. Le GPL (gaz de pétrole liquéfié) est principalement obtenu à partir de deux sources :

- Dans les raffineries de pétrole, au cours de la distillation du pétrole brut,
- Et au cours des opérations de dégazolinage du gaz naturel sur les champs de production, pour obtenir les produits condensables butane et propane. Le complexe GP1/Z, appelé JUMBO, traite le mélange de GPL brut pour produire du propane et du butane commerciaux.

Vue que ce complexe vise à lutter contre le gaspillage énergétique, Notre but consiste à estimer la quantité de propane torché lors du démarrage de la section de réfrigération et à étudier la possibilité de récupérer cette quantité de matière.

Dans ce chapitre on va présenter le complexe GP1/Z tout en détaillant la section de réfrigération.

## I.2 DESCRIPTION DU COMPLEXE :

### I.2.1 Présentation du complexe GP1/Z dit « JUMBO » :

L'objectif du complexe GP1/Z appelé JUMBO a été construit pour le traitement du GPL brut pour produire du propane et du butane commerciaux. Le complexe GP1/Z couvre une superficie de 120 hectares et est situé dans la zone industrielle d'ARZEW, entre la centrale thermique (MERS EL HADJAJ) à l'est et le complexe GL/Z à l'ouest, entre la mer Méditerranée et la route nationale N°1.1. L'organisation du complexe GP1/Z a été étudiée afin d'assurer une parfaite coordination entre les différentes structures de l'usine afin d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles. Le suivi des travaux est assuré par quatre équipes (dont une au repos) et du personnel de maintenance travaillant normalement. [2].

- ✓ **Objet** : Un complexe important, construit dans la zone industrielle d'ARZEW pour traiter Mélange de pétrole brut GPL, utilisé pour produire du propane commercial et du butane commercial [3]

**I.2.2. Principales installations du complexe GP1/Z :**

Le complexe GP1/Z est doté des principales installations suivantes :

- ❖ 22 Sphères de stockage de la charge d'alimentation de 1000 m<sup>3</sup> chacune.
- ❖ 09 Trains de traitement du GPL.
- ❖ 04 Unités de re liquéfaction du gaz évaporé BOG.
- ❖ 04 Bacs de stockage de propane basse température de 70000 m<sup>3</sup> chacun.
- ❖ 04 Bacs de stockage de butane basse température de 70000 m<sup>3</sup> chacun.
- ❖ 04 Sphères de stockage de produits à température ambiante (propane et Butane) de 500 m<sup>3</sup> chacune.
- ❖ 01 Sphère de stockage gazoline.
- ❖ Unité de démercurisation.
- ❖ 04 Salles de contrôle + 02 salles de supervision.
- ❖ 01 Sous-station électrique alimentée par la SONALGAZ.
- ❖ 04 Générateurs assurant l'énergie de secours du complexe en cas de coupure de courant.
- ❖ 02 Quais de chargement pouvant recevoir des navires d'une capacité variante entre 4000 et 50000 tonnes.
- ❖ Une rampe de chargement de camions.
- ❖ Une station de pompage d'eau de mer pour le réseau d'incendie.
- ❖ Un système de télésurveillance.



**Figure I.1 : Complexe GP1/Z**

### I.3 Prétraitement de la charge

Les matières premières sont transportées depuis divers champs pétrolifères du sud vers le complexe GP1/Z via RTO via des contrôleurs de pression pour maintenir une pression stable, puis via six défusions à mercure pour réduire la teneur en mercure [3].

#### I.3.1 Section de stockage d'alimentation :

Cette zone comprend 22 sphères de stockage de gaz de pétrole liquéfié d'une capacité unitaire de 1 000 mètres cubes. Ensuite, le GPL est transporté vers la zone de traitement par neuf (09) pompes centrifuges à une pression de refoulement de 30 Kg/cm<sup>2</sup> [4].

#### I.3.2 Traitement du GPL brut :

##### A) Section Déshydratation :

Cette partie fournit le GPL d'origine de la partie stockage de charge. La charge atteint les neuf trains à partir d'un collecteur commun à une pression de 30 bars.

L'appareil est conçu pour réduire l'eau dissoute dans l'alimentation en GPL de 100 PPM à 5 PPM afin d'éviter la formation d'hydrates (le givre) dans l'équipement de la section de réfrigération en aval.

La partie déshydratation en phase liquide de la charge consiste en trois tours d'adsorption, qui forment des tamis moléculaires et fonctionnent en 36 heures [3].

À tout moment, une colonne chromatographique effectue une adsorption en ligne, l'autre colonne chromatographique se régénère et la troisième colonne chromatographique est en veille. Le temps d'adsorption est de 36. Une fois le temps d'adsorption terminé, la tour de veille est en ligne et la tour en cours d'utilisation entre en régénération pendant 19 heures. A ce moment, la troisième tour a terminé son cycle de régénération et est entrée dans l'état de veille.

La régénération suit la séquence suivante :

- Drainage (1 heure) : Le séchoir évacue l'eau en injectant du gaz naturel sous haute pression

La pression est de 20 kg/cm<sup>2</sup>, et le propane restant est envoyé à la boule de charge.

- Décompression/décompression (30 minutes) : Cette séquence permet de réduire la pression du séchoir de 20 kg/cm<sup>2</sup> à 3 kg/cm<sup>2</sup>, ce qui est obtenu en évacuant le GN contenu dans le séchoir vers la partie gaz.



-Réchauffage (11 heures) : Le réchauffage est réalisé en chauffant le GN dans un four à 280°C, en passant dans un séchoir de haut en bas pour évaporer l'eau dissoute contenue dans le tamis moléculaire.

- Refroidissement (5 heures) : Le propane est refroidi par GN à une température de 12 à 45°C et une pression de 3 kg/cm<sup>2</sup>.

-Pressurisation (30 minutes) : Avant le remplissage de la tour propane, sa pression de fonctionnement doit être de 20 kg/cm<sup>2</sup> Cette opération est réalisée par introduction de GN haute pression.

- Remplissage au GPL (1 heures) : Cette opération consiste à mettre le sécheur en attente, D'où l'adsorbeur est rempli par du propane [2].

### **B) Section de séparation du GPL :**

Le but de cette section est de séparer le GPL brut en produits commerciaux (le propane (C3) et le butane (C4) peuvent être du C5), le taux de récupération maximal  $Tr$  :

$Tr = \text{produits C3 et C4 (disponibles dans le commerce)} / \text{C3 et C4 inclus dans la charge}$

La composition du gaz de pétrole brut liquéfié est le paramètre principal qui détermine le fonctionnement global de la section de séparation.

La charge traverse d'abord une tour de fractionnement, qui sépare le produit de tête (propane et éthane) du produit de queue (butane et pentane), Ensuite par le tour déthaniseur et dépentaniseur.

### **C) Section de réfrigération détaillée :**

La réfrigération dans le système au propane est produite par la détente isenthalpique du propane liquide. À mesure que la pression du propane liquide diminue, une partie du liquide s'évapore. Cette évaporation a un effet de refroidissement sur le résidu de réfrigérant. Le propane en circulation étant un composant pur, la température de saturation du réfrigérant dépend directement de la pression de service, de sorte que chaque étape de réfrigération au propane correspond à une température et une pression donnée. Grâce à ce processus, grâce à l'ébullition isotherme du réfrigérant dans la coque de l'échangeur de chaleur approprié, la chaleur est transférée au réfrigérant propane et le réfrigérant absorbe la chaleur pendant le processus d'ébullition [6].

- Le rôle de la section de réfrigération est conçu dans le but de refroidir les produit finis à leurs températures de stockage
  - Le C3 à -42 °C
  - Le C4 à -9 °C

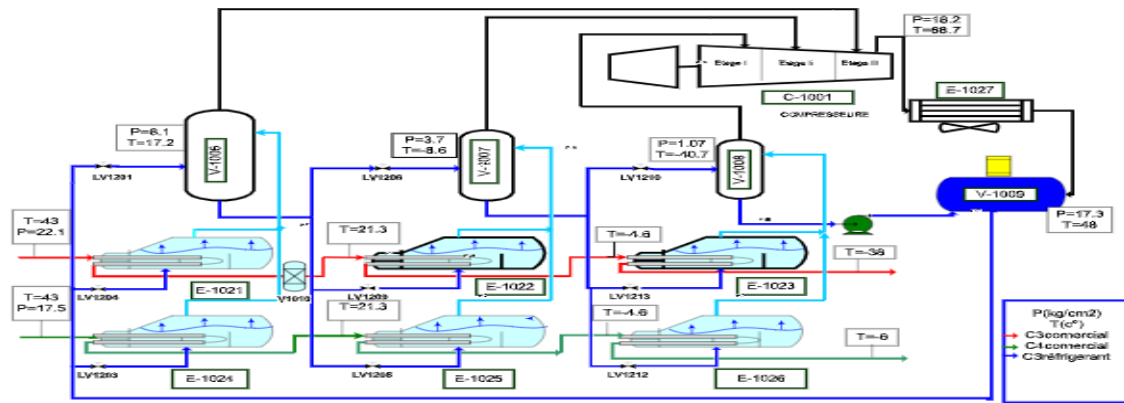


Figure I.2 : Section de réfrigération

### ❖ La capacité de réfrigération

L'objectif de cette partie c'est chaque colonne de butane et de propane commerciaux produite en continu par fractionnement de toute matière première provenant de douze sources puisse être réfrigérée 1 million de tonnes par an. Le propane et le butane produits dans la section de séparation sont refroidis à 43°C par un refroidisseur à air puis envoyés à la section de réfrigération. Là, le propane produit est refroidi à -38°C, et enfin dans un réservoir de propane avec une pression de fonctionnement de 1,18 kg/cm<sup>2</sup> pression absolue par détente et refroidissement à température d'équilibre, le butane produit est refroidi à un maximum de -19° C

### D) Section d'Huile Chaude :

- La partie refroidissement est utilisée comme source de chaleur pour le rebouilleur et le préchauffeur final de la tour de fractionnement.
- Le four de refroidissement fournit la chaleur requise par le gaz de régénération pour la section de déshydratation.
- La température de l'huile entrant dans le four est de 130 °C.
- La température de sortie d'huile du four est de 180 °C [3].

### E) Section de stockage des produits :

Il existe deux types de stockage celui à T ambiante (national) et celui à basse T (international)

#### I.4. Description du procédé

La section de réfrigération est alimentée en butane et propane, tels que produits par la section de séparation.

##### a- Circuit de butane commercial :

Le butane produit est refroidi dans le réfrigérant Aero **E-1012** avant d'entrer dans la section de réfrigération. Lors de son passage dans la section, le butane commercial est d'abord refroidi dans le refroidisseur primaire **E-1024** associé à la partie HP du fluide frigorigène. A partir de **E-1024** le butane passe dans le refroidisseur secondaire **E-1025**, où il est refroidi à  $-4^{\circ}\text{C}$  par le réfrigérant propane issu de l'étage moyenne pression de la boucle froide.

De **E-1025** le butane s'écoule vers le refroidisseur final **E-1026** associé à l'étage BP de la boucle froide.

##### b- Circuit de propane commercial :

-le propane commercial sortant de la section de séparation est refroidi dans les aéroréfrigérants **E-1011** avant d'atteindre la section de réfrigération

-le propane entrant dans la section est d'abord refroidi à  $21^{\circ}\text{C}$  par le refroidisseur primaire de propane **E-1021** associé à l'étage **HP** du circuit frigorifique

-le propane pré-refroidi entre ensuite dans le séchoir de garde, pour assurer un séchage complet du produit à **1 ppm**, avant d'entrer dans la section froide de l'unité.

- à la sortie de l'unité de garde, le débit de propane est mesuré par le contrôleur de débit du produit réfrigéré, asservi au niveau en bas du dééthaniseur, avant d'entrer dans le refroidisseur secondaire **E-1022** (associé au "moyenne pression étage de la boucle froide et refroidit le propane produit à  $-4^{\circ}\text{C}$

De **E-1022** le propane passe dans le refroidisseur final **E-1023** où il est refroidi à la température la plus basse de  $-38^{\circ}\text{C}$

#### I.5 Définition de GPL

Le terme GPL ou gaz de pétrole liquéfié est un mélange d'hydrocarbures. Qui est gazeux Dans des conditions normales de température et de pression, il a la capacité de passer Transformer le gaz en liquide en abaissant ou en augmentant la température

Stress ou les deux à la fois. Il s'agit essentiellement du butane et du propane.

Cet attribut permet de réduire le volume du chauffeur (1 m<sup>3</sup> de GPL liquide occupe 225 m<sup>3</sup> de volume gazeux) [5].

### **I.5.1 Les caractéristiques des GPL**

Dans des conditions normales de pression et de température, le gaz de pétrole liquéfié est un gaz plus lourd que le gaz de pétrole liquéfié air.

Le butane commercial en phase gazeuse pèse deux fois plus que l'air, tandis que le propane Les affaires sont une fois et demies plus lourdes.

Le gaz de pétrole liquéfié n'est pas corrosif pour l'acier, généralement pour le cuivre et les alliages de cuivre et aluminium.

Le GPL est incolore, qu'il soit en phase liquide ou gazeuse.

Le gaz de pétrole liquéfié est légèrement toxique à l'état liquide ou gazeux.

Le GPL pur est inodore, pour des raisons de sécurité, des substances odorantes doivent être ajoutées [6].

### **I.5.2 Utilisations du gaz de pétrole liquéfié :**

Certaines des principales utilisations du GPL comprennent :

- Combustion (carburant automobile).
- Climatisation : Deux principes peuvent être atteints :
  - ❖ Le GPL absorbe la chaleur de l'environnement et génère du froid.
  - ❖ Le moteur utilisant du GPL peut entraîner le compresseur pour le comprimer

Gaz, la gâchette absorbe la chaleur et produit du froid.

Source d'énergie domestique :

De nombreuses méthodes actuelles de conception d'équipements de cuisson et de chauffage

S'adapter à l'utilisation du gaz de pétrole liquéfié [1].

### I.5.3 Procédé de production du GPL :

Le complexe GP1/Z comprend neuf (09) trains dans la zone d'artisanat et des moyens Couramment utilisé pour le chargement, le stockage, le chargement et la re-liquéfaction de vapeur hors ligne

Emplacement. Chaque ligne de production dans la zone de traitement est conçue pour une production annuelle nominale

Un million de tonnes de produits (propane et butane commerciaux) [2]

### I.5.4 Composition du GPL

Le GPL est composé d'environ 80 % de butane ( $C_4H_{10}$ ) et 20 % de propane ( $C_3H_8$ ).

C'est un carburant dit propre, issu du raffinage du pétrole brut. Son utilisation présente des avantages par rapport d'autre combustible en permettant de réduire de :

- 50 % les émissions d'oxyde d'azote.
- 50 % celles des monoxydes de carbone.
- 90 % celles des hydrocarbures et particules [5].

### I.6 Les installations de stockage des produits finis :

Elles comprennent Deux Sections :

#### I.6.1 Section de Stockage des Produits :

Cette section assure le stockage des produits finis. Elle comprend : huit bacs de stockage à basse température dont :

- Quatre pour le propane à  $T = - 42 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Quatre pour le butane à  $T = - 7 \text{ }^\circ\text{C}$  La capacité de chaque bac est de 70000 m<sup>3</sup> [7].



**Figure I.3 :** bacs de stockages

Cinq sphères de stockage à température ambiante dont :

- Une pour le propane à  $P = 3.8-18 \text{ Kg// cm}^2$ .
- Trois pour le butane à  $P = 0.5 - 6.5 \text{ Kg/ cm}^2$ .
- Une pour le pentane à  $P = 0.1 - 1.3 \text{ Kg // cm}^2$

La capacité de chaque sphère est de  $500 \text{ m}^3$  [7].



**Figure I.4 : Sphères de stockage**

### **I.6.2 Section de Récupération des Gaz Evaporés (Boil of Gas) :**

Cette récupération a pour but de liquéfier le gaz d'évaporation et de le renvoyer vers le système de stockage.

Ces gaz d'évaporation proviennent de différentes capacités de l'usine (telles que la vaporisation de gaz dans les cuves de stockage et les cuves, les navires lors du chargement) [8].

#### **A) Présentation de la section de BOG (BOIL OF GAS) :**

Cette section se compose de deux ensembles, qui sont fournis séparément pour le propane et le butane, et son but est de reliquéfier les gaz d'évaporation des réservoirs de stockage cryogéniques et des quais D1 et M6 pendant le chargement afin qu'ils puissent être renvoyés dans le réservoir de stockage. Il existe deux types de stockage

- Stockage à température ambiante
- Stockage à basse température

**B) Description de la section BOG propane :**

La section BOG propane fonctionne par le même principe d'un cycle frigorifique et comprendra :

- Un ballon d'aspiration (V-1006).
- Une batterie de 05 compresseurs (04 compresseurs à 3 étages peuvent travailler en parallèle et le 5<sup>ème</sup> en gardé).
- Un condenseur type Aéroréfrigérant (E-0031).
- Un ballon récupérateur de condensat (V-0012).
- Une série d'économiseurs (E-0032, E-0033, E-0034) [9].

**I.7. Les installations de chargements :****I.7.1 Section de Chargement de Bateaux à Basse Températures :**

C'est une section d'expédition de C<sub>3</sub> et C<sub>4</sub> pour le marché international, elle contient deux quais de chargement navires D1 et M6.

Propane..... max. 10.000 m<sup>3</sup>/h.

Poste D<sub>1</sub> .....3.300 m<sup>3</sup>/h.

Poste M<sub>6</sub> .....6.500 m<sup>3</sup>/h.

Butane.....max.10 000 m<sup>3</sup> [10].

**I.7.2 Section de Chargement de Camions à Température Ambiante :**

C'est une section d'expédition de C<sub>3</sub> et C<sub>4</sub> pour le marché national, elle contient une salle de contrôle, deux balances électroniques et 06 rampes de chargement de camions dont 02 pour C<sub>3</sub> à température ambiante et une pression de 7 bars.

03 rampes pour C<sub>4</sub> à température ambiante et 01 rampe pour C<sub>5</sub> elle est isolée pour le moment [10].

**I.8 Conclusion**

Dans ce chapitre on a cité les différents fonctionnements du complexe GP1Z. Nous nous intéressons plus particulièrement par les procédés de fabrication au niveau de la section de Réfrigération. Durant notre stage, nous avons essayé de comprendre le fonctionnement de la Section de réfrigération et situé notre problématique, puisque l'envoi des gaz vers les torches se fait à partir de cette section. Nous devons par la suite trouver une solution pour récupérer les gaz sans l'envoyer vers torche.

## **Chapitre II :**

### **Les équipements du torchage**



### II.1 Introduction

La pollution de l'air (ou pollution atmosphérique) est un changement dans la qualité des matériaux. Peut être par voie chimique, biologique où existe physiquement dans l'air et a des effets nocifs sur la santé humaine, Pour les êtres vivants, pour le climat ou pour les produits matériels. Ces polluants peuvent provenir de sources naturelles ou artificielles et sont liés à l'air, Atmosphère ou air intérieur dans les espaces clos (véhicules, maisons, usines, bureaux). Elles ou ils Constituent généralement un mélange de polluants, tels que des particules en suspension, ou D'autres substances dont la concentration et la durée d'existence sont suffisantes pour produire Effets toxiques et/ou écotoxiques. Ils peuvent interagir avec la lumière (pollution Photochimie). [3]

### II.2 Définition

Le torchage (La combustion à la torche) est la combustion de gaz naturel ou de gaz naturel lié au pétrole brut, qui ne peut être traité et vendu pour des raisons techniques, économiques ou de sécurité.

La disponibilité d'une torche ou d'un orifice d'échappement garantit que le gaz concerné peut être déchargé de manière de la sécurité en cas d'urgence ou lorsque l'appareil est arrêté [12].



**Figure II.1: Torchage du gaz.**

### II.3 Composition chimique de gaz torché :

Le gaz naturel des puits de pétrole est souvent appelé « gaz associé ». Ces gaz coexistent avec le pétrole dans la formation sous forme de gaz libre (gaz de couverture), ou peuvent être dissous dans le pétrole brut.

Quelle que soit la source de gaz naturel, une fois séparé du pétrole brut, ils existent généralement sous la forme d'un mélange principalement composé de méthane et d'autres gaz tels que l'éthane, le propane, le butane et le pentane. De plus, le gaz naturel non traité contient de l'eau, du sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S), du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de l'azote (N<sub>2</sub>) et d'autres composants. Les gaz associés contenant de telles impuretés ne peuvent pas être facilement transportés et ne peuvent être utilisés sans traitement, car ils sont récupérés lors du processus de production de pétrole [13].

### II.4 Les type de torchage :

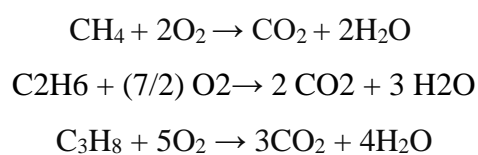
Inclure :

- Brûler le gaz associé
- Sous-produits de la production de pétrole
- Essais de combustion de puits de pétrole effectués lors de la mise en service de puits de pétrole ou de gaz naturel.
- Torche d'urgence
- Le gaz produit lors de l'opération de combustion est difficile ou en cas de panne de courant [14].

### II .5 La réaction de combustion :

Les composants les plus nocifs des gaz d'échappement sont les oxydes de carbone et d'azote. Ces gaz sont produits au cours du processus de combustion complète ou incomplète [14]

**a) Combustion complète :** représentée par les réactions suivantes :

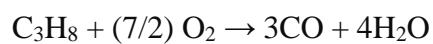
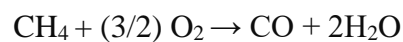




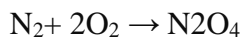
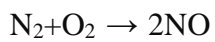
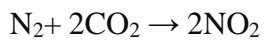
**Figure II.2: Combustion complète.**

**b) Combustion incomplète :** dans le cas de torchage lors des arrêts et des démarrages des unités ou pendant les déclenchements, la charge du gaz sera importante. Les réactions de combustion sont comme représentées ci-dessous [14] :

▪ **Pour les hydrocarbures :**



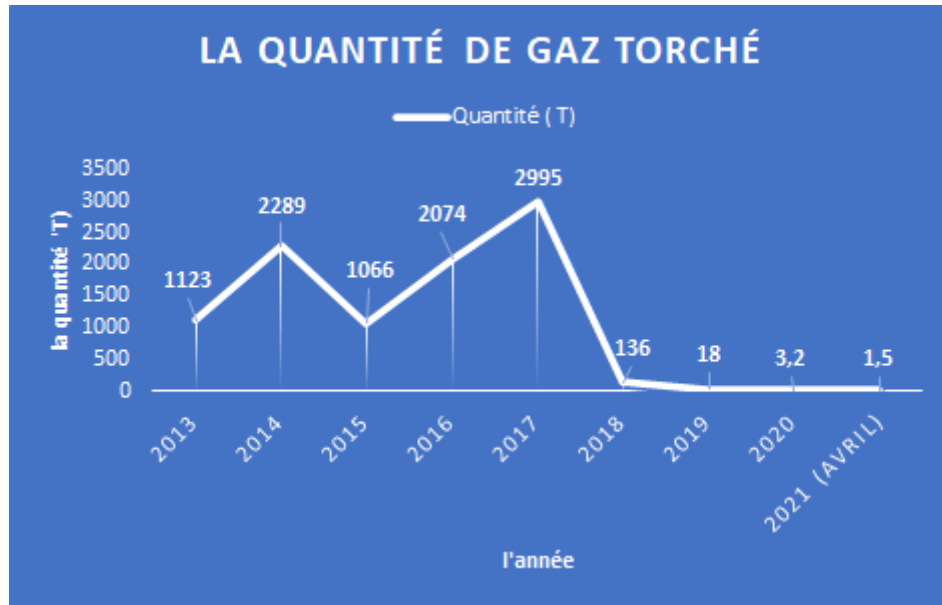
▪ **Pour l'Azote :**



**Figure II.3: Combustion incomplète.**

## II.6 Evolution de quantité du gaz torché sur les 9 dernières années :

Ces quantités représentent le torchage routinier à partir des ballons du gaz combustible des fours et ballons accumulateurs des sections BOG.



**Figure II.4: Quantité du gaz torché [15].**

Le torchage routinier a connu une baisse considérable au cours de l'année 2018 suite à la réalisation de plusieurs projets [15].

## II.7 Les sources et produits de torchage :

Les produits sources qui explosent au complexe GP1/Z sont GPL, GN, C et C2.

La combustion complète des hydrocarbures purs ne produit que de l'eau et du dioxyde de carbone. Cependant, une conception de torche inefficace ne brûlera pas tous les gaz et libérera des hydrocarbures non brûlés et du monoxyde de carbone ainsi que du dioxyde de carbone.

De plus, si le gaz résiduel entrant dans la torche contient des impuretés et/ou des gouttelettes, de nombreux autres sous-produits peuvent être libérés, notamment :

- Des particules solides
- Composés organiques volatils (COV) tels que le benzène, le toluène et le xylène
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

- De petites quantités de composés soufrés tels que le sulfure de carbone (CS<sub>2</sub>) et le sulfure de carbone (COS) [11].

### II.8 Les causes de torchage dans le complexe GPI/Z :

Là où il n'y a pas de sortie de gaz, la combustion n'est pas la méthode la plus sûre et la plus courante pour éliminer le gaz.

La combustion du gaz peut s'expliquer de la manière suivante :

- Infrastructures insuffisantes (collecte, compression)
- Exploitation et maintenance des installations pétrolières

Combustion du gaz après panne :

- Défaillance de l'équipement (vanne ouverte.)
- Démarrer le processus après un arrêt ou un voyage
- Paramètres de boucle de contrôle
- Vider la boucle de charge ou le produit fini [12]

### II.9 Les principaux sièges de torchage :

- 1. Régénération du déshydrateur de garde et de charge.
- 2. Section de l'alimentation du four en GN.
- 3. Arrêts et déclenchements du compresseur centrifuge [11].

### II.10 Système de torche :

Description de la. Torche :

- • Colonne montante -----→ Conduite des gaz a brûlés.
- • Bec de torche-----provenance du ballon torchères.
- • Trois Pilotes brûleur. → Brûleur des gaz
- • Joint moléculaire -----→ Pour empêcher le retour de flamme et les Eaux pluviales.
- • Ligne de 3" (Siphon). (Pied de torche) pour drainer le Joint moléculaire [16].

### II.11 Impacts des gaz torchés l'environnement :

\* La combustion est un gaspillage d'énergie non renouvelable et causera des problèmes environnementaux (pollution de l'air, bruit, odeur, fumée qui affecte la qualité de vie)

\* L'émission de produits de combustion entraîne une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre, ce qui affectera le réchauffement climatique [14].

### III. 1 Définition du réchauffement climatique :

Le réchauffement climatique est un phénomène global du changement climatique de la planète. Il provoque des causes naturelles et artificielles qui fonctionnent depuis longtemps. Les activités humaines (industrie, transports, agriculture) contribuent en effet à l'émission de gaz à effet de serre (GES) qui semblent impliqués dans le changement de direction du réchauffement climatique.

Le changement climatique peut impliquer d'autres phénomènes, comme une augmentation des catastrophes naturelles. On l'appelle réchauffement climatique, car il élève la température de la plupart des océans et de l'atmosphère terrestre, et reflète l'augmentation de la quantité de chaleur retenue à la surface de la terre [18].



**Figure II.5 : Réchauffement climatique.**

### III.2 Les mécanismes climatiques :

Le soleil, l'énergie qu'il reçoit à travers la terre, est le moteur principal de la machine climatique. L'énergie du rayonnement solaire est l'objet de l'observation. Avec les données fournies par les satellites, la précision de l'observation s'est améliorée.

Une partie de l'énergie solaire (essentiellement contenue dans la partie visible du spectre électromagnétique) retourne directement dans l'espace à travers les nuages et la surface terrestre, l'autre partie est absorbée par le sol et l'océan. Lorsqu'ils sont en équilibre, ils

rayonnent toute cette énergie dans l'espace en lumière infrarouge. Mais à son tour, l'atmosphère absorbera une partie du rayonnement du sol et le réémettra dans l'espace et le sol. Par conséquent, la surface de la terre est plus chaude que sans atmosphère : c'est ce qu'on appelle l'effet de serre. [19].



**Figure II.6 : Mécanisme de l'effet de serre.**

### III.3 Gaz à effet de serre :

L'effet de serre est un phénomène naturel dans lequel une partie de l'énergie solaire émise par la terre est absorbée et retenue dans la basse atmosphère sous forme de chaleur. Certains gaz dans l'atmosphère terrestre sont comme les murs d'une serre : ils permettent à l'énergie solaire d'entrer dans l'atmosphère mais empêchent sa fuite. Beaucoup de ces gaz existent naturellement dans l'atmosphère, mais les activités humaines ont augmenté la concentration de certains d'entre eux dans l'atmosphère.

#### En particulier :

- La vapeur d'eau
- Le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ )
- Le méthane ( $\text{CH}_4$ )
- L'oxyde nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$  également appelé protoxyde d'azote)
- L'ozone ( $\text{O}_3$ )

Le dioxyde de carbone est le gaz à effet de serre le plus produit par les activités humaines ; 63% du réchauffement climatique causé par l'homme est causé par lui. Sa concentration dans l'atmosphère est actuellement 40 % plus élevée qu'au début de l'industrialisation.

### III.4 Conclusion

Le réchauffement climatique est donc un processus naturel. Ce processus est caractérisé par le changement climatique, qui est causé par une variété de facteurs qui font augmenter la température de la surface de la terre. Cependant, ce processus est accéléré par les activités humaines et industrielles, qui génèrent cette croissance, qui peut être catastrophique pour l'avenir de notre planète.

## **CHAPITRE III :**

### **Calculs et Résultats**



### III.1. Problématique

Le complexe GP1/Z dispose de section BOG, ce dernier enregistre de taux de torchage assez important, à cet effet, il est nécessaire d'installer une ligne de récupération de gaz au sein du complexe, Le propane (C3) contient des gaz légers (C1 et C2), et la section BOG reçoit une charge importante, y compris la forte consommation de débit au niveau du compresseur BOG. Cette composition est très stricte pour cette section et nécessite beaucoup d'énergie pour la re liquéfaction, donc le produit sera perdu en raison d'une combustion évidente.

### III.2. Solution proposée

Notre mission est de fournir à l'industrie des technologies efficaces, économiques, propres et durables pour répondre à l'un des principaux défis sociaux du 21e siècle : le changement climatique et l'impact environnemental. L'objectif initial est d'éliminer la combustion continue des gaz. Suivre un processus d'identification et d'évaluation des alternatives, permettant l'utilisation du gaz associé au lieu de le brûler, de sorte qu'il s'articule autour d'une réduction significative à court terme de la quantité de gaz brûlé ou libéré à l'air libre par une torche, et atteint finalement l'objectif, c'est-à-dire sur une plus longue période de temps Promouvoir le travail d'amélioration au sein. Notre recherche est basée sur la récupération du fluide frigorigène propane brûlé lors de la phase de démarrage II de la partie réfrigération après l'arrêt (déclenchement). Par conséquent, des investissements sont nécessaires pour mettre en œuvre les solutions que nous proposons, la faisabilité de la récupération feront l'objet de nos recherches pour réduire l'impact négatif des gaz de combustion sur l'environnement et l'économie.

### III.3. Estimation du volume de propane torché

Nous avons contacté le service de planification pour vérifier le nombre et les dates d'arrêts dus aux déplacements. Cette analyse nous permet de calculer le volume de combustion du propane en calculant la différence de niveau de fluide frigorigène dans le ballon V-1006 avant et après fermeture après avoir sélectionné quelques cas réels. Les informations sur le niveau de réfrigérant dans le ballon V-1006 proviennent de PHD. Actuellement, GP1Z gère les usines GPL à partir de plusieurs salles de contrôle. Grâce à ces dernières stations, nous pouvons accéder aux données DCS en temps réel, PHD gère l'historique et l'archivage des données de process, et met à disposition un ensemble d'applications bureautiques : rapports

Excel, Courbes et les diagrammes schématiques s'adaptent aux besoins des clients (affichage) et les vues de tendance des "tendances de processus".

### **III.3.1. Nombre d'arrêts de trains**

Les arrêts les plus fréquents qui sont la source de notre problème sont souvent issus de :

- Arrêt pompage RTO.
- Coupure électrique.
- Manque de charge.
- Arrêt pour travaux.
- Stock haut en propane ou en butane.
- Déclenchement par une fluctuation électrique.
- Problèmes ou défaillances techniques : transformateur, pompe...etc.

**Tableau III.1 : Nombre d'arrêt par an**

<b>Nombre d'arrêts</b>	<b>Trains</b>
<b>11</b>	<b>500</b>
<b>12</b>	<b>600</b>

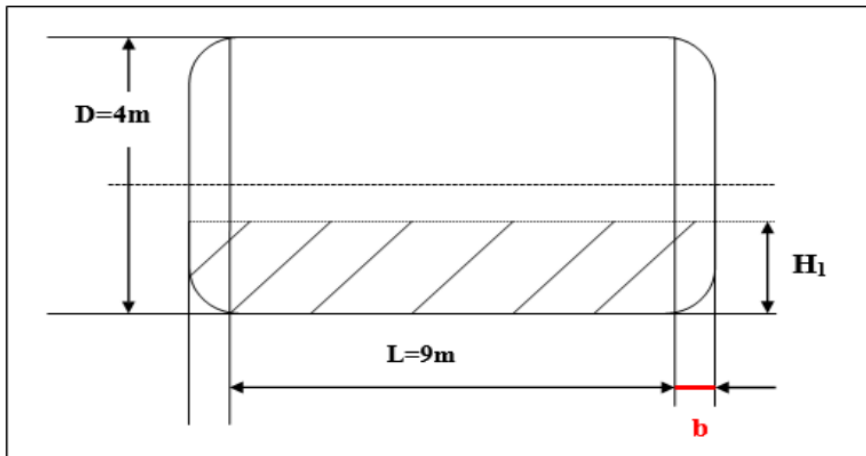
### **III.3.2. Théories de calculs**

#### **Méthode de calcul du niveau au V-1006**

Le ballon horizontal : V1006, comme il est sur l'annexe n°02 le volume est 130,2m<sup>3</sup> avec :

\*D=4m

\*L=9m



On procède selon la méthode montrée sur l'annexe n°03.

Figure III.1 : Dimensions du ballon V-1006.

• **Calcul de b**

Volume total = Volume dans les deux cotés + Volume du cylindre

D'où :  $V_t = 1/6\pi K1 D^3 + 1/4\pi D^2 L$  , avec :  $K1 = 2b/D$

$V_t = 1/6\pi (2b/D) D^3 + 1/4 \pi D^2 L$

$V_t = 1/3\pi b D^2 + 1/4 \pi D^2 L$

$b = 3(V_t - 1/4 \pi D^2 L) / \pi D^2$  , avec b : dimension de la partie courbée du cylindre

- **Calcul de H pour chaque cas** On obtient H via diagramme de dépressurisation & l'annexe 2 .

**III.3.3. Volume de cylindre horizontal**

Pour calculer le volume total on utilise la formule suivante qui est la somme du volume dans les deux cotés et le volume du cylindre.

$V_t = (1/6) \times [\pi.K1.D^3] + (1/4) \times [\pi.D^2. L] [m^3] \dots\dots\dots(1)$

Avec : •  $K1 = 2b/D$ .

•  $Z_e = H1/D$ .

•  $Z_c = H1/D$ .

Volume partiel =  $(1/6) \times [\pi.K1.D^3] \times [f(Z_e)] + (1/4) \times [\pi.D^2. L] \times [f(Z_c)] [m^3] \dots\dots\dots(2)$

- $f(Z_e)$  : coefficient d'un cylindre horizontal.
- $f(Z_c)$  : coefficient ellipsoïdal.
- **Calcul du volume torché pour chaque cas**

$$V_{t.a.1} = V_p \text{ allure 1} - V_p \text{ allure 2}$$

$$V_{t.a.2} = V_p \text{ allure 1}' - V_p \text{ allure 2}'$$

- **La quantité annuelle de propane torché**

$$\text{-Volume moyen} = (V_{t.a.1} + V_{t.a.2}) / 2$$

$$\text{-La masse correspondante} = \text{Volume moyen} * \text{La masse volumique}$$

$$\text{-La quantité annuelle moyenne de propane torché} = \text{la masse correspondante} * \text{nombre d'arrêt}$$

**Tableau III.2 : Les différentes opérations effectuées au niveau des trains**

Cas réel	Date et temps	Niveau du ballon	Problème
<b>Cas 1</b> <b>(Train 500)</b>	Arrêt le : 11/04/2021 à 9 :35 :57 AM	<b>39,69%</b>	Déclenchement par une fluctuation électrique
	Démarrage le :11/04/2021 à 04 : 09 :01 PM	<b>13,69%</b>	
<b>Cas 2</b> <b>(Train 600)</b>	Arrêt le : 19/04/2021 à 06 :48/13 AM	<b>53,43%</b>	Manque de charge
	Démarrage le :19/04/2021 à 11 :39 :57 AM	<b>39,05%</b>	

Voici les diagrammes respectifs des arrêts des deux cas en sachant que :

Dépressurisation TR500 pour démarrage 11/04/2021

Début dépressurisation

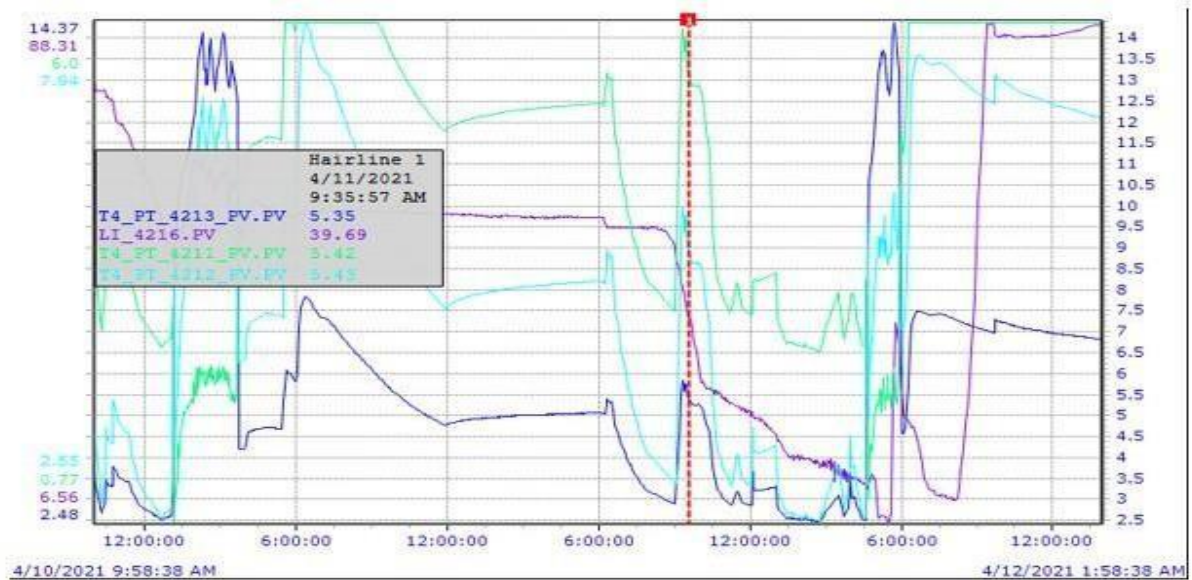
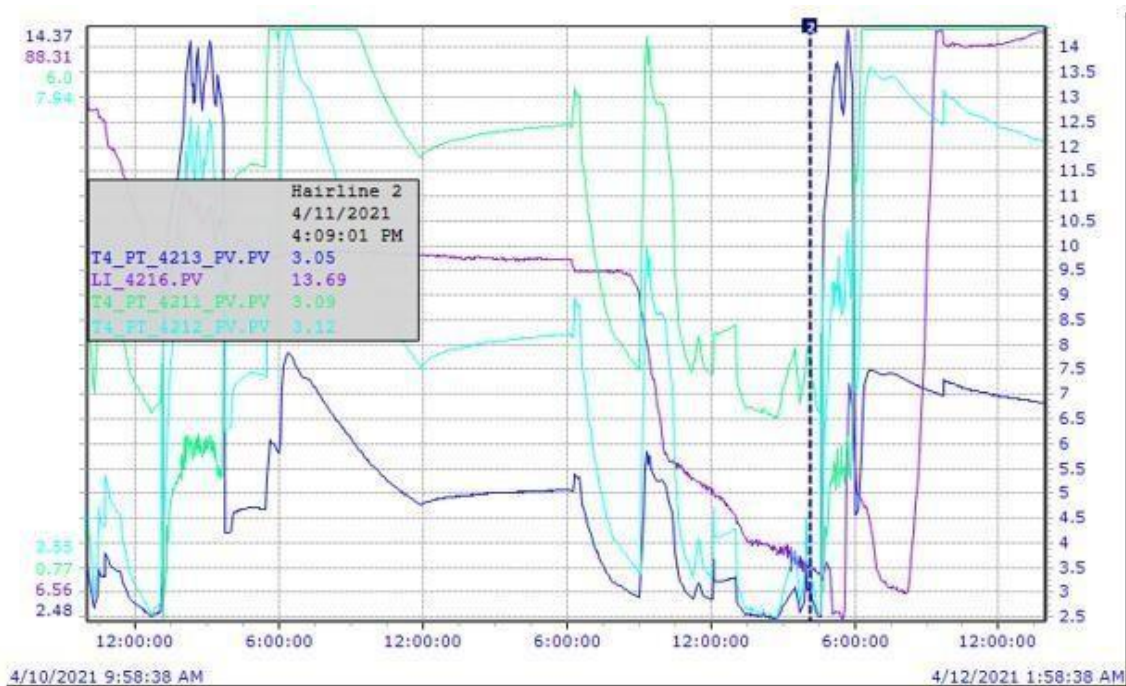


Figure III.2 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt.

Fin dépressurisation

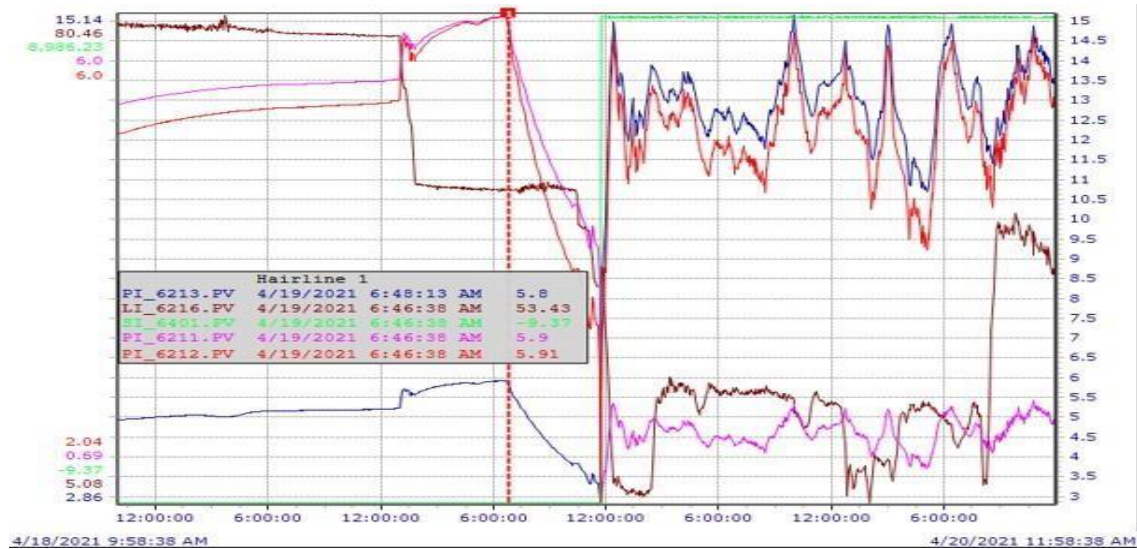


**Figure III.3 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur au démarrage**

Le niveau du ballon se diminue de 39,69 % à 13,69 % après le démarrage de la section réfrigération.

**Dépressurisation TR600 démarrage du 19/04/2021 :**

**Début dépressurisation**



**Figure III.4 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt.**

Fin dépressurisation

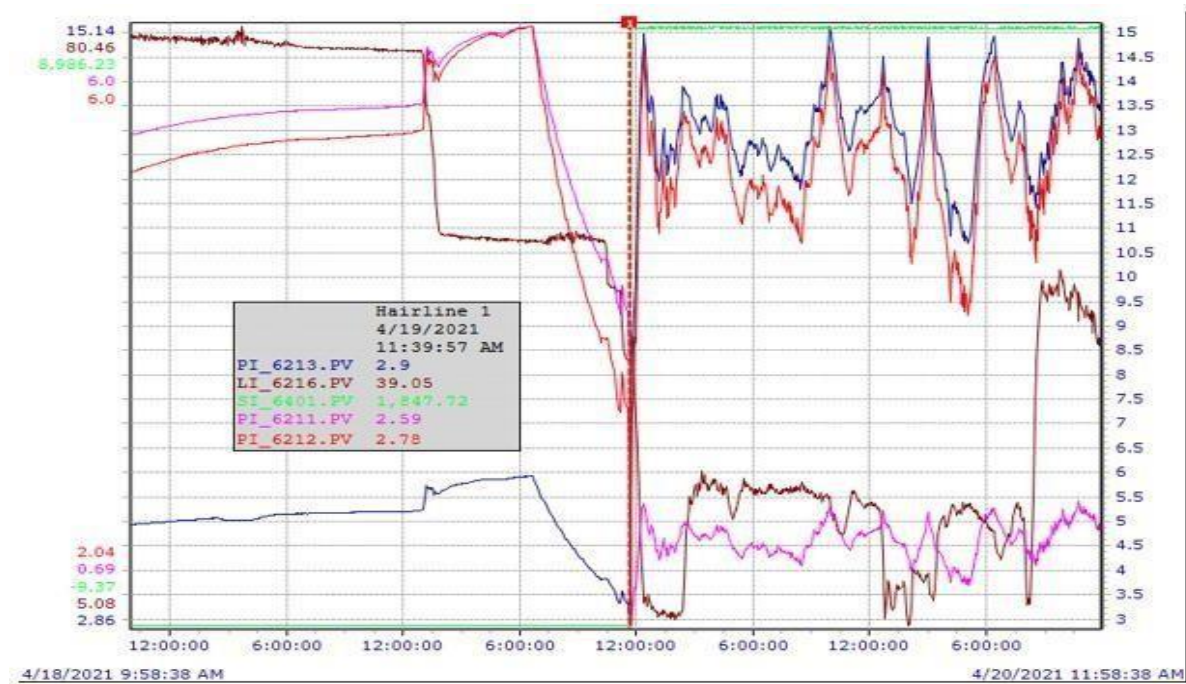


Figure III.5 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur au démarrage.

L’allure du niveau se diminue de 54,43 % à 39,05 % au démarrage.

- PI\_1210.PV : indicateur de la pression à l'aspiration du ballon basse pression en (kg/cm<sup>2</sup>G).
- PI\_1211.PV : indicateur de la pression à l'aspiration du ballon moyenne pression (kg/cm<sup>2</sup>G).
- PI\_1212.PV : indicateur de la pression à l'aspiration du ballon haute pression (kg/cm<sup>2</sup>G).
- PI\_1213.PV : indicateur de la pression au refoulement du compresseur (kg/cm<sup>2</sup>G).
- LI\_1216.PV : indicateur du niveau au ballon V-1006 en (%).

**Calcul de b**

$$b = 3(Vt - \frac{1}{4} \pi D^2 L) / \pi D^2 = 3(130,2 - \frac{1}{4}\pi \times 4^2 \times 9) / \pi \times 4^2$$

$$b = 1,02074$$

**1. Premier cas**

100 % D =4m.

**a. Calcul de la hauteur H1**

$$H1 = (39,69 \times 4) / 100$$

$$H1 = 1,58 \text{ m}$$

39,69 % H =1,58m.

$$13,69 \% H = 0,54m.$$

**b. Calcul du volume partiel correspondant à 39,69%**

$$39,69 \% H = 1,58 m. K1 = 2b/D = b/2 = 0, 51037$$

$$Z_e = Z_c = H1/D = 1,58 / 4 = 0,39$$

$$f(Z_e) : 0,347685 \text{ (voir annexe 01).}$$

$$f(Z_c) : 0,369790 \text{ (voir annexe 02).}$$

$$V_p = (1/6) \times [\pi \cdot 0, 51037 \cdot 64] \times [0,347685] + (1/4) \times [\pi \cdot 9 \cdot 16] \times [0,369790]$$

$$V_p = 53,47 m^3$$

**c. Calcul du volume partiel correspondant à 13,69%**

$$13,69 H = 0,5476. K1 = 2b/D = b/2 = 0, 51037$$

$$Z_e = Z_c = H1/D = 0,5476 / 4 = 0,1369$$

$$f(Z_e) : 0,051164 \text{ (voir annexe 01).}$$

$$f(Z_c) : 0,082456 \text{ (voir annexe 02).}$$

$$\text{-Volume partiel} = 38,17 m^3$$

**d. Volume torché/arrêt 1**

$$V_{t.a.1} = 53,47 - 38,17 = 15,3 m^3$$

**2. Deuxième cas**

**a. Calcul de la hauteur H1**

$$100\% D = 4m.$$

$$53,43\% H = 2,14m.$$

$$39,05\% H = 1,56m.$$

**b- Calcul du volume partiel correspondant à 53,43%**

$$53,43 \% H = 2,14m. K1 = 2b/D = b/2 = 0, 51037$$

$$Z_e = Z_c = H1/D = 2,14 / 4 = 0,535$$

$$f(Z_e) : 0,555399 \text{ (voir annexe 01).}$$

$$f(Z_c) : 0,548337 \text{ (voir annexe 02).}$$

$$\text{- Volume partiel} = 71,51 m^3$$



**c- Calcul du volume partiel correspondant à 39,05%**

$$39,05 \% H = 1,56\text{m. } K1 = 2b/D = b/2 = 0,51037$$

$$Ze = Zc = H1/D = 1,56 / 4 = 0,39$$

$$f(Ze) : 0,347685 \text{ (voir annexe 01).}$$

$$f(Zc) : 0,369790 \text{ (voir annexe 02).}$$

$$\text{- Volume partiel} = \mathbf{53,47 \text{ m}^3}$$

**d- Volume torché/arrêt 2**

$$Vt.a.2 = 71,51 - 53,47 = \mathbf{18,04 \text{ m}^3}$$

**III.3.4. La quantité annuelle de propane torché**

Nous obtenons après calcul un volume moyen à torcher de 16 ,67 m<sup>3</sup> ce qui correspondant à une masse de 7 934,92 kg. (Avec  $\rho=476\text{kg/m}^3$  aux conditions de stockage aux V-1006 P=14 bar et T=35°C), sachant que le nombre d'arrêt par an égal à 23 arrêts, la quantité annuelle moyenne de propane torché l'année 2021 sera : 182,50 Tonne/an.

**III.4. Objectif de l'étude**

Afin de récupérer la quantité de gaz brûlé, nous proposons les suggestions suivantes : Récupérer le gaz brûlé en rétablissant la même pression que la ligne BOG ; on constate que le volume du ballon HP V-1006 est quatre fois celui des autres Ballons MP et BP et leur emplacement Plus près de la ligne BOG. Par conséquent, le relâcher fera chuter la pression des trois ballons de la boucle à 3 kg/cm<sup>2</sup> (recherche des conditions de démarrage). Entre 5 et 7 kg/cm<sup>2</sup>, la température est proche de la température de fonctionnement, mais si l'arrêt dure longtemps, elle tend vers la température ambiante.

**III.5. Dimensionnement de la ligne de récupération de propane**

Deux critères sont retenus pour le dimensionnement d'une ligne : la vitesse et la perte de charge. Les caractéristiques les plus importantes pour le dimensionnement d'une ligne de gaz sont : Le diamètre et l'épaisseur de la tuyauterie. Le choix du diamètre d'une canalisation est dicté par les conditions économiques et opératoires. Notre

diamètre doit être identique à celui de la ligne de torche. Le simulateur HYSYS fournit l'optimisation du diamètre par l'option « pipe sizing ». (5)

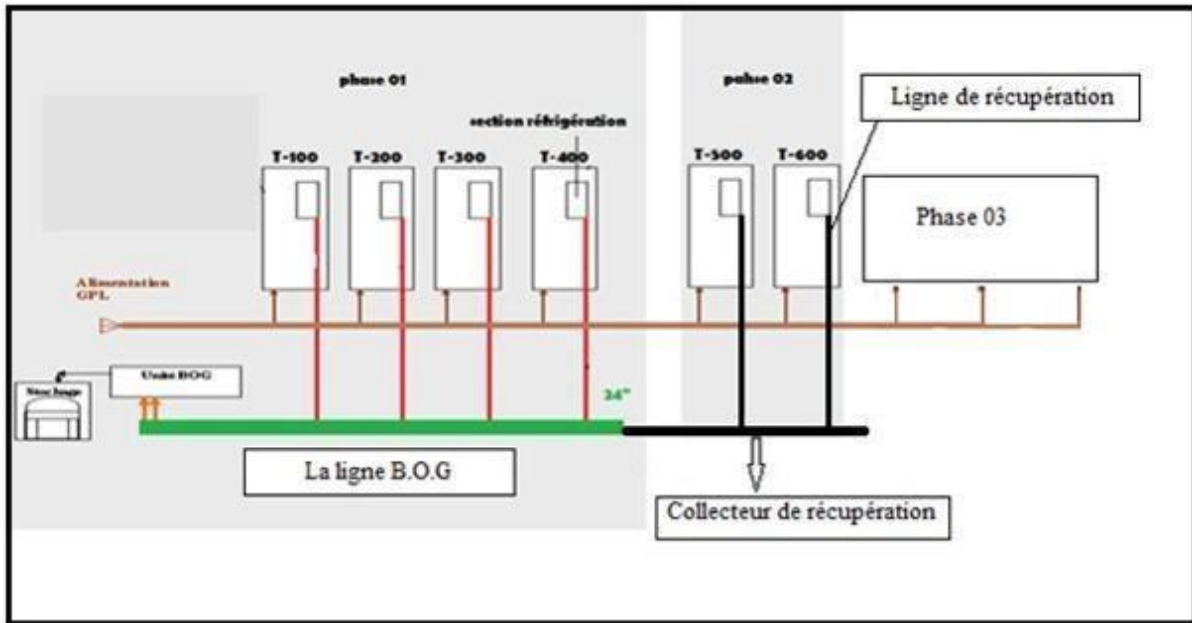


Figure III.6 : Localisation de la ligne et collecteur de récupération.

### III.5.1. Equipements

➤ **Segment pipe**

- Ligne train avec une longueur de 130 m, 4 coudes, vanne de garde et un clapet antiretour soumis à température ambiante de 25°C.
- Collecteur de récupération avec une longueur de 421 m, 49 coudes et une vanne de garde soumis à une température ambiante de 25°C.

- **Vanne de détente** : détend les vapeurs à une pression de 900 mm H<sub>2</sub>O effective (1,1 bar) mesuré par l'indicateur de pression sur la ligne ; cette pression est le cas le plus défavorable quand la température est supérieure à 25 °C.

### III.5.2. Théories de calculs

#### a. Vitesse d'écoulement du gaz

Selon la loi de la continuité nous avons :

$$Q_m = \rho \times V \times S \text{ [Kg/h]} \dots\dots\dots (3) \text{ Avec :}$$

- $Q_m$  : Débit massique en (Kg/h).

- V : Vitesse d'écoulement du gaz en (m/s).
- $\rho$  : Masse volumique en (Kg/ m<sup>3</sup> ).
- S : Surface d'écoulement en (m<sup>2</sup>). Avec
- $S = \pi \times D^2 / 4$  [m<sup>2</sup>] .....(4)

**b. Diamètre**

Selon la relation suivante :

$D_{int} = D_{ext} - 2e$  [m] ..... (5) Avec :

- D : Diamètre de pipe en (m).
- $D_{int}$  : Diamètre intérieure de pipe en (m).
- $D_{ext}$  : Diamètre extérieur de pipe en (m).
- e : Epaisseur de pipe en (m).

**c. La masse volumique**

$\rho = (P \times M_{moy}) / (Z \times R \times T)$  [Kg/m<sup>3</sup>] ..... (6)

Tels que :

- P : Pression de gaz en (Atm).
- R : Constante de gaz parfait en (atm/mol.k), avec R=0,082 atm/mol.k.
- T : Température du gaz en(K).
- $M_{moy}$  : Masse moyenne de gaz en (g/mol).

$M_{moy} = \sum M_i \cdot X_i$  ..... (7)

Tels que :

- $M_i$  : Masse molaire du constituant.
- $X_i$  : Fraction molaire du constituant.

Donc  $V = Q_m / (S \times \rho) \implies V = 4 \times Q_m / (\rho \times \pi \times D^2)$  [ m<sup>3</sup>] ..... (8)

**d. Nature de l'écoulement Nombre de Reynolds**

Il représente le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité c'est l'indicateur du régime d'écoulement.

$Re = \rho \times V \times D / \mu$  .....(9)

Avec :

- Re : Nombre de Reynolds.

•  $\rho$  : Masse volumique en (Kg/m<sup>3</sup>),  $\rho = m / V$  [Kg/m<sup>3</sup>] ..... (10)

L'expression montre que :

- Si  $Re < 2000$  : le régime est laminaire indique que l'écoulement est calme et régulier.
- Si  $2000 < Re < 3000$  : le régime est intermédiaire indique que l'écoulement est instable entre le régime laminaire et le régime turbulent.
- Si  $Re > 3000$  : le régime est turbulent indique que l'écoulement est sous forme de tourbillon et de remous.

Ces valeurs doivent être considérées comme des ordres de grandeurs, le passage d'un type d'écoulement à un autre se faisant progressivement [6].

### e. Pertes de charges

Les équations relatives à la chute de pression sont fondées sur le théorème de BERNOULLI.

$$\Delta P_T = \Delta P_l + \Delta P_S \text{ [Kg/cm}^2\text{]} \dots\dots\dots (11)$$

Avec :

- $\Delta P_T$  : Pertes de charge totale en (Kg/cm<sup>2</sup>).
- $\Delta P_S$  : Chute de pression singulière en (Kg/cm<sup>2</sup>).
- $\Delta P_L$  : Chute de pression linéaire en (Kg/ cm<sup>2</sup>).

### 1. Pertes de charges Systématiques (Linéaire)

La perte de charge linéaire est déterminée par l'équation de DARCY :

$$\Delta P_L = \lambda \times \rho \times (L / D) \times [V^2 / (2 \times g)]$$

[Kg/cm<sup>2</sup>]..... (12) Avec :

- $\Delta P_L$  : Pertes de charge linéaire en (Kg/cm<sup>2</sup>).
- $\rho$  : Masse volumique en (Kg/m<sup>3</sup>).
- $\lambda$  : Coefficient de perte de charge, On le détermine en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité relative ( $\epsilon/D$ ). Avec  $\epsilon=0.0006$  pour l'acier au carbone (Voir Annexe03).
- $D$  : Diamètre interne du collecteur en(m)
- $V$  : Vitesse d'écoulement en (m/s).
- $g$  : Accélération de la pesanteur en (m/s<sup>2</sup>), [ $g=9,81\text{m/s}^2$ ].
- $L$  : Longueur du collecteur en(m).

## 2. Pertes de charges locale (Singulière)

Les pertes de charge à travers les coudes, tés, vannes, robinets et rétrécissements sont déterminées par la formule suivante :

$$\Delta P_s = \rho \times K \times [V^2 / (2 \times g)] \text{ [Kg/cm}^2\text{]} \dots\dots\dots (13)$$

Avec :

- $\Delta P_s$  : Chute de pression singulière en (Kg/cm<sup>2</sup>).
- $\rho$  : Masse volumique en (Kg/m<sup>3</sup>).
- K : Coefficient de perte de charge locale [Coude 90°, K = (0,50÷0,75)], (Voir Annexe04).
- V : Vitesse d'écoulement en (m/s).
- g : Accélération de la pesanteur en (m/s<sup>2</sup>).

### f. Données

Pour notre cas durant la période de stage du 10/04/2021 au 11/05/2021, puisque la température ambiante est de 30°C, la quantité de combustion est importante. A noter que la modification a été faite en conservant le même type de matériau. Afin d'éviter tout accident et de protéger la sécurité des personnes, une vanne d'isolement manuelle a été installée sur le collecteur.

Il sert à ouvrir le ballon de stockage frigorifique lorsqu'il est décompressé. Le détendeur est conçu pour ajuster la pression proche de la pression d'entrée de la ligne BOG.

### g. Débit de propane torché

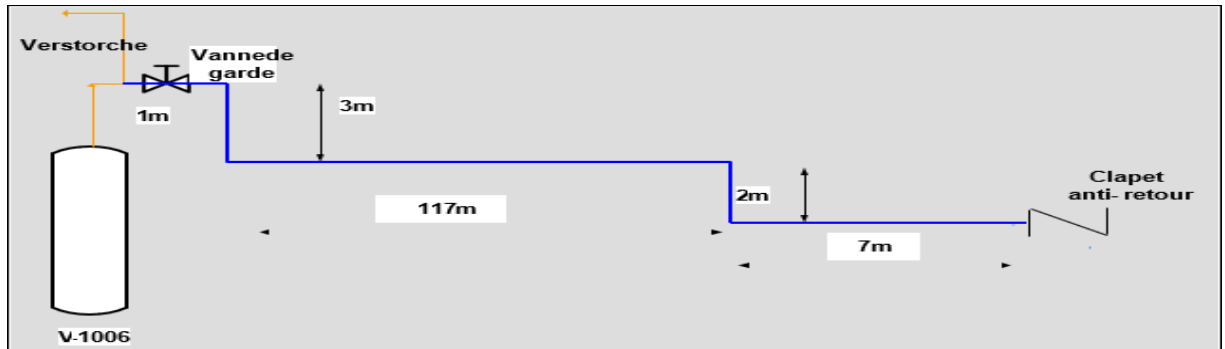
- Le volume moyen de gaz torché durant un arrêt est de : 16,67m<sup>3</sup> équivalent de 7934,92 Kg.
- Le temps moyen de torchage pour dépressurisation ( $P < 3 \text{ Kg/ cm}^2$ ) est de : 01 heure.

Comme c'est une boucle fermée avec une conservation des masses le débit torché sera :

$$Q \text{ torché} = 182,50 \text{ Tonne/an.}$$

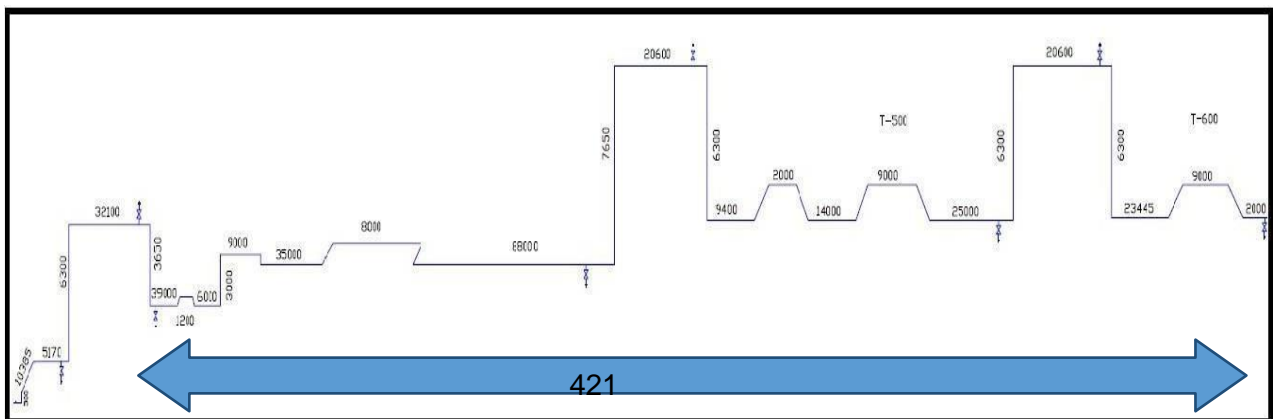
**III.5.3. Longueur de ligne**

La longueur de la ligne traine mesurée sur site est (L=130m).



**Figure III.7 : Longueur de la ligne train.**

La longueur du collecteur mesurée sur site est (421m).



**Figure III.8 : Tracé de collecteur.**

**a. Nombre de coude**

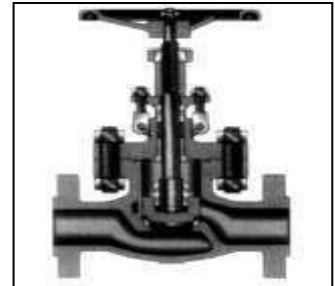
On a 53( quatre) coude d'un angle de 90° qui est un nombre nécessaire pour assurer l'adaptation de la pipe à travers les installations [5].



**Figure III.9 : Coude 90°.**

**b. Nombre de vannes**

- Deux vannes de garde afin de contrôler l'ouverture ou la fermeture en cas de nécessité.
- Une vanne de détente pour soumettre les vapeurs récupérés aux conditions BOG, elle est munie d'un indicateur de pression (PIC) sur la ligne BOG qui indique à la vanne la pression de sa détente (pression d'admission).

**Figure III.10 : Vanne de garde****c. Composition des vapeurs récupérées**

Les compositions qui sont présentées dans le tableau ci-dessous sont données par le laboratoire :

**Tableau : III.3 : Composition du réfrigérant.**

COMPOSITION	FRACTION (%)
Méthane	0,17
Ethane	0,56
Propane	99,01
Isobutane	0,13
n-butane	0,1

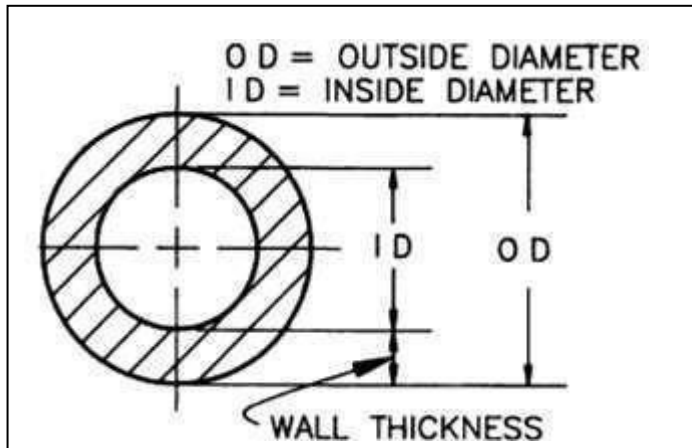
III.5.4. Calculs

Figure III.11 Coupe transversale de la pipe.

**a. Diamètre**

- Le diamètre est de (6") six pouce (Voir Annexe05).
- Type des matériaux de la pipe : les matériaux choisis sont l'acier au carbone A53, classe D.1Y (Voir Annexe 06).

Sachant que le diamètre intérieur  $D_{int} = D_{ext} - 2e$

$$\text{A.N: } D_{int} = 168,30 - 2 \times 7,11 \implies D_{int} = 154,08 \text{ mm} = \mathbf{0,154m.}$$

**b. La masse molaire**

$$\text{On a } M_{\text{moy}} = \sum M_i \cdot X_i$$

$$\text{A.N : } M_{\text{moy}} = (16 \times 0,17) + (30 \times 0,56) + (44 \times 99,01) + (58 \times 0,13) + (58 \times 0,1)$$

$$\implies M_{\text{moy}} = \mathbf{43,89g/mol}$$



**a. La masse volumique**

La loi des gaz parfait est donnée par la formule :  $P \times V = n \times R \times T$  .....(13)

Avec : •  $n$  : Nombre de mole,  $n = m / M$  [Mole].....(14)

•  $R = 0,082 \text{Atm.l/mol.K}$

En remplaçant les formules (10) et (14) dans la formule (13), on obtient :

$$\rho = (P \times M) / (R \times T)$$

$$\text{A.N : } \rho = (6,8 \times 43,89) / (0,082 \times 285,5) \implies \rho = \mathbf{12,74 \text{ Kg/m}^3}$$

**b. La vitesse d'écoulement**

Selon la loi de la continuité :  $V = Q_m / (S \times \rho) \implies V = (4 \times Q_m) / (\rho \times \pi \times D^2)$

$$\text{A.N : } V = (4 \times 7934,92) / (12,74 \times \pi \times 0,154^2 \times 3600) \implies \mathbf{V = 9,29 \text{ m/s}}$$

**c. Nombre de Reynolds**

On a :  $Re = \rho \times V \times D / \mu$  La viscosité dynamique ( $\mu$ ) est déterminée après la simulation (Hysys) les conditions initiales

Avec les données ( $T = 12,35^\circ\text{C}$ ,  $P = 588,4 \text{ KPa}$ ) (Voir Tableau III.5).

$$\text{On a : } \mu = 8,091. 10^{-3} \text{ cp} = 8,091. 10^{-5} \text{ Kg/m.s}$$

$$\text{A.N : } Re = (12,74 \times 9,29 \times 0,154) / (8,091.10^{-5}) \implies \mathbf{Re = 2,25 \cdot 10^5}$$

D'où : Cette valeur est supérieure à 3000 ( $Re > 3000$ ), donc l'écoulement du gaz est turbulent.

**d. Les pertes de charges**

La décompression de ballon d'aspiration passera de  $7 \text{ kg/cm}^2$  à  $3 \text{ kg/cm}^2$  Ceci se fait de manière dynamique, donc la courbe de pression de départ va s'abaisser, ce qui va faire changer la courbe de perte de charge avant le raccordement au Le détendeur le rend affecté par les conditions du pipeline BOG (environ  $900$  à  $300 \text{ mmH}_2\text{O}_{\text{eff}}$ ). Exemple : Nous illustrons le calcul de la perte de charge lorsque la pression de démarrage du réservoir V-1006 est de  $6 \text{ kg/cm}^2$  lorsque le réservoir est à l'arrêt.

**➤ Perte de charge ligne train**

- **La perte de charge linéaire**

Correspond à l'écoulement général dans une conduite rectiligne. Elles sont calculées selon l'équation de DARCY:

$$\Delta PL = \lambda \times \rho \times (L / D) \times [V^2 / (2 \times g)]$$

Le coefficient de perte de charge ( $\lambda$ ) est déterminé en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité relative ( $\varepsilon/D$ ),  $\varepsilon=0,006$  cm pour l'acier au carbone. (Voir le diagramme de Moody Annexe 03.

On a :

- $Re = 2,25 \cdot 10^5$
- $(\varepsilon/D) = 3,90 \cdot 10^{-4}$  Diagramme de Moody  $\implies \lambda = 0,018$

$$\Delta PL = 851,52 \text{ Kg/m}^2 = 0,085152 \text{ Kg/cm}^2$$

- **La perte de charge singulière**

$$\text{On a : } \Delta P_s = \rho \times K \times [V^2 / (2 \times g)]$$

Pour le coefficient de perte de charge dans les accessoires (K). (Voir Annexe 04)

- Les Coudes : Nous avons 04 coudes de  $90^\circ\text{C}$ , D'après l'annexe N°5 on a  $K=0.50$ .  
A.N

$$\Delta P_s = 111,63 \text{ Kg/m}^2 = 0,0111 \text{ Kg/cm}^2$$

- Vanne manuelle Nous avons une vanne manuelle avec  $K=0,25$ .

$$\Delta P_s = 14,01 \text{ Kg/m}^2 = 0,0014 \text{ Kg/cm}^2$$

- Clapet anti-retour 6 pouces  $K=0,75$

$$\Delta P_s = 0,0042 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{D'où : } \Delta P_{T\text{train}} = \Delta P_1 + \Delta P_s = 0,085152 + 0,0111 + 0,014 + 0,0042$$

$$\Delta P_{T\text{train}} = 0,114452 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ **Perte de charge collecteur**

- **La perte de charge linéaire**

$$\Delta PL = 0,2698 \text{ Kg/cm}^2$$

- **La perte de charge singulière**

-Vanne manuelle Nous avons une vanne manuelle avec  $K=0,25$ .

$$\Delta P_s = 14,024 \text{ Kg/m}^2 = 0,0014 \text{ Kg/cm}^2$$

- Les Coudes Nous avons 49 coudes de  $90^\circ\text{C}$ , D'après l'annexe N°5 on a  $K=0.50$ .

$$\Delta P_s = 0,137 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{D'où : } \Delta P_{T\text{collecteur}} = \Delta P_1 + \Delta P_s$$

$$\Delta P_{T\text{collecteur}} = 0,4082 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{D'autre part, on a : } \Delta P_T = \Delta P_{T\text{train}} + \Delta P_{T\text{collecteur}}$$

$$\text{A.N : } \Delta P_T = 0,114452 + 0,4082 \Delta P_T = 0,522652 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ **La pression d'arriver**

- La température d'injection du propane récupéré dans le collecteur BOG La section BOG peut liquéfier des vapeurs qui ont des températures de 18C° au maximum, donc il faut vérifier que la température d'injection du propane récupéré (T3) Dans le collecteur BOG, soit inférieur à 18C°.

✓ P1 : la pression d'équilibre dans le ballon V-1006,  $P1 = 5,884 \text{Kg/cm}^2$ .

✓ P2 : la pression d'entré da la vanne de détente.

✓ P3 : la pression d'admission de la section BOG,  $P3 = 1.1 \text{Kg/cm}^2$ .

- Calcul de P2 D'après la loi fondamental de l'hydrostatique

on aura :  $P2 = P1 + \rho \times g \times H - \Delta PT \dots\dots(15)$

Avec :

- H : La déférence de la hauteur entre le haut du ballon V-1006 et la vanne de détente, (H=5m).
- $\rho$  : La masse volumique en (Kg/m<sup>3</sup> ).
- g : L'accélération de la pesanteur (m/s<sup>2</sup> ), on prend  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  .
- A.N :  $P_2 = 5,884 + [12,74 \times 9,81 \times 5] \cdot 10^{-4} - 0,522652$

==> **P2= 5,42 Kg/cm**

### III.6. Simulation

#### a. Description du Simulateur HYSYS 8.8

Le HYSYS est un logiciel de simulation des procédés de génie chimie, développé par la société canadienne HYPROTECH. Il a été conçu pour permettre le traitement d'une vaste gamme de problèmes allant de la séparation jusqu'à la distillation et la transformation chimique.

Les ingénieurs engagés dans le domaine de design utilisent le logiciel HYSYS pour faire des calculs rapides en utilisant des modèles efficaces et des techniques optimales.

La simulation par HYSYS réduit les coûts de l'engineering par :

- Des calculs rapides de différents designs pour s'assurer que les équipements du procédé sont correctement spécifiés afin de délivrer les caractéristiques du produit voulu aux rendements de la production désirés.

- Création de modèles qui peuvent être appliqués durant le fonctionnement de l'unité à partir du design de conception jusqu'aux détails.

Le modèle thermodynamique utilisé dans cette simulation est le modèle PENG-ROBINSON.

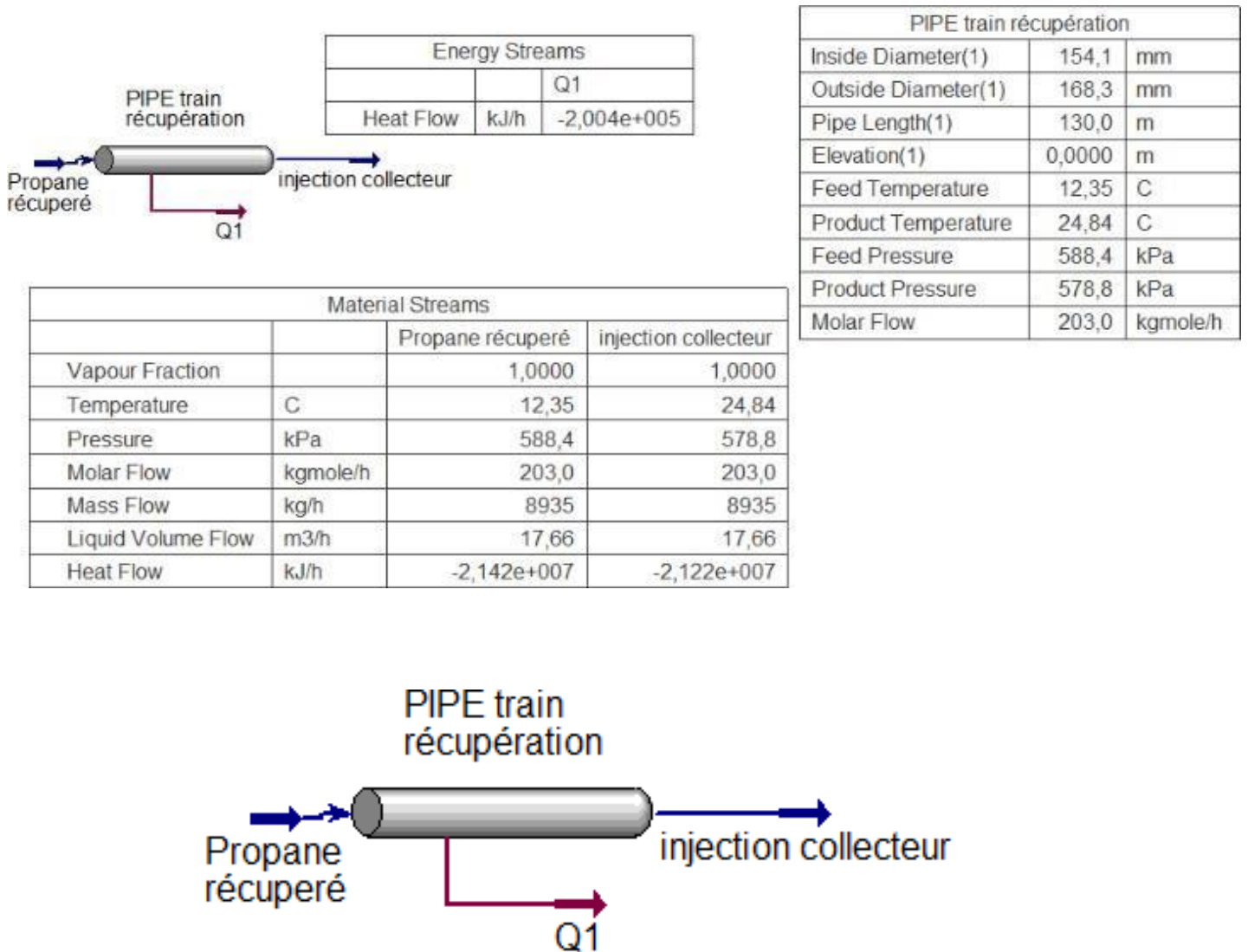
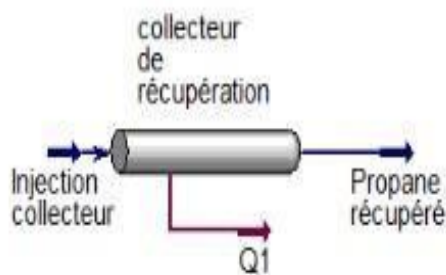


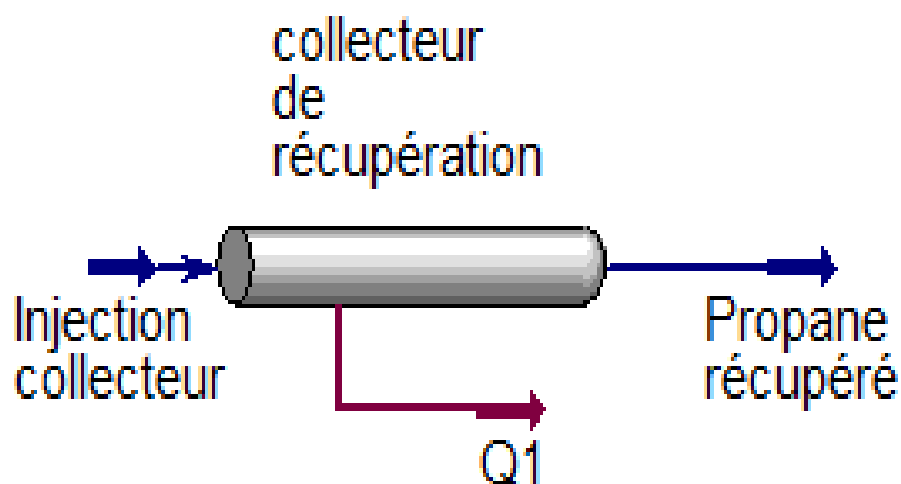
Figure III.12 : La ligne train du propane récupéré simulée par HYSYS



collecteur de récupération		
Inside Diameter(1)	154,1	mm
Outside Diameter(1)	168,3	mm
Pipe Length(1)	421,0	m
Elevation(1)	0,0000	m
Feed Temperature	24,84	C
Product Temperature	36,81	C
Feed Pressure	569,9	kPa
Product Pressure	534,9	kPa
Molar Flow	203,0	kgmole/h

Material Streams			
		Injection collecteur	Propane récupéré
Vapour Fraction		1,0000	1,0000
Temperature	C	24,84	36,81
Pressure	kPa	569,9	534,9
Molar Flow	kgmole/h	203,0	203,0
Mass Flow	kg/h	8935	8935
Liquid Volume Flow	m3/h	17,66	17,66
Heat Flow	kJ/h	-2,122e+007	-2,101e+007

Energy Streams		
		Q1
Heat Flow	kJ/h	-2,021e+005



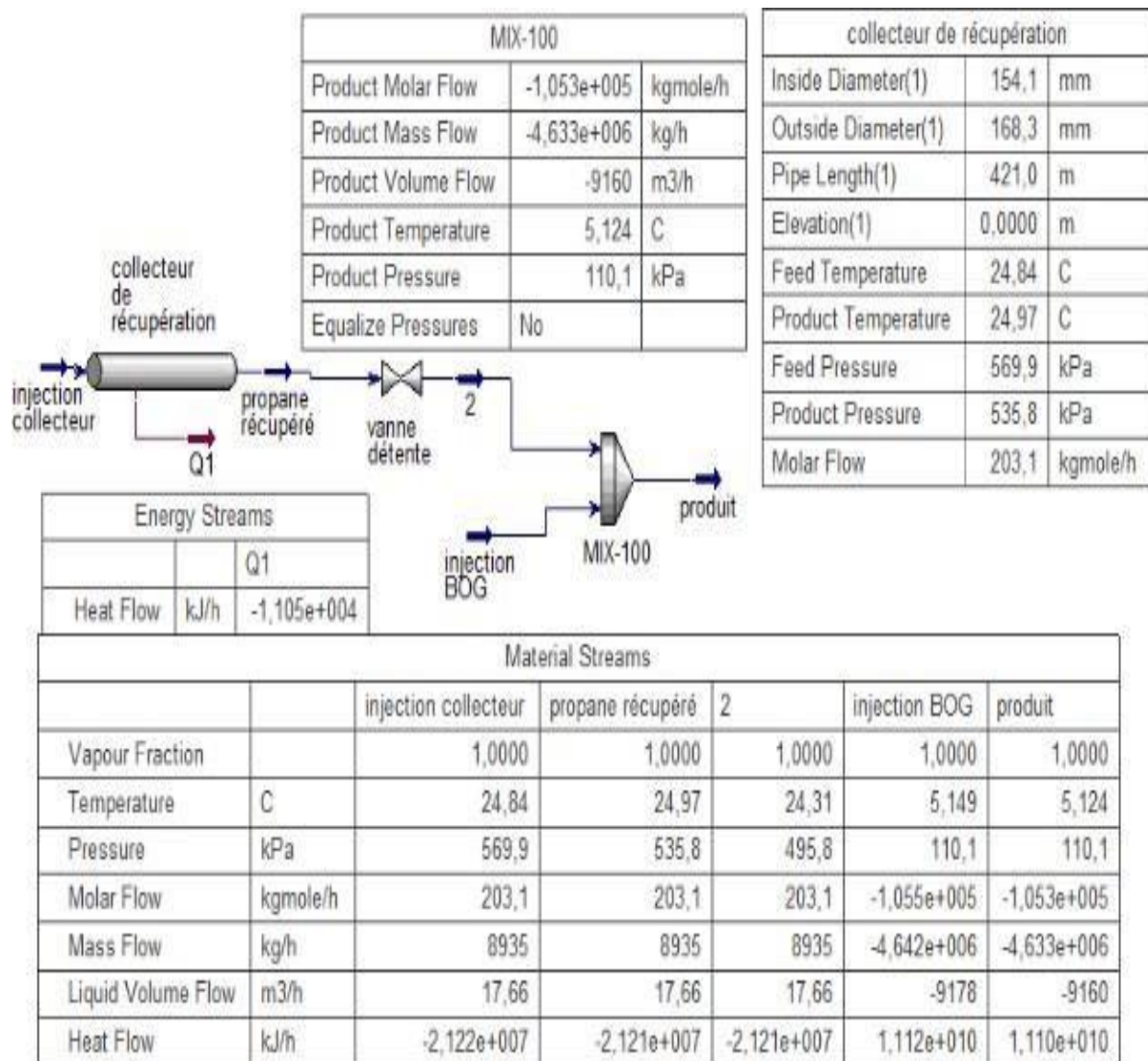


Figure III.13 : Collecteur de récupération injecté à la section BOG simulé par HYSYS

	Résultat calculé	Résultat Hysys
Pression P2 (kg / cm <sup>2</sup> )	<b>5,42</b>	<b>5,45</b>
Perte de charge (kg / cm <sup>2</sup> )	<b>0,522652</b>	<b>0,5788</b>

**Tableau III.4 : Comparaison entre les résultats calculés et résultats obtenus par hysys.**

**b. Interprétations des résultats :**

D'après notre calcul théorique et la simulation Hysys 8.8, on constate que notre calcul est proche de la simulation par Hysys ainsi que notre calcul est bien vérifié.

Le propane habituellement torché lors du démarrage de la section réfrigération peut être récupéré en créant une ligne de 130 m reliant le ballon **V-1006** à la ligne **BOG**

Et peut-être véhiculé par différence de pression à partir du ballon V-1006 jusqu'à son injection tout en respectant les conditions requises de liquéfaction.

La faisabilité de la ligne proposée de récupération est simulée avec le logiciel HYSYS, les conditions d'injections simulées sont compatibles à l'envoi à la ligne BOG.

La modification permettra au complexe de faire des économies conséquentes et ainsi participer aux efforts de Sonatrach de réduire le taux des gaz torchés

**Conclusion :**

Le complexe GP1 /Z et avec le certificat ISO14001 obtenu en 2004, ne cesse de mettre au point des modifications afin de minimiser le maximum et éliminer dans certains cas le torchage qui constitue en lui-même un problème environnemental sérieux, vu que ce dernier cause une dégradation grave de l'atmosphère (effet de serre, réchauffement climatique)

Rappelons que parmi les préoccupations essentielles de **GP1/Z** c'est de réduire les gaz torchés, il est observé un torchage important lors du démarrage de la section de réfrigération donc il nous a paru indispensable d'étudier ce cas en vue de minimiser ces pertes en procédant à leur récupération, Ce qui nous a amené à la nécessité d'élaborer une étude de réalisation d'une ligne de récupération pour chaque train de la phase II (deux trains), alors débit de propane annuelle torché **Q torché= 182,50 Tonne/an.**



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] -Manuel Opérateur. (2003). Département technique, Service des études, Complexe GP1/Z ARZEW
- [2] – FAREZ,A .SENINA,M.(2010). Étude problème du mauvais refroidissement de l'échangeur E0034 dans la section BOG propane (complexe GP1/Z). Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur. Spécialisé en GNL. Algerian Petroleum Institute IAP Spa
- [3] - Manuel Opérateur GP1/Z, Généralités sur le complexe GP1Z
- [4] - BENAMEUR, M. KHENAFU, N. (2017). Etude de la récupération des gaz torchés dans la section BOG et la diminution des rejets des fumées. Mémoire de master, université des sciences et de technologie Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem.
- [5] - Catalogue mécanique : manuel (document GP1/Z).
- [6] -Younger, ,A-H .Eng. (2004). Natural Gas Processing Principles and Technology partII, Thimm Engineering, Calgary.
- [7] - Catalogue mécanique ; manuel : volume 1. Document GP1-Z
- [8] - Généralités sur la fabrication GP1/Z. Phase I, T405 a, I.H.I.
- [9] - Manuel opératoire ; BOG phase I volume IV (GP1/Z).
- [10] -Catalogue Mécanique ; process 3 : volume 1. IHI GP-1Z.
- [11] - Document TOTAL « Manuel de formation-les drains et les torches ».
- [12] - Efforts de SONATRACH dans la réduction des gaz à effet de serre. PDF
- [13] - <https://www.clarke-energy.com/fr/associated>

[14] HOCEINI, A. (2007). Etude de l'impact des gaz torchés de l'industrie pétrolière sur l'environnement. Thèse de magister, Université de Science et Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF, Oran source.

[15] - projets de récupération des gaz torchés, document interne du complexe GP1/Z.

[16] - procès utilités, document interne du complexe GP1/Z.

[17] - SCRIBD. Réchauffement climatique (en ligne). (Consulté le 02 octobre 2020) disponible a l'adresse <https://fr.scribd.com/document/96578707/Expose-Amine>.

[18] – Tatiana, S. (2020).SCRIBD. Réchauffement climatique (en ligne).

[19] – CHAPRON, J-Y. (2020). Le changement climatique. Académie des sciences.

[20] - SCRIBD. Nouveau Document RTF L'effet de serre. (En ligne). (Consulté le 16 octobre 2020) disponible a l'adresse\_ <https://fr.scribd.com/document/392412981/Nouveau-DocumentRTF>

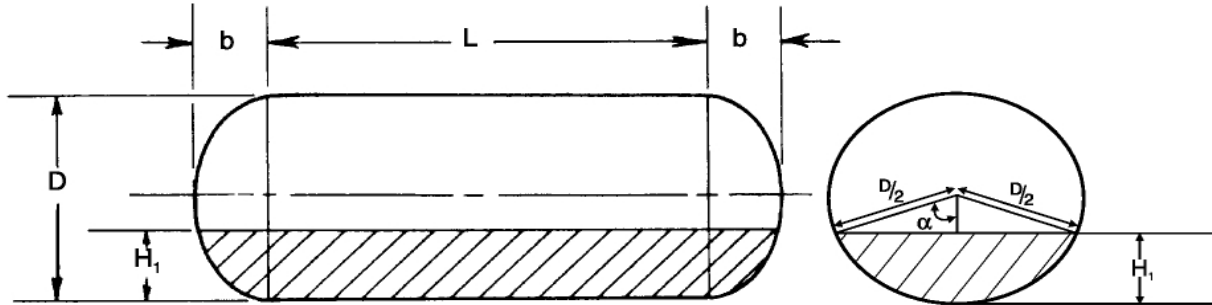
[21]- [http://fr.wikipedia.org/wiki/protocole\\_de\\_kyoto](http://fr.wikipedia.org/wiki/protocole_de_kyoto).

# Annex



FIG. 6-21

**HORIZONTAL CYLINDRICAL TANKS**



Total volume = volume in 2 heads + volume in cylinder

$$= 1/6 \pi K_1 D^3 + 1/4 \pi D^2 L$$

$$K_1 = 2 b/D \quad Z_e = H_1/D \quad Z_c = H_1/D$$

$$\text{Partial volume} = 1/6 \pi K_1 D^3 \times [f(Z_e)] + 1/4 \pi D^2 L \times [f(Z_c)]$$

$$f(Z_c) = \text{Horizontal cylinder coefficient (see Fig. 6-22)} \quad \text{or} \quad f(Z_c) = \left( \frac{\alpha - \sin(\alpha) \times \cos(\alpha)}{\pi} \right)$$

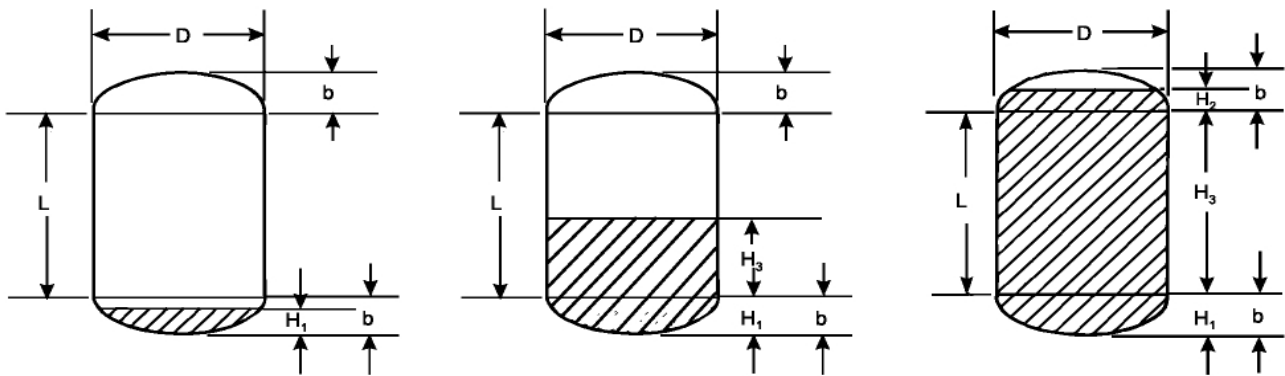
$$f(Z_e) = \text{Ellipsoidal coefficient (see Fig. 6-23)} \quad \text{or} \quad f(Z_e) = -\left(\frac{H_1}{D}\right)^2 \times \left(-3 + \frac{2H_1}{D}\right)$$

For elliptical 2:1 heads,  $b = 1/4 D$ ,  $K_1 = 1/2$

$$\alpha = 2 \times \text{Atan} \left( \frac{H_1}{\sqrt{\left(2 \times H_1 \times \frac{D}{2}\right) - H_1^2}} \right)$$

where  $\alpha$  is in radians

**VERTICAL CYLINDRICAL TANKS**



$$\begin{aligned} \text{Total volume} &= \text{volume in heads} + \text{volume in cylinder} \\ &= 1/6 \pi K_1 D^3 + 1/4 \pi D^2 L \end{aligned}$$

$$\text{Partial volume} = 1/6 \pi K_1 D^3 \times [f(Z_e)] + 1/4 \pi D^2 H_3$$

$$K_1 = 2 b/D$$

$$Z_e = (H_1 + H_2)/K_1 D$$

$$f(Z_e) = \text{Ellipsoidal coefficient (see Fig. 6-23)} \quad \text{or} \quad f(Z_e) = -\left(\frac{H_1}{D}\right)^2 \times \left(-3 + \frac{2H_1}{D}\right)$$

**Annexe02**

**FIG. 6-22 Coefficient s for Partial Volumes of Horizontal Cylinders, f(Zc)**

Zc	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.00	.000000	.000053	.000151	.000279	.000429	.000600	.000788	.000992	.001212	.001445
.01	.001692	.001952	.002223	.002507	.002800	.003104	.003419	.003743	.004077	.004421
.02	.004773	.005134	.005503	.005881	.006267	.006660	.007061	.007470	.007886	.008310
.03	.008742	.009179	.009625	.010076	.010534	.010999	.011470	.011947	.012432	.012920
.04	.0134 17	.013919	.0144 27	.0149 40	.0154 59	.015985	.0165 15	.0170 52	.017593	.0181 41
.05	.018692	.019250	.019813	.020382	.020955	.021533	.022115	.022703	.023296	.023894
.06	.024496	.025103	.025715	.026331	.026952	.027578	.028208	.028842	.029481	.030124
.07	.030772	.031424	.032081	.032740	.033405	.034073	.034747	.035423	.036104	.036789
.08	.037478	.038171	.038867	.039569	.040273	.040981	.041694	.042410	.043129	.043852
.09	.044579	.045310	.046043	.046782	.047523	.048268	.049017	.049768	.050524	.051283
.10	.0520 44	.0528 10	.0535 79	.0543 51	.0551 26	.0559 05	.0566 88	.0574 74	.0582 62	.0590 54
.11	.059850	.060648	.061449	.062253	.063062	.063872	.064687	.065503	.066323	.067147
.12	.067972	.068802	.069633	.070469	.071307	.072147	.072991	.073836	.074686	.075539
.13	.076393	.077251	.078112	.078975	.079841	.080709	.081581	.082456	.083332	.084212
.14	.085094	.085979	.086866	.087756	.088650	.089545	.090443	.091343	.092246	.093153
.15	.094061	.094971	.095884	.096799	.097717	.098638	.099560	.100486	.101414	.102343
.16	.1032 75	.1042 11	.1051 47	.1060 87	.1070 29	.1079 73	.1089 20	.1098 69	.1108 20	.1117 73
.17	.1127 28	.113686	.1146 46	.1156 07	.1165 72	.117538	.1185 06	.1194 77	.1204 50	.1214 25
.18	.1224 03	.123382	.1243 64	.1253 47	.1263 33	.1273 21	.1283 10	.1293 02	.1302 96	.1312 92
.19	.132290	.133291	.134292	.135296	.136302	.137310	.138320	.139332	.140345	.141361
.20	.1423 78	.1433 98	.1444 19	.1454 43	.1464 68	.1474 94	.1485 24	.1495 54	.1505 87	.1516 22
.21	.1526 59	.1536 97	.1547 37	.1557 79	.1568 22	.1578 67	.1589 15	.1599 63	.1610 13	.1620 66
.22	.1631 20	.1641 76	.1652 33	.1662 92	.1673 53	.1684 16	.1694 80	.1705 46	.1716 13	.1726 82
.23	.1737 53	.1748 25	.1759 00	.1769 76	.1780 53	.1791 31	.1802 12	.1812 94	.1823 78	.1834 63
.24	.184550	.185639	.186729	.187820	.188912	.190007	.191102	.192200	.193299	.194400
.25	.1955 01	.1966 04	.1977 09	.1988 14	.1999 22	.2010 31	.2021 41	.2032 53	.2043 68	.2054 83
.26	.2066 00	.2077 18	.2088 37	.2099 57	.2110 79	.2122 02	.2133 26	.2144 53	.2155 80	.2167 08
.27	.2178 39	.2189 70	.2201 02	.2212 35	.222371	.2235 07	.2246 45	.225 7 83	.2269 24	.2280 65
.28	.2292 09	.230352	.2314 98	.2326 44	.233791	.2349 41	.236091	.237242	.238395	.239548
.29	.2407 03	.2418 59	.2430 16	.2441 73	.2453 33	.2464 94	.2476 55	.2488 19	.2499 83	.2511 48
.30	.2523 15	.2534 83	.2546 52	.2558 22	.2569 92	.2581 65	.2593 38	.2605 12	.2616 87	.2628 63
.31	.2640 39	.2652 18	.266397	.2675 78	.2687 60	.2699 42	.2711 26	.2723 10	.2734 95	.2746 82
.32	.2758 69	.2770 58	.2782 47	.2794 37	.2806 27	.2818 20	.2830 13	.2842 07	.2854 01	.2865 98
.33	.287795	.288992	.290191	.291390	.292591	.293793	.294995	.296198	.297403	.298608
.34	.299814	.301021	.302228	.303438	.304646	.305857	.307068	.308280	.309492	.310705
.35	.311918	.313134	.314350	.315566	.316783	.318001	.319219	.320439	.321660	.322881
.36	.324104	.325326	.326550	.327774	.328999	.330225	.331451	.332678	.333905	.335134
.37	.336363	.337593	.338823	.340054	.341286	.342519	.343751	.344985	.346220	.347455
.38	.348690	.349926	.351164	.352402	.353640	.354879	.356119	.357359	.358599	.359840
.39	.361082	.362325	.363568	.364811	.366056	.367300	.368545	.369790	.371036	.372282
.40	.3735 30	.3747 78	.3760 26	.3772 75	.3785 24	.3797 74	.381024	.382274	.383526	.384778
.41	.386030	.387283	.388537	.389790	.391044	.392298	.393553	.394808	.396063	.397320
.42	.398577	.399834	.401092	.402350	.403608	.404866	.406125	.407384	.408645	.409904
.43	.4111 65	.4124 26	.413687	.4149 49	.4162 11	.4174 73	.418736	.4199 98	.4212 61	.4225 25
.44	.4237 88	.4250 52	.4263 16	.4275 82	.4288 46	.4301 12	.4313 78	.4326 45	.4339 11	.4351 78
.45	.436445	.437712	.438979	.4402 46	.4415 14	.4427 82	.4440 50	.4453 18	.446587	.4478 57
.46	.4491 25	.4503 94	.4516 63	.4529 32	.4542 01	.4554 72	.4567 41	.4580 12	.4592 83	.4605 54
.47	.4618 25	.4630 96	.4643 67	.4656 38	.4669 10	.4681 82	.4694 53	.4707 25	.4719 97	.4732 69
.48	.4745 41	.4758 14	.4770 86	.4783 58	.4796 31	.4809 03	.4821 76	.4834 49	.4847 22	.4859 95
.49	.487269	.488542	.489814	.491087	.492360	.493633	.494906	.496179	.497452	.498726

**Annexe02**

**FIG. 6-22 ( Cont'd)**

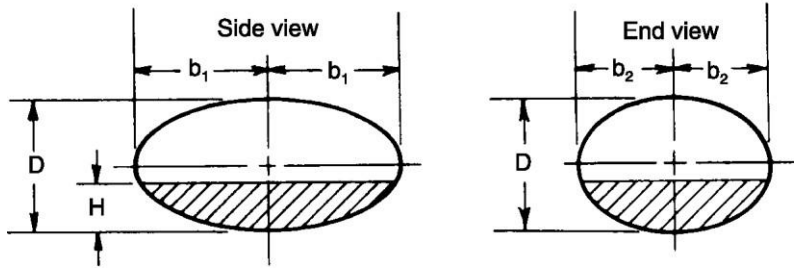
**Coefficients for Partial Volumes of Horizontal Cylinders, f( Zc)**

Zc	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.50	.5000 00	.5012 74	.5025 48	.5038 21	.5050 94	.5063 67	.5076 40	.5089 13	.5101 86	.5114 58
.51	.5127 31	.5140 05	.5152 78	.5165 51	.5178 24	.5190 97	.5203 69	.5216 42	.5229 14	.5241 86
.52	.5254 59	.5267 31	.5280 03	.5292 75	.5305 47	.5318 18	.5330 90	.5343 62	.5356 33	.5369 04
.53	.5381 75	.5394 46	.5407 17	.5419 88	.5432 59	.5445 28	.5457 99	.5470 68	.5483 37	.5496 06
.54	.5508 75	.5521 43	.5534 13	.5546 82	.5559 50	.5572 18	.5584 86	.5597 54	.5610 21	.5622 88
.55	.5635 55	.5648 22	.5660 89	.5673 55	.5686 22	.5698 88	.5711 54	.5724 18	.5736 84	.5749 48
.56	.5762 12	.5774 75	.5787 39	.5800 02	.5812 64	.5825 27	.5837 89	.5850 51	.5863 13	.5875 74
.57	.5888 35	.5900 96	.5913 55	.5926 16	.5938 75	.5951 34	.5963 92	.5976 50	.5989 08	.6001 66
.58	.6014 23	.6026 80	.6039 37	.6051 92	.6064 47	.6077 02	.6089 56	.6102 10	.6114 63	.6127 17
.59	.6139 70	.6152 22	.6164 74	.6177 26	.6189 76	.6202 26	.6214 76	.6227 25	.6239 74	.6252 22
.60	.6264 70	.6277 18	.6289 64	.6302 10	.6314 55	.6327 00	.6339 44	.6351 89	.6364 32	.6376 75
.61	.6389 18	.6401 60	.6414 01	.6426 41	.6438 81	.6451 21	.6463 60	.6475 98	.6488 36	.6500 74
.62	.6513 10	.6525 45	.6537 80	.6550 15	.6562 49	.6574 81	.6587 14	.6599 46	.6611 77	.6624 07
.63	.6636 37	.6648 66	.6660 95	.6673 22	.6685 49	.6697 75	.6710 01	.6722 26	.6734 50	.6746 74
.64	.6758 96	.6771 19	.6783 40	.6795 61	.6807 81	.6819 99	.6832 17	.6844 34	.6856 50	.6868 66
.65	.6880 82	.6892 95	.6905 08	.6917 20	.6929 32	.6941 43	.6953 54	.6965 62	.6977 72	.6989 79
.66	.7001 86	.7013 92	.7025 97	.7038 02	.7050 05	.7062 07	.7074 09	.7086 10	.7098 09	.7110 08
.67	.7122 05	.7134 02	.7145 99	.7157 93	.7169 87	.7181 80	.7193 73	.7205 63	.7217 53	.7229 42
.68	.7241 31	.7253 18	.7265 05	.7276 90	.7288 74	.7300 58	.7312 40	.7324 22	.7336 03	.7347 82
.69	.7359 61	.7371 37	.7383 13	.7394 88	.7406 62	.7418 35	.7430 08	.7441 78	.7453 48	.7465 17
.70	.7476 85	.7488 52	.7500 17	.7511 81	.7523 45	.7535 06	.7546 67	.7558 27	.7569 84	.7581 41
.71	.7592 97	.7604 52	.7616 05	.7627 58	.7639 09	.7650 59	.7662 09	.7673 56	.7685 02	.7696 48
.72	.7707 91	.7719 35	.7730 76	.7742 17	.7753 55	.7764 93	.7776 29	.7787 65	.7798 98	.7810 30
.73	.7821 61	.7832 92	.7844 20	.7855 47	.7866 74	.7877 98	.7889 21	.7900 43	.7911 63	.7922 82
.74	.7934 00	.7945 17	.7956 32	.7967 47	.7978 59	.7989 69	.8000 78	.8011 86	.8022 91	.8033 96
.75	.8044 99	.8056 00	.8067 01	.8078 00	.8088 98	.8099 93	.8110 88	.8121 80	.8132 71	.8143 61
.76	.8154 50	.8165 37	.8176 22	.8187 06	.8197 88	.8208 69	.8219 47	.8230 24	.8241 00	.8251 75
.77	.8262 47	.8273 18	.8283 87	.8294 54	.8305 20	.8315 84	.8326 47	.8337 08	.8347 67	.8358 24
.78	.8368 80	.8379 34	.8389 87	.8400 37	.8410 85	.8421 33	.8431 78	.8442 21	.8452 63	.8463 03
.79	.8473 41	.8483 78	.8494 13	.8504 46	.8514 76	.8525 06	.8535 32	.8545 57	.8555 81	.8566 02
.80	.8576 22	.8586 39	.8596 55	.8606 68	.8616 80	.8626 90	.8636 98	.8647 04	.8657 08	.8667 09
.81	.8677 10	.8687 08	.8697 04	.8706 98	.8716 90	.8726 79	.8736 67	.8746 53	.8756 36	.8766 18
.82	.8775 97	.8785 75	.8795 50	.8805 23	.8814 94	.8824 62	.8834 28	.8843 93	.8853 54	.8863 14
.83	.8872 72	.8882 27	.8891 80	.8901 31	.8910 80	.8920 27	.8929 71	.8939 13	.8948 53	.8957 89
.84	.8967 25	.8976 57	.8985 86	.8995 14	.9004 40	.9013 62	.9022 83	.9032 01	.9041 16	.9050 29
.85	.9059 39	.9068 47	.9077 54	.9086 57	.9095 57	.9104 55	.9113 50	.9122 44	.9131 34	.9140 21
.86	.9149 06	.9157 88	.9166 68	.9175 44	.9184 19	.9192 91	.9201 59	.9210 25	.9218 88	.9227 49
.87	.9236 07	.9244 61	.9253 14	.9261 64	.9270 09	.9278 53	.9286 93	.9295 31	.9303 67	.9311 98
.88	.9320 28	.9328 53	.9336 77	.9344 97	.9353 13	.9361 28	.9369 38	.9377 47	.9385 51	.9393 52
.89	.9401 50	.9409 46	.9417 38	.9425 26	.9433 12	.9440 95	.9448 74	.9456 49	.9464 21	.9471 90
.90	.9479 56	.9487 17	.9494 76	.9502 32	.9509 83	.9517 32	.9524 77	.9532 18	.9539 57	.9546 90
.91	.9554 21	.9561 48	.9568 71	.9575 90	.9583 06	.9590 19	.9597 27	.9604 31	.9611 33	.9618 29
.92	.9625 22	.9632 11	.9638 96	.9645 77	.9652 53	.9659 27	.9665 95	.9672 60	.9679 19	.9685 76
.93	.9692 28	.9698 76	.9705 19	.9711 58	.9717 92	.9724 22	.9730 48	.9736 69	.9742 85	.9748 97
.94	.9755 04	.9761 06	.9767 04	.9772 97	.9778 85	.9784 67	.9790 45	.9796 18	.9801 87	.9807 50
.95	.9813 08	.9818 59	.9824 07	.9829 48	.9834 85	.9840 15	.9845 41	.9850 60	.9855 73	.9860 81
.96	.9865 83	.9870 80	.9875 68	.9880 53	.9885 30	.9890 01	.9894 66	.9899 24	.9903 75	.9908 21
.97	.9912 58	.9916 90	.9921 14	.9925 30	.9929 39	.9933 40	.9937 33	.9941 19	.9944 97	.9948 66
.98	.9952 27	.9955 79	.9959 23	.9962 57	.9965 81	.9968 96	.9972 00	.9974 93	.9977 77	.9980 48
.99	.9983 08	.9985 55	.9987 88	.9990 08	.9992 12	.9994 00	.9995 71	.9997 21	.9998 49	.9999 47
1.00	1.0000 00									

FIG. 6-23

Table of Coefficients and Formulas for Determining Partial Volumes in Ellipsoids and Spheres

**GENERAL ELLIPSOID**



Total volume of ellipsoid =  $1/6 \pi K_1 K_2 D^3$

Partial Volume =  $1/6 \pi K_1 K_2 D^3 [f(Ze)]$

$K_1 = 2b_1/D$   $K_2 = 2b_2/D$

$Ze = H/D$   $f(Ze) = \text{ellipsoidal coefficient (see below) or } = -\left(\frac{H_1}{D}\right)^2 \times \left(-3 + \frac{2H_1}{D}\right)$

Coefficients for Partial Volumes of Ellip soids or Sp heres , f ( Ze)

Ze	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.00	.000000	.000003	.000012	.000027	.000048	.000075	.000108	.000146	.000191	.000242
.01	.000298	.000360	.000429	.000503	.000583	.000668	.000760	.000857	.000960	.001069
.02	.001184	.001304	.001431	.001563	.001700	.001844	.001993	.002148	.002308	.002474
.03	.002646	.002823	.003006	.003195	.003389	.003589	.003795	.004006	.004222	.004444
.04	.004672	.004905	.005144	.005388	.005638	.005893	.006153	.006419	.006691	.006968
.05	.007250	.007538	.007831	.008129	.008433	.008742	.009057	.009377	.009702	.010032
.06	.010368	.010709	.011055	.011407	.011764	.012126	.012493	.012865	.013243	.013626
.07	.014014	.014407	.014806	.015209	.015618	.016031	.016450	.016874	.017303	.017737
.08	.018176	.018620	.019069	.019523	.019983	.020447	.020916	.021390	.021869	.022353
.09	.022842	.023336	.023835	.024338	.024847	.025360	.025879	.026402	.026930	.027462
.10	.028000	.028542	.029090	.029642	.030198	.030760	.031326	.031897	.032473	.033053
.11	.033638	.034228	.034822	.035421	.036025	.036633	.037246	.037864	.038486	.039113
.12	.039744	.040380	.041020	.041665	.042315	.042969	.043627	.044290	.044958	.045630
.13	.046306	.046987	.047672	.048362	.049056	.049754	.050457	.051164	.051876	.052592
.14	.053312	.054037	.054765	.055499	.056236	.056978	.057724	.058474	.059228	.059987
.15	.060750	.061517	.062288	.063064	.063843	.064627	.065415	.066207	.067003	.067804
.16	.068608	.069416	.070229	.071046	.071866	.072691	.073519	.074352	.075189	.076029
.17	.076874	.077723	.078575	.079432	.080292	.081156	.082024	.082897	.083772	.084652
.18	.085536	.086424	.087315	.088210	.089109	.090012	.090918	.091829	.092743	.093660
.19	.094582	.095507	.096436	.097369	.098305	.099245	.100189	.101136	.102087	.103042
.20	.104000	.104962	.105927	.106896	.107869	.108845	.109824	.110808	.111794	.112784
.21	.113778	.114775	.115776	.116780	.117787	.118798	.119813	.120830	.121852	.122876
.22	.123904	.124935	.125970	.127008	.128049	.129094	.130142	.131193	.132247	.133305
.23	.134366	.135430	.136498	.137568	.138642	.139719	.140799	.141883	.142969	.144059
.24	.145152	.146248	.147347	.148449	.149554	.150663	.151774	.152889	.154006	.155127
.25	.156250	.157376	.158506	.159638	.160774	.161912	.163054	.164198	.165345	.166495
.26	.167648	.168804	.169963	.171124	.172289	.173456	.174626	.175799	.176974	.178153
.27	.179334	.180518	.181705	.182894	.184086	.185281	.186479	.187679	.188882	.190088
.28	.191296	.192507	.193720	.194937	.196155	.197377	.198601	.199827	.201056	.202288
.29	.203522	.204759	.205998	.207239	.208484	.209730	.210979	.212231	.213485	.214741
.30	.216000	.217261	.218526	.219792	.221060	.222331	.223604	.224879	.226157	.227437
.31	.228718	.230003	.231289	.232578	.233870	.235163	.236459	.237757	.239057	.240359
.32	.241664	.242971	.244280	.245590	.246904	.248219	.249536	.250855	.252177	.253500
.33	.254826	.256154	.257483	.258815	.260149	.261484	.262822	.264161	.265503	.266847
.34	.268192	.269539	.270889	.272240	.273593	.274948	.276305	.277663	.279024	.280386
.35	.281750	.283116	.284484	.285853	.287224	.288597	.289972	.291348	.292727	.294106
.36	.295488	.296871	.298256	.299643	.301031	.302421	.303812	.305205	.306600	.307996
.37	.309394	.310793	.312194	.313597	.315001	.316406	.317813	.319222	.320632	.322043
.38	.323456	.324870	.326286	.327703	.329122	.330542	.331963	.333386	.334810	.336235
.39	.337662	.339090	.340519	.341950	.343382	.344815	.346250	.347685	.349122	.350561

Note: Coefficients apply for the volume of 2 ellipsoidal or hemispherical heads not the volume for 1 head.



**Annexe03**

**FIG. 6-23 (Cont'd)**

**Table of Coefficients and Formulas for**

**Determining Partial Volumes in Ellipsoids and Spheres**

Coefficients for Partial Volumes of Ellipsoids or Spheres, f( Ze)										
<b>Ze</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.40	.352000	.353441	.354882	.356325	.357769	.359215	.360661	.362109	.363557	.365007
.41	.366458	.367910	.369363	.370817	.372272	.373728	.375185	.376644	.378103	.379563
.42	.381024	.382486	.383949	.385413	.386878	.388344	.389810	.391278	.392746	.394216
.43	.395686	.397157	.398629	.400102	.401575	.403049	.404524	.406000	.407477	.408954
.44	.410432	.411911	.413390	.414870	.416351	.417833	.419315	.420798	.422281	.423765
.45	.425250	.426735	.428221	.429708	.431195	.432682	.434170	.435659	.437148	.438638
.46	.440128	.441619	.443110	.444601	.446093	.447586	.449079	.450572	.452066	.453560
.47	.455054	.456549	.458044	.459539	.461035	.462531	.464028	.465524	.467021	.468519
.48	.470016	.471514	.473012	.474510	.476008	.477507	.479005	.480504	.482003	.483593
.49	.485002	.486501	.488001	.489501	.491000	.492500	.494000	.495500	.497000	.498500
.50	.500000	.501500	.503000	.504500	.506000	.507500	.509000	.510499	.511999	.513499
.51	.514998	.516497	.517997	.519496	.520995	.522493	.523992	.525490	.526988	.528486
.52	.529984	.531481	.532979	.534476	.535972	.537469	.538965	.540461	.541956	.543451
.53	.544946	.546440	.547934	.549428	.550921	.552414	.553907	.555399	.556890	.558381
.54	.559872	.561362	.562852	.564341	.565830	.567318	.568805	.570292	.571779	.573265
.55	.574750	.576235	.577719	.579202	.580685	.582167	.583649	.585130	.586610	.588089
.56	.589568	.591046	.592523	.594000	.595476	.596951	.598425	.599898	.601371	.602843
.57	.604314	.605784	.607254	.608722	.610190	.611656	.613122	.614587	.616051	.617514
.58	.618976	.620437	.621897	.623356	.624815	.626272	.627728	.629183	.630637	.632090
.59	.633542	.634993	.636443	.637891	.639339	.640785	.642231	.643675	.645118	.646559
.60	.648000	.649439	.650878	.652315	.653750	.655185	.656618	.658050	.659481	.660910
.61	.662338	.663765	.665190	.666614	.668037	.669458	.670878	.672297	.673714	.675130
.62	.676544	.677957	.679368	.680778	.682187	.683594	.684999	.686403	.687806	.689207
.63	.690606	.692004	.693400	.694795	.696188	.697579	.698969	.700357	.701744	.703129
.64	.704512	.705894	.707273	.708652	.710028	.711403	.712776	.714147	.715516	.716884
.65	.718250	.719614	.720976	.722337	.723695	.725052	.726407	.727760	.729111	.730461
.66	.731808	.733153	.734497	.735839	.737178	.738516	.739851	.741185	.742517	.743846
.67	.745174	.746500	.747823	.749145	.750464	.751781	.753096	.754410	.755720	.757029
.68	.758336	.759641	.760943	.762243	.763541	.764837	.766130	.767422	.768711	.769997
.69	.771282	.772563	.773843	.775121	.776396	.777669	.778940	.780208	.781474	.782739
.70	.784000	.785259	.786515	.787769	.789021	.790270	.791516	.792761	.794002	.795241
.71	.796478	.797712	.798944	.800173	.801399	.802623	.803845	.805063	.806280	.807493
.72	.808704	.809912	.811118	.812321	.813521	.814719	.815914	.817106	.818295	.819482
.73	.820666	.821847	.823026	.824201	.825374	.826544	.827711	.828876	.830037	.831196
.74	.832352	.833505	.834655	.835802	.836946	.838088	.839226	.840362	.841494	.842624
.75	.843750	.844873	.845994	.847111	.848226	.849337	.850446	.851551	.852653	.853752
.76	.854848	.855941	.857031	.858117	.859201	.860281	.861358	.862432	.863502	.864570
.77	.865634	.866695	.867753	.868807	.869858	.870906	.871951	.872992	.874030	.875065
.78	.876096	.877124	.878148	.879170	.880187	.881202	.882213	.883220	.884224	.885225
.79	.886222	.887216	.888206	.889192	.890176	.891155	.892131	.893104	.894073	.895038
.80	.896000	.896958	.897913	.898864	.899811	.900755	.901695	.902631	.903564	.904493
.81	.905418	.906340	.907257	.908171	.909082	.909988	.910891	.911790	.912685	.913576
.82	.914464	.915348	.916228	.917103	.917976	.918844	.919708	.920568	.921425	.922277
.83	.923126	.923971	.924811	.925648	.926481	.927309	.928134	.928954	.929771	.930584
.84	.931392	.932196	.932997	.933793	.934585	.935373	.936157	.936936	.937712	.938483
.85	.939250	.940013	.940772	.941526	.942276	.943022	.943764	.944501	.945235	.945963
.86	.946688	.947408	.948124	.948836	.949543	.950246	.950944	.951638	.952328	.953013
.87	.953694	.954370	.955042	.955710	.956373	.957031	.957685	.958335	.958980	.959620
.88	.960256	.960887	.961514	.962136	.962754	.963367	.963975	.964579	.965178	.965772
.89	.966362	.966947	.967527	.968103	.968674	.969240	.969802	.970358	.970910	.971458
.90	.972000	.972538	.973070	.973598	.974121	.974640	.975153	.975662	.976165	.976664
.91	.977158	.977647	.978131	.978610	.979084	.979553	.980017	.980477	.980931	.981380
.92	.981824	.982263	.982697	.983126	.983550	.983969	.984382	.984791	.985194	.985593
.93	.985986	.986374	.986757	.987135	.987507	.987874	.988236	.988593	.988945	.989291
.94	.989632	.989968	.990298	.990623	.990943	.991258	.991567	.991871	.992169	.992462
.95	.992750	.993032	.993309	.993581	.993847	.994107	.994362	.994612	.994856	.995095
.96	.995328	.995556	.995778	.995994	.996205	.996411	.996611	.996805	.996994	.997177
.97	.997354	.997526	.997692	.997852	.998007	.998156	.998300	.998437	.998569	.998696
.98	.998816	.998931	.999040	.999143	.999240	.999332	.999417	.999497	.999571	.999640
.99	.999702	.999758	.999809	.999854	.999892	.999925	.999952	.999973	.999988	.999997
1.00	1.000000									

Note: Coefficients apply for the volume of 2 ellipsoidal or hemispherical heads not the volume for 1 head.

