



Département of Process Engineering

قسم هندسة الطرائق

Réf :...../U.M/F.S.T/2024

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : GÉNIE DES PROCÉDÉS

Option : GÉNIE CHIMIQUE

THÈME

**Estimation du volume de propane torché au niveau du GP1/Z
et procédés de sa récupération**

Présenté par

1-HAOUACH Sanaa

2-ZERIFI Ahlam

Soutenu le 06 /06 / 2024 devant le jury composé de :

Président : Dr MEKHATRIA Djillali MCB Université de Mostaganem

Examineur : Dr MOHAMED SEGHIR Zahira MCB Université de Mostaganem

Rapporteur : Dr KHELLADI Malika MCB Université de Mostaganem

Année Universitaire 2023/2024

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 mon très cher père

A mon très cher papa HAOUACH Mansour

Tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne
méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es.

Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier
pour ton amour, ta générosité, ta compréhension... Ton soutien fut une lumière dans tout mon
parcours. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai
toujours eu pour toi.

Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployé pour mon éducation et
ma formation. Je t'aime papa et j'implore le tout-puissant pour qu'il t'accorde une bonne
santé et une vie longue et heureuse

HAOUACH Sanaa

Dédicace

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

Avant tout je remercie Dieu pour le plaisir de l'accomplissement de ce modeste travail.

Je veux remercier moi même d'avoir vécu en moi et d'avoir fait tout ce travail.

À mon père qui a éclairé mon chemin, et s'est tenu avec moi dans toutes les difficultés
et m'a encouragé malgré tous les obstacles.

À ma très chère maman et mon ciel qui ne m'a jamais quitté.

aux meilleurs frères et sœurs qui se sont toujours tenus avec moi et m'ont soutenu
(Mohammed, Ayoub, Sawsen , Sarah et ma petite Farah).

À mes adorables amies (Houriya , Khawla, Halima et Hayet) qui ont toujours été à
mes côtés.

A tous nos moments de folies et d'émotions.

A mon cher futur mari. Je te dis merci et je te souhaite tout le bonheur. Aucun langage
ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien.

« Chanceuse de vous avoir dans ma vie »

ZERIFI Ahlam

Remerciements

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

Nous tenons à remercier notre encadreur Madame KHELLADI Malika pour son aide continuelle, ses conseils et ses critiques précieuses tout au long de ce travail.

Nos remerciements vont également à :

Tous les travailleurs du département technique du complexe GP1/L en particulier Mr KERMAOUI Faycel, à qui nous exprimons notre profonde gratitude.

Aux membres de jury qui nous ont fait l'honneur de présider et d'examiner notre travail.

Tous les enseignants qui ont contribué à notre formation du primaire jusqu'au cycle universitaire.

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

En fin, nous tenons à remercier vivement tous ceux qui par leur amitié, nous ont soutenues moralement durant ce travail.

يعتبر النفط والغاز الطبيعي من مصادر الطاقة الأحفورية الطبيعية. وتعتبر الجزائر إحدى الدول المنتجة والمصدرة لهذين المنتجين. غاز البترول المسال هو خليط من الهيدروكربونات الخفيفة البيوتان (80٪) والبروبان (20٪)، ويأتي من تكرير النفط. هناك طلب كبير جداً عليها لأنها أقل تلويثاً وأقل تكلفة

تتم معالجة غاز البترول المسال لإنتاج البيوتان والبروبان تجارياً من خلال عدة أقسام. عند بدء تشغيل GPI/ في مجمع . قسم التبريد، لوحظ احتراق كمية كبيرة من البروبان وإطلاقها بواسطة المشاعل. مكنت هذه الدراسة من حساب كمية الغاز المشتعل بشكل تقريبي وكذلك إمكانية استعادته لتجنب تلوث الغلاف الجوي ومشكلة التغير المناخي وبشكل أدق ارتفاع درجة حرارة الأرض. تتم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع تلك التي تم الحصول عليها عن طريق المحاكاة

الكلمات المفتاحية: غاز البترول المسال، التكرير، الغاز المشتعل، الاسترداد، المحاكاة

Résumé :

Le pétrole et le gaz naturel sont des produits naturels fossiles source d'énergie. L'Algérie est l'un des pays producteurs de ces deux produits et exportateurs. Le gaz de pétrole liquéfié GPL est un mélange d'hydrocarbures légers butane (80%) et propane (20%), provenant du raffinage du pétrole. Il est trop demandé car il est moins polluant et moins coûteux. Au niveau du complexe GPI/Z le GPL est traité pour produire le butane et le propane commerciaux en passant par plusieurs sections. Lors du démarrage de la section de réfrigération, il a été constaté qu'une quantité importante de propane est brûlée et dégagée par des torches. La présente étude a permis de calculer approximativement la quantité de gaz torché ainsi que la possibilité de le récupérer afin d'éviter la pollution atmosphérique et le problème du changement climatique et plus précisément le réchauffement du globe terrestre. Les résultats obtenus sont comparés à ceux obtenus par simulation.

Mots-clés : GPL, Raffinage, Gaz torché, Récupération, Simulation.

Abstract :

Oil and natural gas are natural fossil energy sources. Algeria is one of the producing and exporting countries of these two products. Liquefied petroleum gas LPG is a mixture of light hydrocarbons butane (80%) and propane (20%), coming from petroleum refining. It is in too much demand because it is less polluting and less expensive. At the GPI/Z complex, LPG is processed to produce commercial butane and propane through several sections. When starting the refrigeration

section, it was observed that a significant amount of propane is burned and released by flares. This study made it possible to approximately calculate the quantity of gas flared as well as the possibility of recovering it in order to avoid atmospheric pollution and the problem of climate change and more precisely the warming of the earth. The results obtained are compared to those obtained by simulation.

Key-words: LPG, Refining, Flared gas, Recovery, Simulation.

Sommaire

Listes des tableaux
Listes des figures
Liste des abréviations
Introduction générale

I. CHAPITRE I :	12
I.1 Introduction	13
I.2 Description du complexe	13
I.2.1 Présentation du complexe GP1/Z dit « JUMBO »	13
I.2.2 Principales installations du complexe GP1/Z	13
I.2.3 Organisation du complexe	14
I.3 Prétraitement de la charge	15
I.3.1 Section de stockage d'alimentation	15
I.3.2 Traitement du GPL brut	15
I.4 Description du procédé	17
A) Circuit de butane commercial	17
B) Circuit de propane commercial	18
I.5 Définition de GPL	18
I.5.1 Les caractéristiques des GPL	18
I.5.2 Utilisations du gaz de pétrole liquéfié	18
I.5.3 Procédé de production du GPL	19
I.5.4 Composition du GPL	19
I.6 Les installations de stockage des produits finis	19
I.6.1 Section de stockage des produits	19
I.6.2 Section de récupération des gaz évaporés (Boil of Gas)	20
I.7 Les installations de chargement	21
I.7.1 Section de chargement de bateaux à basses températures	21
I.7.2 Section de chargement de camions à température ambiante	21
I.8 Conclusion	21
II. Chapitre II	22
II.1 Introduction	23
II.2 Définition	23
II.3 Composition chimique de gaz torché	24
II.4 Les type de torchage	24
II.5 La réaction de combustion	24
II.6 Les sources et produits de torchage	26
II.7 Les causes de torchage dans le complexe GPI/Z	26
II.8 Les principaux sièges de torchage	27
II.9 Système de torche	27
II.10 Impacts des gaz torchés sur l'environnement	27
II.11 Conclusion	27

III. Chapitre III.....	28
III.1 Présentation du problème.....	29
III.2 Estimation du volume de propane torché :	29
III.2.1 Nombre d'arrêts de trains :.....	29
III.2.2 Méthode de calcul du niveau au V-1009 :	30
III.2.3 Volume du cylindre horizontal.....	31
III.2.4 La quantité annuelle de propane torché	38
III.3 Objectif de l'étude de dimensionnement de la ligne de récupération de propane	38
III.4 Dimensionnement de la ligne de récupération de propane	38
III.4.1 Equipements :.....	39
III.4.2 Théories de calcul.....	39
III.4.3 Longueur de ligne :	42
III.4.4 Calculs durant l'année 2022 :	44
III.4.5 calculs durant l'année 2023 :	47
III.5 Simulation :	50
III.5.1 Description du Simulateur HYSYS 8.8 :	50
III.5.2 Interprétations des résultats :	52

Conclusion
Référence
Annexes

Liste des tableaux

Tableau I -1: Symboles des départements	15
Tableau II -2: Nombre d'arrêt par train durant l'année 2022 et durant l'année 2023	30
Tableau III -3: Les différentes opérations effectuées au niveau des train en 2022.....	31
Tableau III -4 : Les différentes opération effectuées au niveau des train en 2023	33
Tableau III -5 : Composition du réfrigérant.....	44
Tableau III-6 : Comparaison entre les résultats calculée et résultats obtenus par HYSYS	52

Liste des figures

Figure I -1: complexe GP1/Z	14
Figure I -2: Organigramme du complexe [1].....	14
Figure I -3: Section de réfrigération.....	17
Figure I -4: Bacs de stockages	20
Figure I -5: Sphères de stockage	20
Figure II-6: Torchage du gaz	24
Figure II -7: Combustion complète.....	25
Figure II -8 : Combustion incomplète.....	26
Figure III -9: Dimensions du ballon V-1006	30
Figure III -10 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt et au démarrage du TR 500 en 2022.....	32
Figure III -11: Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt et au démarrage du TR 600 en 2022.....	33
Figure III -12 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseurs avant l'arrêt et au démarrage du TR 500 en 2023.....	35
Figure III -13: Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt et au démarrage du TR 600 en 2023.....	36
Figure III -14 : Localisation de la ligne et collecteur de récupération.....	39
Figure III -15: Longueur de la ligne train	42
Figure III -16 : Tracé de collecteur	43
Figure III -17 : Coude 90°.....	43
Figure III -18 : Vanne de garde.....	43
Figure III -19 : Coupe transversale de la pipe.....	44
Figure III -20 : La ligne train du propane récupéré simulée par HYSYS.....	51
Figure III-21 : Collecteur de récupération injecté à la section BOG simulée par HYSYS	51

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

Introduction générale

Notre pays est riche en ressources pétrolières et en ressources en gaz naturel (première source d'énergie naturelle). 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. L'Algérie est l'un des principaux producteurs mondiaux en exportation du gaz de pétrole liquéfié appelé GPL. 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 car le gaz de pétrole liquéfié qui est une sorte d'énergie non renouvelable est un produit à moindre coût, et réduit également la pollution. 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. Lors du redémarrage de la partie réfrigération, la procédure nécessite que la pression dans la bouteille d'aspiration soit inférieure à 3kg/cm². 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.

Le manuscrit est divisé en quatre chapitres :

- Chapitre I : présentation du complexe GP1/Z,
- Chapitre II : généralités 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.

I. CHAPITRE I :

Présentation du complexe GP1/Z

I.1 Introduction

Le sud Algérien possède des richesses naturelles, parmi lesquelles on retrouve les réserves en hydrocarbures d'où la présence d'une large gamme de produits relatifs aux gisements de pétrole et de gaz. Pour la séparation de ces produits et de leurs dérivés, l'Algérie a investi des sommes colossales dont la nécessité est d'acquérir et d'installer ces grands complexes de traitement qui sont répartis en plusieurs unités parmi lesquelles le complexe GP1/Z.

Vu 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.

I.2 Description du complexe

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

L'objectif principal du complexe GP1/Z appelé JUMBO est de traiter le 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. [2-3].

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 m3 chacune.
- 09 Trains de traitement du GPL.
- 04 Unités de reliquéfaction du gaz évaporé BOG.
- 04 Bacs de stockage de propane basse température de 70000 m3 chacun.
- 04 Bacs de stockage de butane basse température de 70000 m3 chacun.
- 04 Sphères de stockage de produits à température ambiante (propane et butane) de 500 m3 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 [1].



Figure I -1: complexe GP1/Z

I.2.3 Organisation du complexe

Le complexe GP1/Z est géré suivant un organigramme bien déterminé de façon à bien maîtriser les tâches. Il est composé d'une direction générale, deux sous-directions, des départements de contrôle, selon la figure suivante :

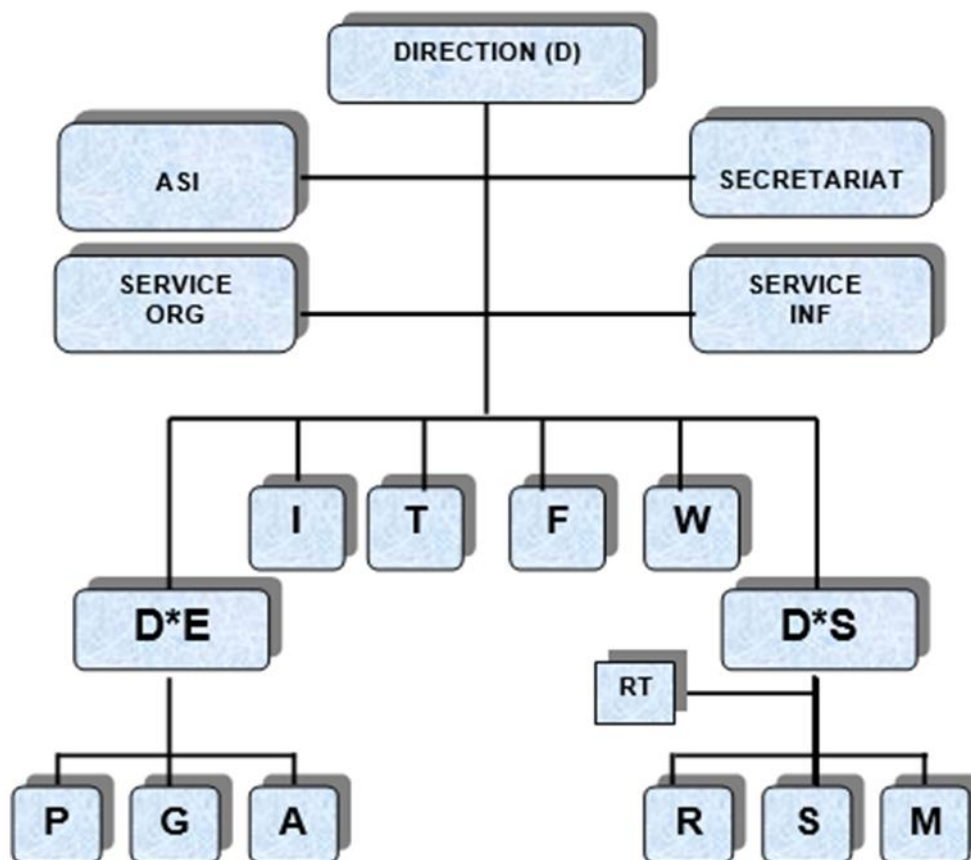


Figure I -2: Organigramme du complexe [1].

Tableau I -1: Symboles des départements

SYMBOLES	DEPARTEMENT	SYMBOLES	DEPARTEMENT
D	La Direction	ORG	Organisation
I	Département Sécurité	T	Département Technique
F	Département Finance	W	Département Travaux neufs
D*E	Sous Direction exploitation	D*S	Sous département du personnel
P	Département Production	RT	Relation du travail
G	Département Maintenance	R	Dpt ressources humaines
A	Département Approvisionnement	S	Administration et social
M	Dpt moyens généraux	ASI	Assistance sureté interne

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 diffusions 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 m³. Ensuite, le GPL est transporté vers la zone de traitement par neuf (09) pompes centrifuges à une pression de refoulement de 30 Kg/cm² [4].

I.3.2 Traitement du GPL brut

A) Section Déshydratation

Cette section 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, une autre colonne chromatographique se régénère et la troisième colonne chromatographique est en veille.

Le temps d'adsorption est de 36 heures. 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 qui est de 20 kg/cm², et le propane restant est envoyé à la boule de charge.

- Décompression/décompression (30 minutes) : Cette section permet de réduire la pression du séchoir de 20 kg/cm² à 3 kg/cm², ce qui est obtenu en évacuant le GN contenu dans le séchoir vers la partie gaz.

- Réchauffage (11 heures) : Il 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/cm².

- Pressurisation (30 minutes) : Avant le remplissage de la tour propane, sa pression de fonctionnement doit être de 20 kg/cm². Cette opération est réalisée par introduction de GN à haute pression.

- Remplissage au GPL (1 heures) : Cette opération consiste à mettre le sécheur en attente d'où l'adsorbent 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

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 l'ébullition isotherme du réfrigérant dans la coque de l'échangeur de chaleur approprié, la chaleur est transférée au réfrigérant propane qui va absorber la chaleur pendant le processus d'ébullition [6].

Le rôle de la section de réfrigération est conçu dans le but de refroidir les produits finis à leurs températures de stockage :

- Le C3 à -42 °C
- Le C4 à -9 °C

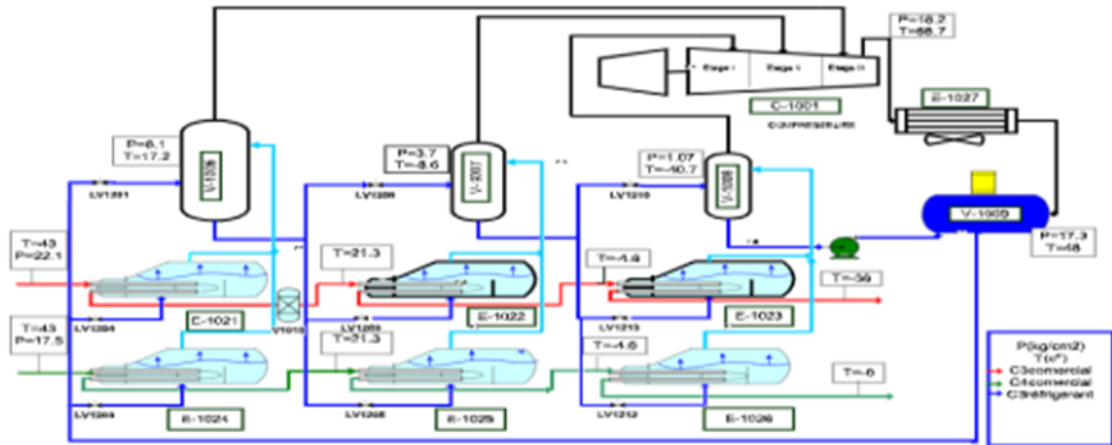


Figure I -3:Section de réfrigération

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 température ambiante et celui à basse température (internationale)

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°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°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.
- A 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 déthaniseur, 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°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°C).

1.5 Définition de GPL

Le terme GPL ou gaz de pétrole liquéfié est un mélange d'hydrocarbures. Il est gazeux dans des conditions normales de température et de pression. Il a la capacité de se transformer 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 m³ de GPL liquide occupe 225 m³ de volume gazeux) [5].

1.5.1 Les caractéristiques des GPL

Dans les 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

Le gaz de pétrole liquéfié n'est généralement pas corrosif pour l'acier, 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].

1.5.2 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'adaptent 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 utilisés pour le chargement, le stockage, le chargement et la re-liquéfaction de vapeur hors ligne. 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) sont produits [2]

I.5.4 Composition du GPL

Le GPL est composé d'environ 80 % de butane (C₄H₁₀) et 20 % de propane (C₃H₈).

C'est un carburant dit propre, issu du raffinage du pétrole brut. Son utilisation présente des avantages par rapport à d'autres combustibles 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 °C.
- Quatre pour le butane à T = - 7 °C. La capacité de chaque bac est de 70000 m³ [7].



Figure I -4: Bacs de stockages

Cinq sphères de stockage à température ambiante dont :

- Une pour le propane à $P = 3.8-18 \text{ Kg} // \text{ cm}^2$.
 - Trois pour le butane à $P = 0.5 - 6.5 \text{ Kg} / \text{ cm}^2$.
 - Une pour le pentane à $P = 0.1 - 1.3 \text{ Kg} // \text{ cm}^2$
- La capacité de chaque sphère est de 500 m^3 [7].



Figure I -5:Sphères de stockage

1.6.2 Section de récupération des gaz évaporés (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 comprend

- Un ballon d'aspiration (V-1006),
- Une batterie de 05 compresseurs (04 compresseurs à 3 étages peuvent travailler en parallèle et le 5ème en garde),
- 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 chargement

I.7.1 Section de chargement de bateaux à basses températures

C'est une section d'expédition de C3 et C4 pour le marché international. Elle contient deux quais de chargement navires D1 et M6.

Propane.....	max. 10.000 m3/h.
Poste D1	3.300 m3/h.
Poste M6	6.500 m3/h.
Butane.....	max.10 000 m3 [10].

I.7.2 Section de chargement de camions à température ambiante

C'est une section d'expédition de C3 et C4 pour le marché national. Elle contient une salle de contrôle, deux balances électroniques et 06 rampes de chargement de camions dont 02 pour C3 à température ambiante et une pression de 7 bars. 03 rampes pour C4 à température ambiante et 01 rampe pour C5 elle est isolée pour le moment [10].

I.8 Conclusion

Ce chapitre entame en détail le fonctionnement du complexe GP1Z. Il est basé principalement sur les processus de fabrication de la section de réfrigération.

L'objectif de notre travail est de comprendre le fonctionnement de cette section et d'identifier notre problématique, étant donné que les gaz de torches sont envoyés à partir de cette zone et de trouver une solution pour récupérer les gaz sans les envoyer à la torche.

II. Chapitre II

les équipements du torchage

II.1 Introduction

Le torchage et le rejet des gaz associés à la production de pétrole brut, dont le volume mondial est estimé à plus de 100 milliards de mètres cubes par an, font l'objet d'une attention grandissante compte tenu de l'intérêt porté par la communauté internationale à la conservation de l'énergie et à la modification du climat à l'échelle mondiale. L'objectif initial s'appuie autour de la réduction significative à court terme des quantités de gaz brûlé à la torche ou rejeté à l'air libre, et d'un objectif ultime, qui est de promouvoir des efforts d'amélioration sur une plus longue période. Des conseils proposaient également pour assurer la surveillance et la transparence, et recommande un calendrier pour l'adoption et la réalisation de ses objectifs clés [11].

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 ni 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 à assurer la sécurité en cas d'urgence ou lorsque l'appareil est arrêté [12].



Figure II-6: 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, 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 (H₂S), du dioxyde de carbone (CO₂), de l'azote (N₂) 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

- 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 :

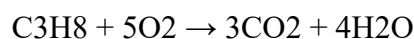
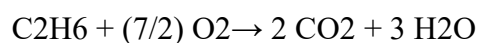
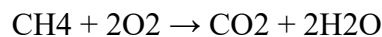
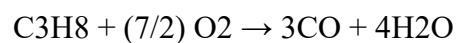
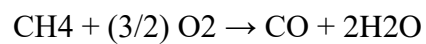




Figure II -7: Combustion complète

b) Combustion incomplète : Elle se produit lors des arrêts et des démarrages des unités ou pendant les déclenchements quand la charge du gaz sera importante. Les réactions de combustion sont comme représentées ci-dessous [14] :

▪ Pour les hydrocarbures :



▪ Pour azote:

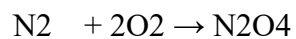




Figure II -8 : Combustion incomplète

II.6 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) ;
- Des composés soufrés tels que le sulfure de carbone (CS₂) et le sulfure de carbone (COS) [11].

II.7 Les causes de torchage dans le complexe GPI/Z

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 ;

- Paramètres de boucle de contrôle ;
- Vider la boucle de charge ou le produit fini [12].

II.8 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.9 Système de torche

Description de la torche :

- Colonne montante conduite des gaz à brûler.
- Bec de torche.....provenance du ballon torchère.
- Trois pilotes brûleurs..... 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.10 Impacts des gaz torchés sur 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].

II.11 Conclusion

Le torchage est généralement considéré comme une méthode sûre et efficace pour éliminer les gaz inutilisables, ainsi que pour dépressuriser des équipements ou des sections de traitement des gaz lors des activités de maintenance normale, d'arrêts d'urgence ou de démarrage. Cependant, afin de réduire le torchage et de préserver l'environnement tout en optimisant la consommation énergétique du complexe GP1/Z, une option de récupération des gaz a été envisagée.

III. Chapitre III

Calculs et résultats

III.1 Présentation du problème

Au cours d'un arrêt d'urgence de la section de réfrigération (déclenchement) dû à une anomalie citée dans le chapitre II, la boucle de propane est brusquement interrompue étant donné que les trois ballons d'aspirations sont interconnectés entre eux. Leurs pressions respectives s'égalisent à une pression moyenne d'équilibre, le tout soumis à une température ambiante.

Lors du redémarrage de la section de réfrigération, la procédure exige une pression inférieure à 3kg/cm² dans les ballons d'aspiration, vu la différence des pressions à l'intérieur des ballons au moment du déclenchement d'où la nécessité de torcher un volume de vapeur des ballons afin de les dépressuriser, et lancer la démarche du redémarrage.

Notre préoccupation est de récupérer cette quantité torchée. Pour cela nous avons pris les données de l'année 2022 et ceux de l'année 2023.

III.2 Estimation du volume de propane torché :

Le service planning nous a fourni le nombre et les dates des arrêts dus aux déclenchements. L'analyse nous a permis après avoir sélectionné quelques cas réels, de calculer le volume du propane torché en faisant la différence du niveau du réfrigérant dans le ballon V-1006 avant et après l'arrêt. Les informations sur le niveau de réfrigérant dans le ballon V-1006 ont été tirées du PHD (process History Database).

Le PHD :

Actuellement GP1/Z gère l'usine de GPL à partir de plusieurs salles de contrôle. Grâce à ces dernières stations on peut accéder en temps réel aux données DCS. Le PHD gère l'historisation et archivage des données du procès dont il fournit un ensemble d'application desktop : rapports Excel, courbes, Schématiques adapter aux besoins du client (display) et des vue de tendances « process trend».

III.2.1 Nombre d'arrêts de trains :

Les arrêts les plus fréquent qui sont la source de notre problème sont souvent issue de :

- Arrêt pompage RTO.
- Coupure électrique.
- Manque de charge.
- Arrêt pour travaux.
- Stock haut en C3 ou en C4.
- Déclenchement par une fluctuation électrique.
- Problèmes ou défaillances technique : transformateur, pompe...etc.

Tableau II -2: Nombre d'arrêt par train durant l'année 2022 et durant l'année 2023

	Nombre d'arrêt en 2022	Nombre d'arrêt en 2023
Train 500	9	11
Train 600	12	12

III.2.2 Méthode de calcul du niveau au V-1009 :

Le ballon horizontal : V1006, comme il est sur l'annexe n°02 le volume est 130,2m³ avec :

- ✓ D=4m
- ✓ L=9m

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

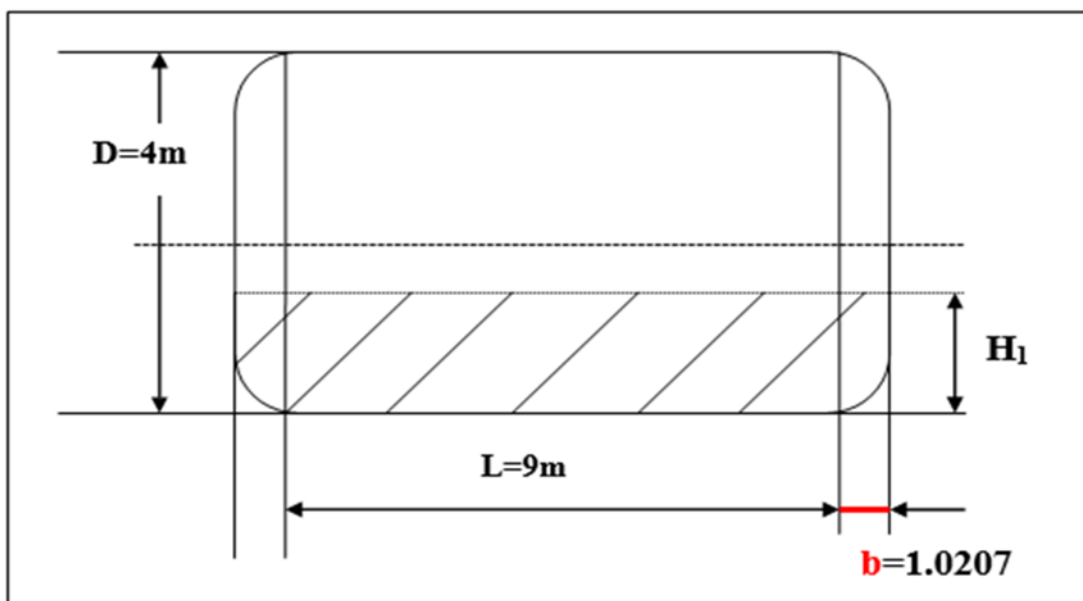


Figure III -9: Dimensions du ballon V-1006

- Calcul de b :

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

$$D'où : V_t = 1/6\pi K_1 D^3 + 1/4\pi D^2 L, \quad (III.1)$$

avec : $K_1 = 2b/D$

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

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

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

avec b : dimension de la partie courbée du cylindre

- Calcul de H

Pour chaque cas, on obtient H via diagramme de dépressurisation et l'annexe 02.

III.2.3 Volume du cylindre horizontal

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

$$V_t = (1/6) \times (\pi \cdot K1 \cdot D^3) + (1/4) \times (\pi \cdot D^2 \cdot L) \quad (\text{m}^3) \quad (\text{III.1})$$

Avec : • $K1 = 2b/D$.

• $Z_e = H1/D$.

• $Z_c = H1/D$.

$$\text{Volume partiel} = (1/6) \times (\pi \cdot K1 \cdot D^3) \times [f(Z_e)] + (1/4) \times (\pi \cdot D^2 \cdot L) \times (f(Z_c)) \quad (\text{m}^3) \quad (\text{III.2})$$

• $f(Z_e)$: 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

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

-La masse correspondante = Volume moyen * La masse volumique

-La quantité annuelle moyenne de propane torché = la masse correspondante * nombre d'arrêt

Tableau III -3: Les différentes opérations effectuées au niveau des train en 2022

Cas réel	Date et temps	Niveaux du ballon	Problème
Cas1 (Train 500)	Arrêt le : 05/06/ 2022 à 21 : 06 : 34	37,11	Déclenchement par vibration haute
	Démarrage le : 06 /06/2022 à 02 : 21 : 23	25,46	
Cas 2 (Train 600)	Arrêt le :25/05/2022 à 04 :23 :59	50,06	Manque de charge
	Démarrage le : 25/05/2022 à 10 :42 :25	34,26	

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

Dépressurisation TR500 démarrage du 05/06/2022 :

Déclenchement TR500 le 05/06/2022 par vibration haute :

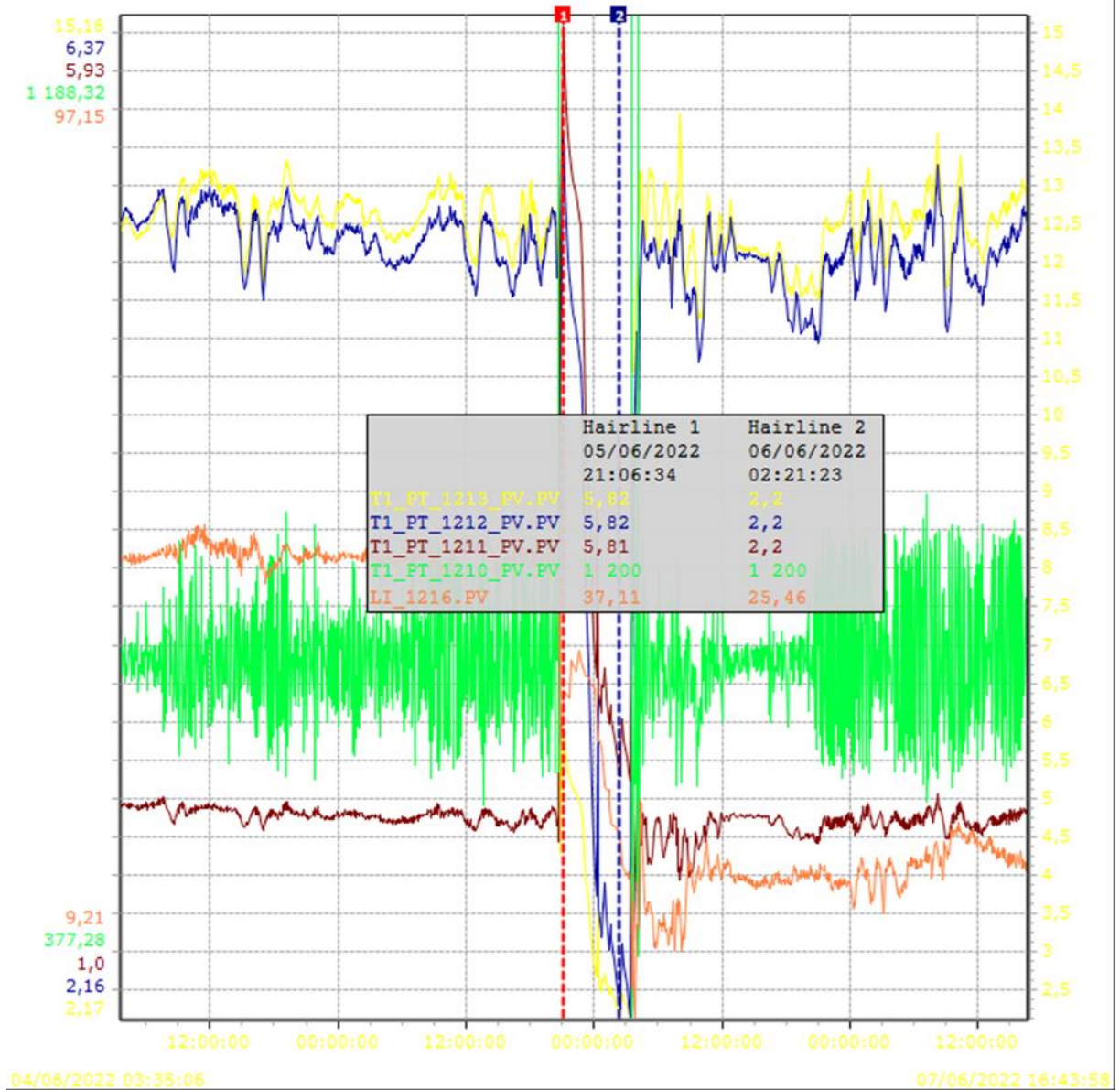


Figure III -10 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt et au démarrage du TR 500 en 2022

Le niveau du ballon se diminue de **37,11 %** à **25,46 %** après le démarrage de la section réfrigération.

Dépressurisation TR600 Démarrage du 25/05/2022 :

Arrêt TR600 le 25/05/2022 à cause manque de charge

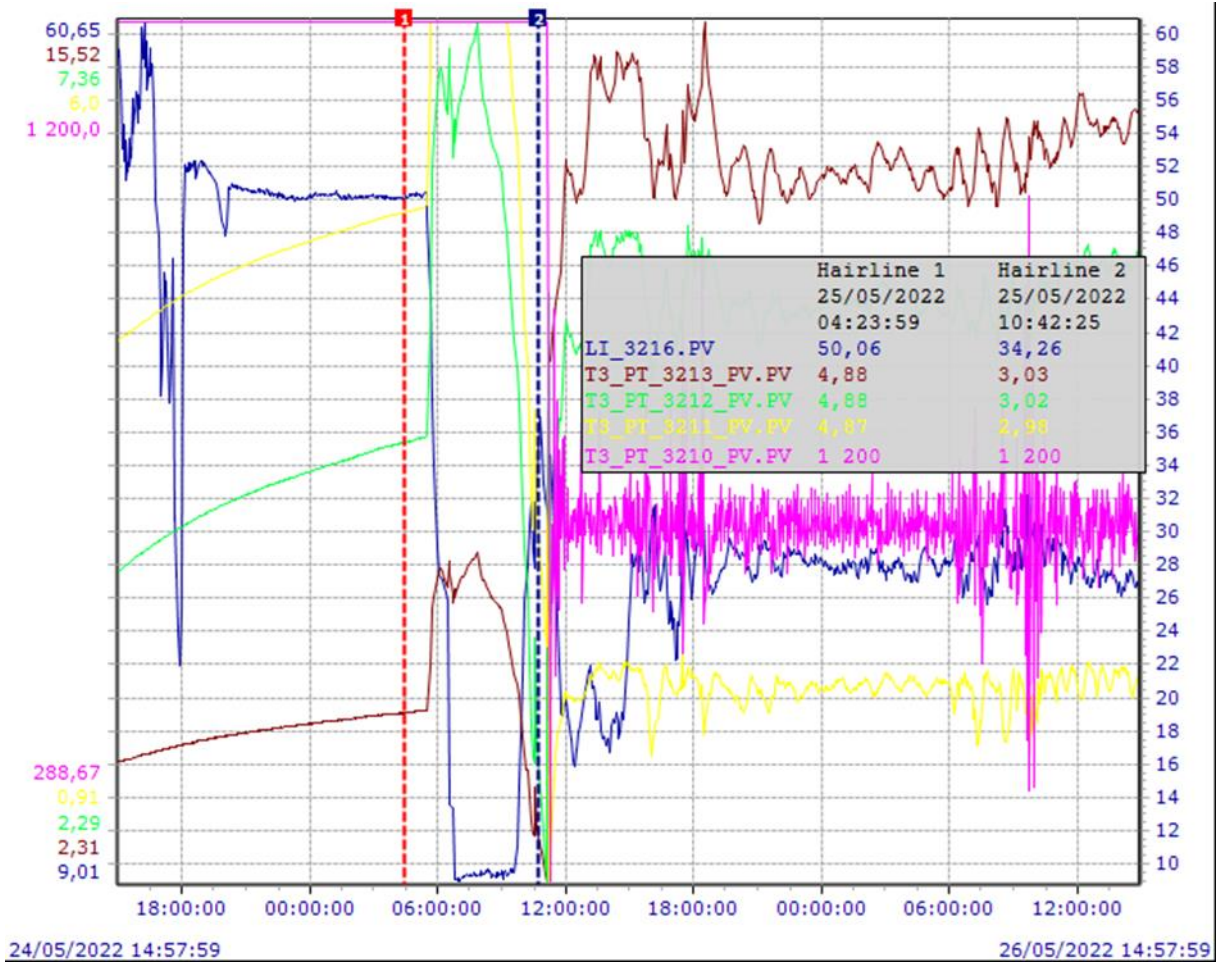


Figure III -11: Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt et au démarrage du TR 600 en 2022

L'allure du niveau se diminue de **50,06 %** à **34,26 %** au démarrage.

Tableau III -4 : Les différentes opération effectuées au niveau des train en 2023

Cas réel	Date et temps	Niveau du ballon	Problème
Cas 1 (Train 500)	Arrêt le : 05/01/2023 à 07 : 32 : 21	48	Déclanchement Du moto-compresseur
	Démarrage le : 05/01/2023 à 10 : 19 : 40	9,38	
Cas 2 (Train 600)	Arrêt le : 08/05/2023 à 16 : 41 : 20	28, 94	Manque de charge
	Démarrage le : 08/05/2023 à 20 : 28 : 23	4,59	

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

Dépressurisation TR500 démarrage du 05/01/2023 :

Déclenchement du moto-compresseur TR500 par niveau très haut LSHH-5202 sur le ballon HP (V-5006).

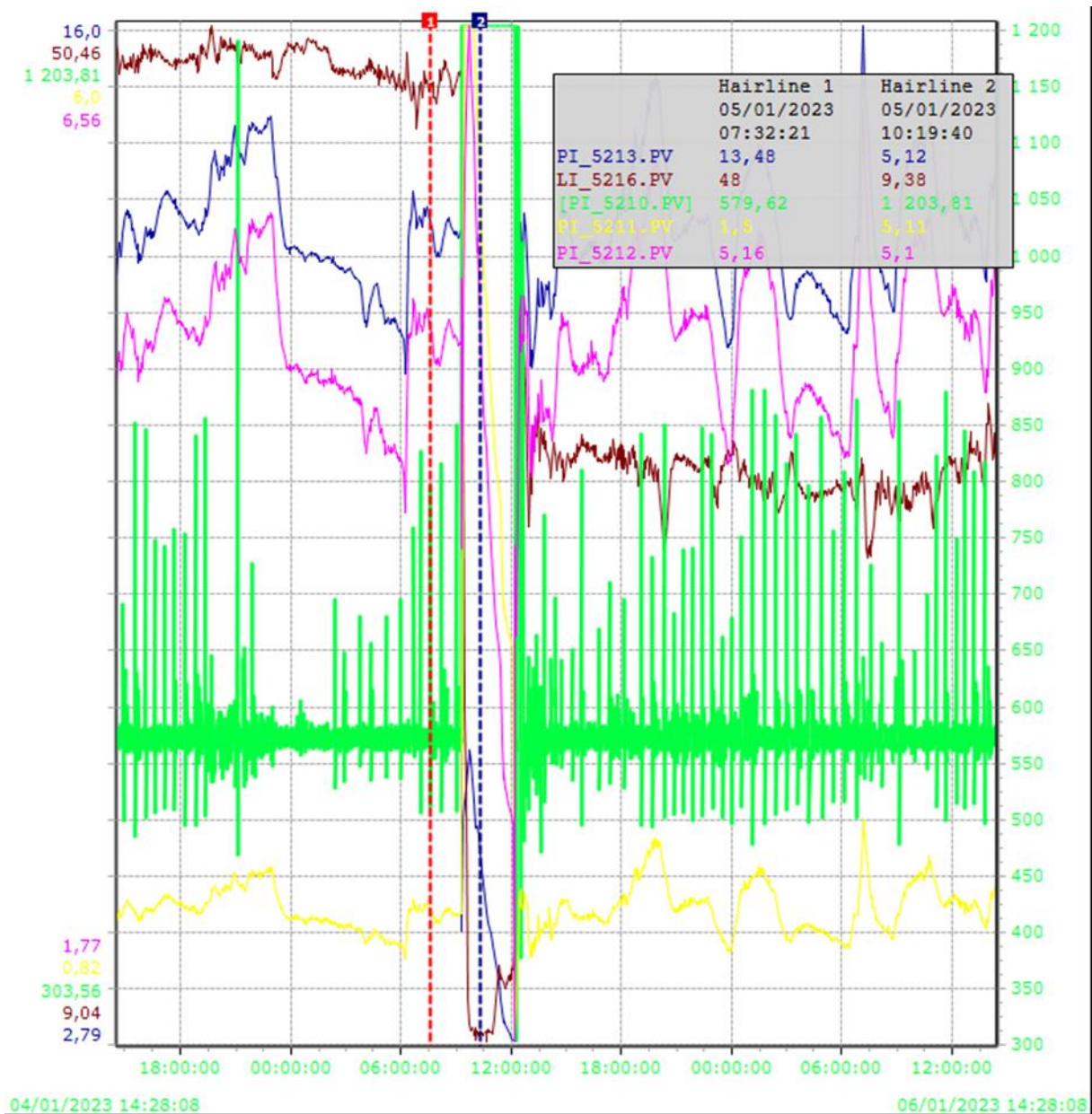


Figure III -12 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseurs avant l'arrêt et au démarrage du TR 500 en 2023

Le niveau du ballon se diminue de 48 % à 9,38 % après le démarrage de la section réfrigération.

Dépressurisation TR600 Démarrage du 08/05/2023 :

Arrêt TR600 le 08/05/2023 à cause manque de charge



Figure III -13: Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt et au démarrage du TR 600 en 2023

L'allure du niveau se diminue de 28,94 % à 4,59% au démarrage.

PI_1210.PV : indicateur de la pression à l'aspiration du ballon basse pression (kg/cm2G).

PI_1211.PV : indicateur de la pression à l'aspiration du ballon moyenne pression (kg/cm2G).

PI_1212.PV : indicateur de la pression à l'aspiration du ballon haute pression (kg/cm2G).

PI_1213.PV : indicateur de la pression au refoulement du compresseur (kg/cm2G).

✓ **Calcul de b :**

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

$$b = 1,02074$$

1. Premier cas

$$100 \% D = 4\text{m}$$

a. Calcul de la hauteur H1

$$H1 = (37,11 * 4) / 100$$

$$H1 = 1,4844 \text{ m}$$

$$37,11 \% H = 1,4844 \text{ m}$$

$$25,46 \% H = 1,0184 \text{ m}$$

b. Calcul du volume partiel correspondant à 37,11%

$$37,11 \% H = 1,4844 \text{ m.}$$

$$K1 = 2b/D = b/2 = 0,51037$$

$$Z_e = Z_c = H1/D = 1,4844 / 4 = 0,3711$$

$$f(Z_e) : 0,310793 \text{ (voir annexe 03)}$$

$$f(Z_c) : 0,337593 \text{ (voir annexe 02)}$$

$$V_p = (1/6) \times [\pi \cdot 0,51037 \cdot 64] \times (0,310793) + (1/4) \times (\pi \cdot 9 \cdot 16) \times (0,337593)$$

$$\mathbf{V_p = 43,5 \text{ m}^3}$$

c. Calcul du volume partiel correspondant à 25,46%

$$25,46 \% H = 1,0184$$

$$K1 = 2b/D = b/2 = 0,51037$$

$$Z_e = Z_c = H1/D = 1,0184 / 4 = 0,2546$$

$$f(Z_e) : 0,160774 \text{ (voir annexe 03).}$$

$$f(Z_c) : 0,199922 \text{ (voir annexe 02).}$$

$$V_p = (1/6) \times (\pi \cdot 0,51037 \cdot 64) \times (0,160774) + (1/4) \times (\pi \cdot 9 \cdot 16) \times (0,199922)$$

$$\mathbf{V_p = 25,4 \text{ m}^3}$$

d. Volume torché/arrêt 1

$$V_{t.a.1} = 43,5 - 25,4 = 18,1 \text{ m}^3$$

2. Deuxième cas

a. Calcul de la hauteur H1

$$100\% D = 4\text{m}$$

$$50,06 \% H = 2,0024 \text{ m}$$

$$34,26 \% H = 1,3704 \text{ m}$$

b- Calcul du volume partiel correspondant à 50,06 %

$$50,06 \% H = 2,0024\text{m}$$

$$K1 = 2b/D = b/2 = 0,51037$$

$$Z_e = Z_c = H1/D = 2,0024/4 = 0,5006$$

f (Ze): 0,5 (voir annexe 03)

f (Zc):0,5 (voir annexe 02)

Volume partiel = 65,1 m³

c- Calcul du volume partiel correspondant à 34,26%

$$34,25 \% H = 1,3704 \text{ m}$$

$$K1 = 2b/D = b/2 = 0,51037$$

$$Z_e = Z_c = H1/D = 1,3704 /4 = 0,3426$$

f (Ze) : 0,270889 (voir annexe 03)

f (Zc) : 0,302228(voir annexe 02)

Volume partiel =38,8m³

d- Volume torché/arrêt 2

$$V_{t.a.2} = 65,1 - 38,8 = 26,3 \text{ m}^3$$

Volume moyen :

$$V_m = (V_{t.a.1} + V_{t.a.2}) /2 = (18,1 + 26,3)/2 = 22,2 \text{ m}^3$$

III.2.4 La quantité annuelle de propane torché

Nous obtenons après calcul un volume moyen à torcher de 22,2 m³ ce qui correspond à une masse de 10567,2 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 21 arrêts. La quantité annuelle moyenne de propane torché l'année 2022 sera :

221,91 tonne/an.

III.3 Objectif de l'étude de dimensionnement de la ligne de récupération de propane

Pour récupérer le gaz brûlé, il faut rétablir 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/cm² (recherche des conditions de démarrage). Entre 5 et 7 kg/cm², la température est proche de la température de fonctionnement, mais si l'arrêt dure longtemps, elle tend vers la température ambiante.

III.4 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)

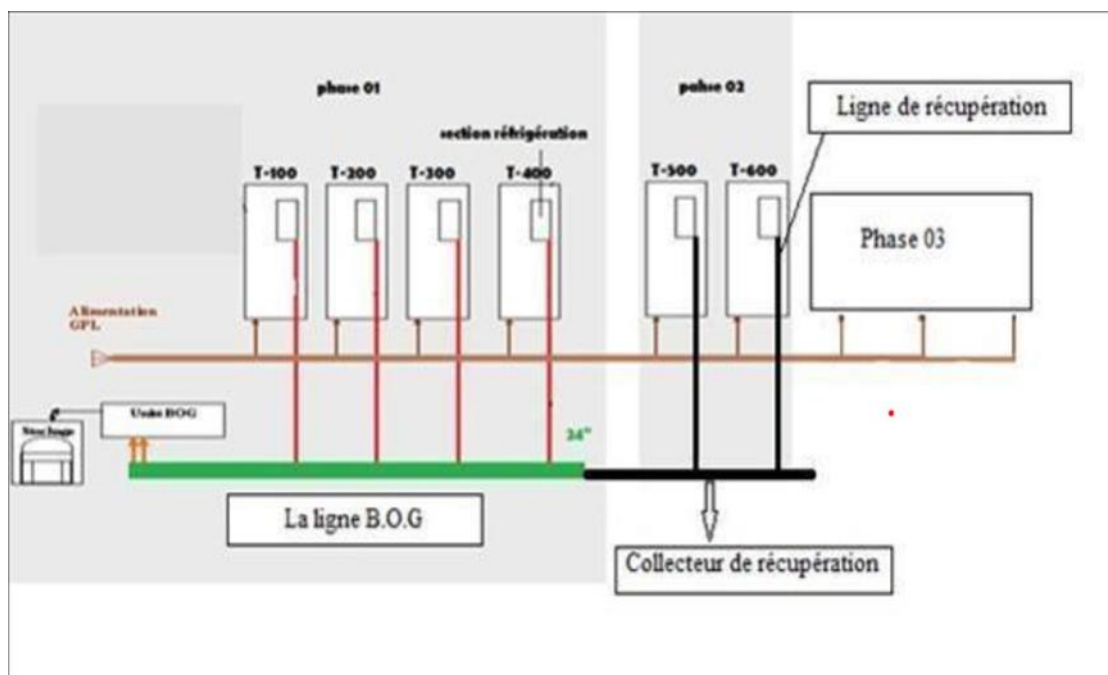


Figure III -14 : Localisation de la ligne et collecteur de récupération

III.4.1 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 H₂O effective (1,1bar) 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.4.2 Théories de calcul

a. Vitesse d'écoulement du gaz

Selon la loi de la continuité nous avons :

$$Q_m = \rho \times V \times S \text{ (Kg/h)} \quad \text{(III.4)}$$

Avec:

- Q_m : Débit massique en (Kg/h)
- V : Vitesse d'écoulement du gaz en (m/s)
- ρ : Masse volumique en (Kg/ m³)
- S : Surface d'écoulement en (m²)

Avec

$$S = \pi \times D^2 / 4 \text{ (m}^2\text{)} \quad \text{(III.5)}$$

b. Diamètre

Selon la relation suivante :

$$D_{int} = D_{ext} - 2e \text{ (m)} \quad \text{(III.6)}$$

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 :

$$\rho = (P \times M_{moy}) / (Z \times R \times T) \text{ (Kg/m}^3\text{)} \quad \text{(III.7)}$$

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).

$$M_{moy} = \sum M_i \cdot X_i \quad \text{(III.8)}$$

Tels que :

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

$$\text{Donc } V = Q_m / (S \times \rho) \implies V = 4 \times Q_m / (\rho \times \pi \times D^2) \text{ (m}^3\text{)} \quad \text{(III.9)}$$

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.

$$Re = \rho \times V \times D / \mu \quad \text{(III.10)}$$

Avec :

- Re : Nombre de Reynolds.
- ρ : Masse volumique en (Kg/m³), $\rho = m / V$ (Kg/m³)

L'expression montre que :

Si $Re < 2000$: le régime est laminaire donc l'écoulement est calme et régulier.

Si $2000 < Re < 3000$: le régime est intermédiaire donc 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 font progressivement [6].

e. Pertes de charges

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

$$\Delta P_T = \Delta P_l + \Delta P_s \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (\text{III.12})$$

Avec :

- ΔP_T : Pertes de charge totale en (Kg/cm²)
- ΔP_s : Chute de pression singulière en (Kg/cm²)
- ΔP_l : Chute de pression linéaire en (Kg/ cm²)

1. Pertes de charges systématiques (Linéaire)

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

$$\Delta P_L = \lambda \times \rho \times (L / D) \times [V^2 / (2 \times g)] \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (\text{III.13})$$

Avec :

- ΔP_L : Pertes de charge linéaire en (Kg/cm²)
- ρ : Masse volumique en (Kg/m³)
- λ : Coefficient de perte de charge qui est déterminé en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité relative (ε/D).

Avec :

$\varepsilon = 0.0006$ 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/s²), ($g=9,81\text{m/s}^2$)
- L : Longueur du collecteur en(m).

2. Pertes de charges locale (Singulière)

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

$$\Delta P_s = \rho \times K \times [V^2 / (2 \times g)] \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (\text{III.14})$$

Avec :

- ΔP_s : Chute de pression singulière en (Kg/cm²)
- ρ : Masse volumique en (Kg/m³).
- K : Coefficient de perte de charge locale [Coude 90°, $K = (0,50 \div 0,75)$], (Voir Annexe 04).

- V : Vitesse d'écoulement en (m/s)
- g : Accélération de la pesanteur en (m/s²).

f. Données

Pour notre cas durant la période de stage du 24/03/2024 au 22/04/2024, 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 d'assurer la sécurité des personnes, une vanne d'isolement manuelle a été installée sur le collecteur.

Elle 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 : 22,2 m³ équivalent à 10567,2 kg.
- Le temps moyen de torchage pour dépressurisation (P < 3 Kg/ cm²) est de : 01 heure.

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

$$Q \text{ torché} = 10567,2 \text{ Kg/h}$$

III.4.3 Longueur de ligne :

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

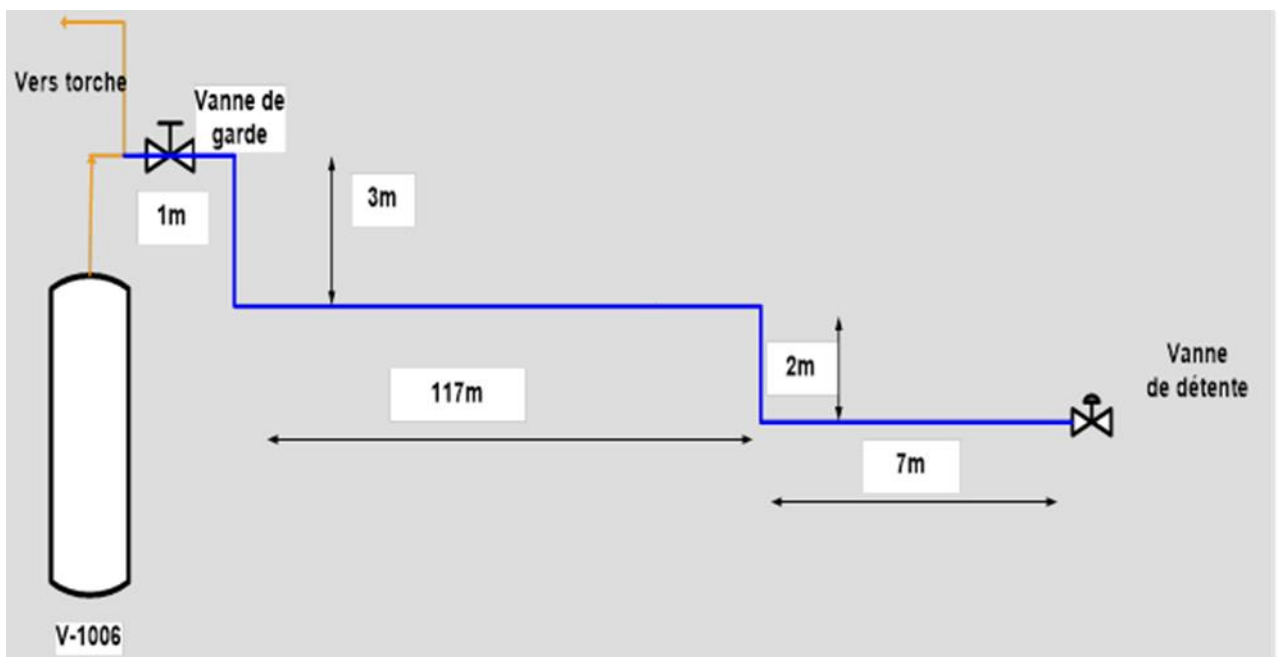


Figure III -15: Longueur de la ligne train

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

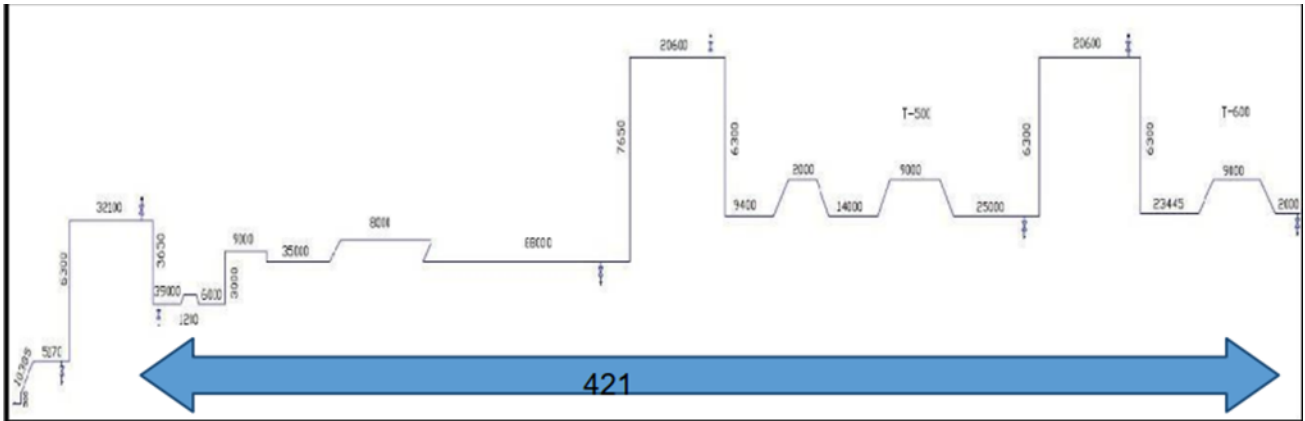


Figure III -16 : Tracé de collecteur

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].

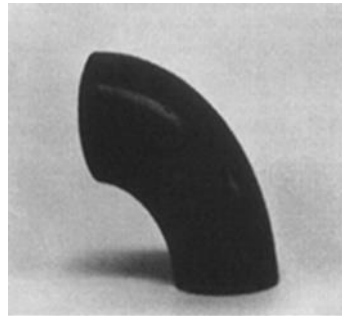


Figure III -17 : Coude 90°

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).

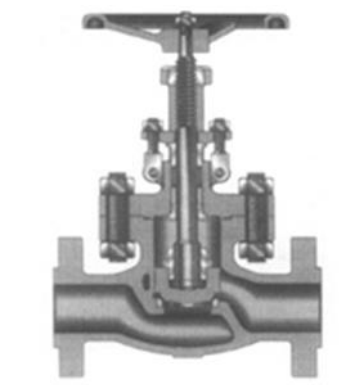


Figure III -18 : Vanne de garde

c. Composition des vapeurs récupérées :

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

Tableau III -5 : Composition du réfrigérant

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

III.4.4 Calculs durant l'année 2022 :

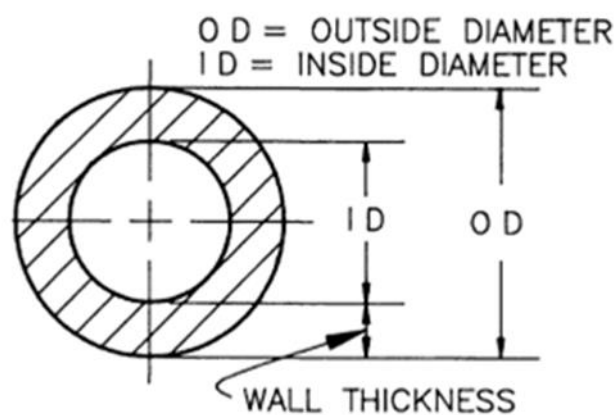


Figure III -19 : Coupe transversale de la pipe

a. Diamètre

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

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

A.N: $D_{int} = 168,30 - 2 \times 7,11$

$D_{int} = 154,08 \text{ mm} = 0,154 \text{ m}$.

b. La masse molaire

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

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

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

c. La masse volumique

La loi des gaz parfait est donnée par la formule :

$$P \times V = n \times R \times T \quad (\text{III.14})$$

Avec :

- n : Nombre de mole, $n = m / M$ (Mole)
- $R = 0,082 \text{Atm.l/mol.K}$

On remplaçant les formules, on obtient :

$$\rho = (P \times M) / (R \times T) \text{ avec } 1 \text{ Kg/cm}^2 \implies 1,033 \text{ atm}$$

$$\text{A.N : } \rho = (6,8 \times 43,89) / (0,082 \times 285,5)$$

$$\rho = 12,74 \text{ Kg/m}^3$$

d. La vitesse d'écoulement

Selon la loi de la continuité :

$$V = Q_m / (S \times \rho) \implies V = (4 \times Q_m) / (\rho \times \pi \times D^2)$$

$$\text{A.N : } V = (4 \times 10567,2) / (12,74 \times \pi \times 0,154^2 \times 3600) \implies V = 12,36 \text{ m/s}$$

e. Nombre de Reynolds :

$$\text{On a : } Re = \rho \times V \times D / \mu$$

La viscosité dynamique (μ) est déterminée après la simulation (Hysys) avec les conditions initiales. Avec les données ($T = 12,35^\circ\text{C}$, $P = 588,4 \text{ KPa}$) (Voir Tableau III.5).

On a :

$$\mu = 8,091 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{cp} = 8,091 \cdot 10^{-5} \text{ Kg/m.s} \quad \text{A.N : } Re = (12,74 \times 12,36 \times 0,154) / (8,091 \cdot 10^{-5})$$

$$Re = 2,9 \cdot 10^5$$

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

f. Les pertes de charges

La décompression de ballon d'aspiration passera de 7 kg/cm^2 à 3 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. Le détendeur le rend affecté par les conditions du pipeline BOG (environ 900 à 300 mmH₂O eff). Exemple : Nous illustrons le calcul de la perte de charge lorsque la pression de démarrage du réservoir V-1006 est de 6 kg/cm^2 lorsque le réservoir est à l'arrêt.

➤ Perte de charge ligne train

➤ La perte de charge linéaire :

Elle correspond à l'écoulement général dans une conduite rectiligne. Elle est calculée selon l'équation de DARCY:

$$\Delta PL = \lambda \times \rho \times (L / D) \times [V^2 / (2 \times g)] \quad (\text{III.15})$$

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

On a :

• $(\epsilon/D) = 3,90 \cdot 10^{-4}$ Diagramme de Moody $\implies \lambda = 0,018$

$$A.N : \Delta PL = 0,018 \times 12,74 \times (130 / 0,154) \times [(12,36)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta PL = 1507,3 \text{ Kg/m}^2 = 0,15073 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ **La perte de charge singulière**

On a :

$$\Delta Ps = \rho \times K \times [V^2 / (2 \times g)]$$

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

• Les Coudes : Nous avons 04 coudes de 90°C, D'après l'annexe N°4 on a $K=0.50$.

A.N

$$\Delta Ps = 4 \times [12,74 \times 0,50 \times [(12,36)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta Ps = 198,39 \text{ Kg/m}^2 = 0,019839 \text{ Kg/cm}^2$$

• Vanne manuelle avec $K=0,25$

$$A.N : \Delta Ps = [12,74 \times 0,25 \times [(12,36)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta Ps = 24,79 \text{ Kg/m}^2 = 0,002479 \text{ Kg/cm}^2$$

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

$$A.N : \Delta Ps = [12,74 \times 0,75 \times [(12,36)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta Ps = 74,39 \text{ Kg/m}^2 = 0,007439 \text{ Kg/cm}^2$$

$$D'où : \Delta P_{Ttrain} = \Delta P_1 + \Delta Ps = 0,15073 + 0,019839 + 0,002479 + 0,007439$$

$$\Delta P_{Ttrain} = 0,180487 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ **Perte de charge collecteur**

➤ **La perte de charge linéaire**

$$\Delta PL = 0,018 \times 12,74 \times (421 / 0,154) \times [(12,36)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta PL = 0,4881 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ **La perte de charge singulière**

$$\Delta Ps = \rho \times K \times [V^2 / (2 \times g)]$$

- Vanne manuelle avec $K=0,25$

$$A.N : \Delta Ps = [12,74 \times 0,25 \times [(12,36)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta Ps = 24,79 \text{ Kg/m}^2 = 0,0024 \text{ Kg/cm}^2$$

- Les Coudes

Nous avons 49 coudes de 90°C. D'après l'annexe N°5 on a $K=0.50$.

$$\Delta Ps = 49 \times [12,74 \times 0,50 \times [(12,36)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta Ps = 0,2430 \text{ Kg/cm}^2$$

D'où : $\Delta P_{T\text{collecteur}} = \Delta P_1 + \Delta P_S = 0,4881 + 0,0024 + 0,2430$

$$\Delta P_{T\text{collecteur}} = 0,7335 \text{ Kg/cm}^2$$

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

A.N : $\Delta P_T = 0,180487 + 0,7335$

$$\Delta P_T = 0,913 \text{ Kg/cm}^2$$

✓ **La pression d'arrivée**

- 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 inférieure à 18C°.

P1 : la pression d'équilibre dans le ballon V-1006, P1 = 5,884Kg/cm2.

P2 : la pression d'entrée de la vanne de détente.

P3 : la pression d'admission de la section BOG, P3 =1.1Kg/cm2.

- Calcul de P2 d'après la loi fondamentale de l'hydrostatique :

on aura : $P_2 = P_1 + \rho \times g \times H - \Delta P_T$ (III.15)

Avec :

H : La différence de la hauteur entre le haut du ballon V-1006 et la vanne de détente, (H=5m).

ρ : La masse volumique en (Kg/m3).

g : L'accélération de la pesanteur (m/s2), avec g = 9,81 m/s2 .

A.N : $P_2 = 5,884 + [12,74 \times 9,81 \times 5] \cdot (10^{-4} - 0,913)$

$$P_2 = 5,03 \text{ Kg/cm}$$

III.4.5 calculs durant l'année 2023 :

✓ **Première cas**

a. Calcul de la hauteur H1

$$H_1 = (48 \cdot 4) / 100$$

$$H_1 = 1,92 \text{ m}$$

$$48 \% H = 1,92 \text{ m}$$

$$9,38 \% H = 0,3752 \text{ m}$$

b. Calcul du volume partiel correspondant à 48%

$$V_p = 61,7 \text{ m}^3$$

c. Calcul du volume partiel correspondant à 9,38%

$$\text{Volume partiel} = 5,7 \text{ m}^3$$

d. Volume torché/arrêt 1

$$V_{t.a.1} = 61,7 - 5,7 = 56 \text{ m}^3$$

2. Deuxième cas

a. Calcul de la hauteur H1

$$100\% D = 4\text{m.}$$

$$28,94\% H = 1,1576 \text{ m.}$$

$$4,59\% H = 0,1836 \text{ m.}$$

b- Calcul du volume partiel correspondant à 28,94 %

$$\text{Volume partiel} = 30,6 \text{ m}^3$$

c- Calcul du volume partiel correspondant à 4,59%

$$\text{Volume partiel} = 1,9 \text{ m}^3$$

d- Volume torché/arrêt 2

$$V_{t.a.2} = 30,6 - 1,9 = 28,7 \text{ m}^3$$

Volume moyen :

$$V_m = (V_{t.a.1} + V_{t.a.2}) / 2 = (56 + 28,7) / 2 = \mathbf{42,35 \text{ m}^3}$$

La quantité annuelle de propane torché

Nous obtenons après calcul un volume moyen à torcher de **42,35 m³** ce qui correspond à une masse de **20158,6 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 2023 sera :

$$\mathbf{463,65 \text{ Tonne/an.}}$$

✓ Débit de propane torché :

- Le volume moyen de gaz torché durant un arrêt est de : **42,35 m³** équivalent de **20158,6 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 :

$$\mathbf{Q \text{ torché} = 20158,6 \text{ Kg/h}}$$

Calculs :

a. Diamètre :

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

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

b. La masse molaire :

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

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

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

c. La masse volumique :

$$\text{A.N : } \rho = (6,8 \times 43,89) / (0,082 \times 285,5)$$

$$\rho = 12,74 \text{ Kg/m}^3$$

d. La vitesse d'écoulement :

$$\text{A.N : } V = (4 \times 20158,6) / (12,74 \times \pi \times 0,154^2 \times 3600)$$

$$V = 23,60 \text{ m/s}$$

e. Nombre de Reynolds :

$$\text{A.N : } Re = (12,74 \times 23,6 \times 0,154) / (8,091 \cdot 10^{-5})$$

$$Re = 5,72 \cdot 10^5$$

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

Perte de charge ligne train :

➤ **La perte de charge linéaire :**

$$\text{A.N : } \Delta PL = 0,018 \times 12,74 \times (130 / 0,154) \times [(23,6)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta PL = 5495,28 \text{ Kg/m}^2 = 0,549528 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ **La perte de charge singulière**

• Les Coudes : Nous avons 04coudes de 90°C, D'après l'annexe N°4 on a $K=0.50$.

A.N

$$\Delta Ps = 4 \times [12,74 \times 0,50 \times [(23,6)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta Ps = 723,31 \text{ Kg/m}^2 = 0,073231 \text{ Kg/cm}^2$$

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

$$\text{A.N : } \Delta Ps = [12,74 \times 0,25 \times [(23,6)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta Ps = 90,41 \text{ Kg/m}^2 = 0,009041 \text{ Kg/cm}^2$$

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

$$\text{A.N : } \Delta Ps = [12,74 \times 0,75 \times [(23,6)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta Ps = 271,24 \text{ Kg/m}^2 = 0,027124 \text{ Kg/cm}^2$$

D'où : $\Delta PT_{train} = \Delta PL + \Delta PS = 0,549528 + 0,073231 + 0,009041 + 0,027124$

$$\Delta PT_{train} = 0,658924 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ **Perte de charge collecteur :**

➤ **La perte de charge linéaire :**

$$\Delta PL = 0,018 \times 12,74 \times (421 / 0,154) \times [(23,6)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta PL = 1,7796 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ **La perte de charge singulière :**

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

$$\text{A.N : } \Delta Ps = [12,74 \times 0,25 \times [(23,6)^2 / (2 \times 9,81)]$$

$$\Delta Ps = 90,41 \text{ Kg/m}^2 = 0,009041 \text{ Kg/cm}^2$$

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

$$\Delta P_s = 49 \times [12,74 \times 0,50 \times [(23,6)^2 / (2 \times 9,81)]]$$

$$\Delta P_s = 0,8860 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{D'où : } \Delta P_{T\text{collecteur}} = \Delta P_1 + \Delta P_s = 1,7796 + 0,009041 + 0,8860$$

$$\Delta P_{T\text{collecteur}} = 2,67464 \text{ Kg/cm}^2$$

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

$$\text{A.N : } \Delta P_T = 0,658924 + 2,67464$$

$$\Delta P_T = 3,333564 \text{ Kg/cm}^2$$

✓ **La pression d'arriver :**

$$\square \text{ A.N : } P_2 = 5,884 + [12,74 \times 9,81 \times 5] \cdot 10^{-4} - 3,333564$$

$$P_2 = 2,61 \text{ Kg/cm}$$

Lorsque la pression $P_2 = 2,61$ et la perte de charge = 3,33 c'est possible faux parce que le niveau du ballon diminue après le démarrage de la section réfrigération

Donc on a travailler sur les données de l'année 2022 pour éviter ce problème .

III.5 Simulation :

III.5.1 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.

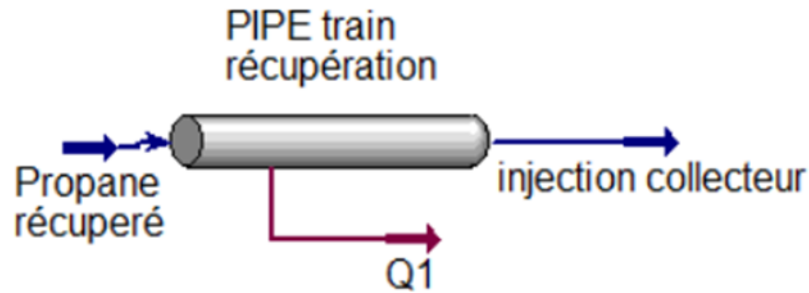
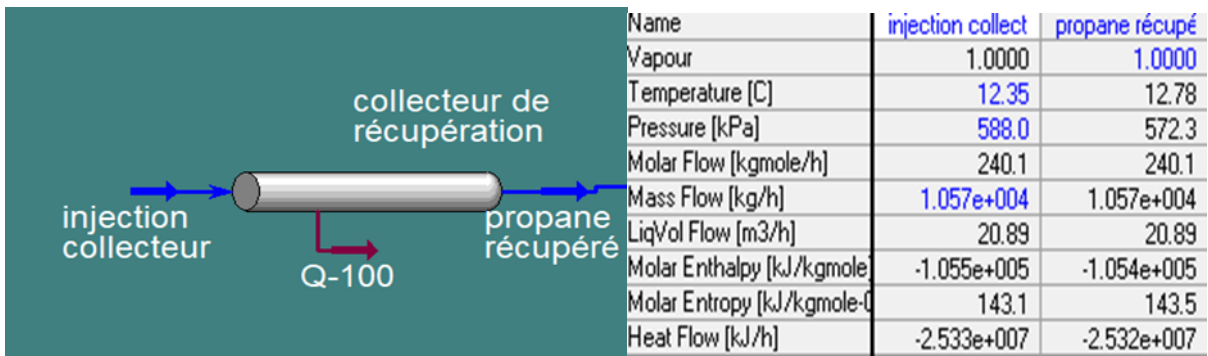


Figure III -20 : La ligne train du propane récupéré simulée par HYSYS

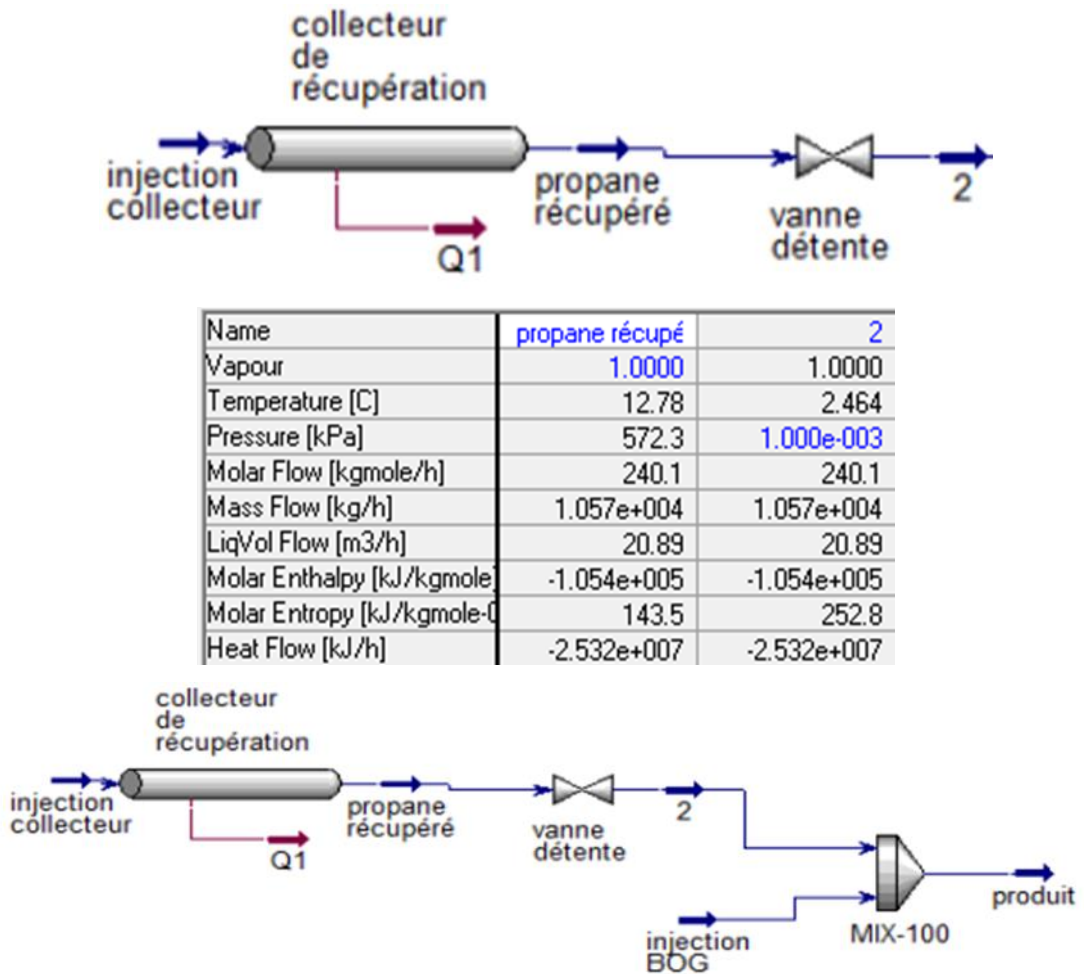


Figure III-21 : Collecteur de récupération injecté à la section BOG simulée par HYSYS

Tableau III-6 : Comparaison entre les résultats calculée et résultats obtenus par HYSYS

	Résultat calculé	Résultat HYSYS
Pression P2 (kg / cm²)	5,03	5,27
Perte de charge (kg / cm²)	0,913	0,5788

III.5.2 Interprétations des résultats :

Après avoir effectué notre calcul théorique et simulé avec HYSYS 8.8, il est évident que nos résultats concordent étroitement avec la simulation effectuée par HYSYS, confirmant ainsi la validité de notre calcul. Il est envisageable de récupérer le propane habituellement brûlé lors du démarrage de la section réfrigération en installant une ligne de 130 m reliant le ballon V-1006 à la ligne BOG. Ce propane pourrait être transporté par différence de pression depuis le ballon V-1006 jusqu'à son injection, tout en respectant les conditions nécessaires à la liquéfaction. La faisabilité de cette proposition de ligne de récupération a été simulée avec le logiciel HYSYS, et les conditions simulées d'injection sont compatibles avec l'acheminement vers la ligne BOG. Cette modification permettra au complexe de réaliser des économies significatives, contribuant ainsi aux efforts de Sonatrach pour réduire le taux de gaz brûlés.

Conclusion

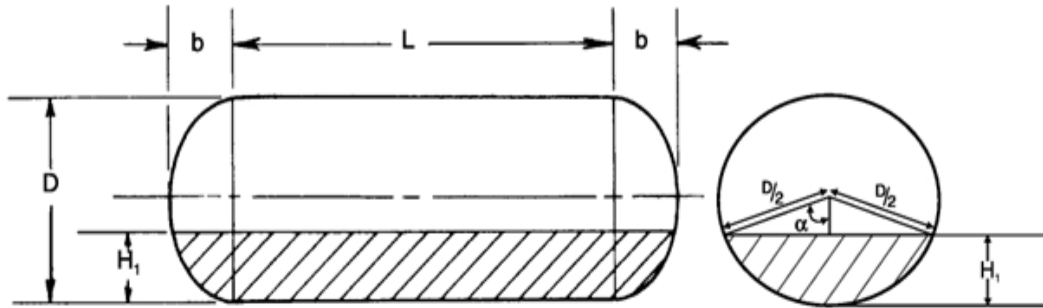
Le complexe GP1/Z, titulaire du certificat ISO14001 depuis 2004, s'engage continuellement dans des initiatives visant à réduire au maximum, voire éliminer dans certains cas, le torchage, qui représente un problème environnemental majeur en raison de ses effets néfastes sur l'atmosphère, tels que l'effet de serre et le réchauffement climatique. L'une des principales préoccupations de GP1/Z est de réduire les émissions de gaz torchés. Il a été observé un torchage significatif lors du démarrage de la section de réfrigération, ce qui a rendu impératif d'étudier ce cas afin de minimiser ces pertes en les récupérant. Cette nécessité a conduit à la réalisation d'une étude pour la mise en place d'une ligne de récupération pour chaque train de la phase II (deux trains), avec un débit annuel de propane torché $Q_{\text{torché}} = 221,91 \text{ tonnes/an}$.

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.

FIG. 6-21

HORIZONTAL CYLINDRICAL TANKS



Total volume = volume in 2 heads + volume in cylinder

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

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

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

where α is in radians

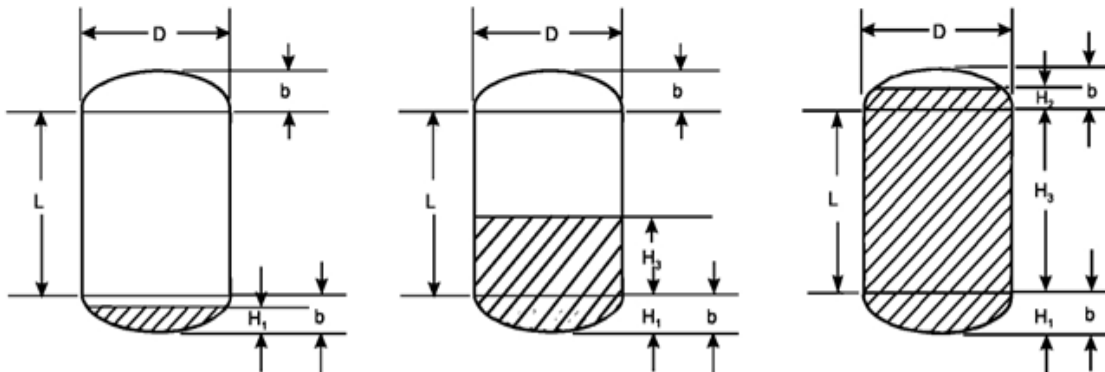
$$\text{Partial volume} = 1/6 \pi K_1 D^3 \times [f(Z_e)] + 1/4 \pi D^2 L \times [f(Z_c)]$$

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

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

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

VERTICAL CYLINDRICAL TANKS



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

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

$$K_1 = 2 b/D$$

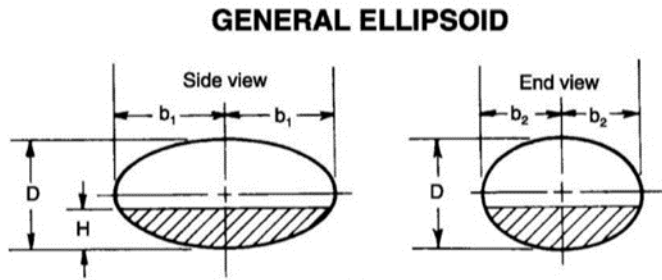
$$Z_e = (H_1 + H_2)/K_1 D$$

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

Annexe 03

FIG. 6-23

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

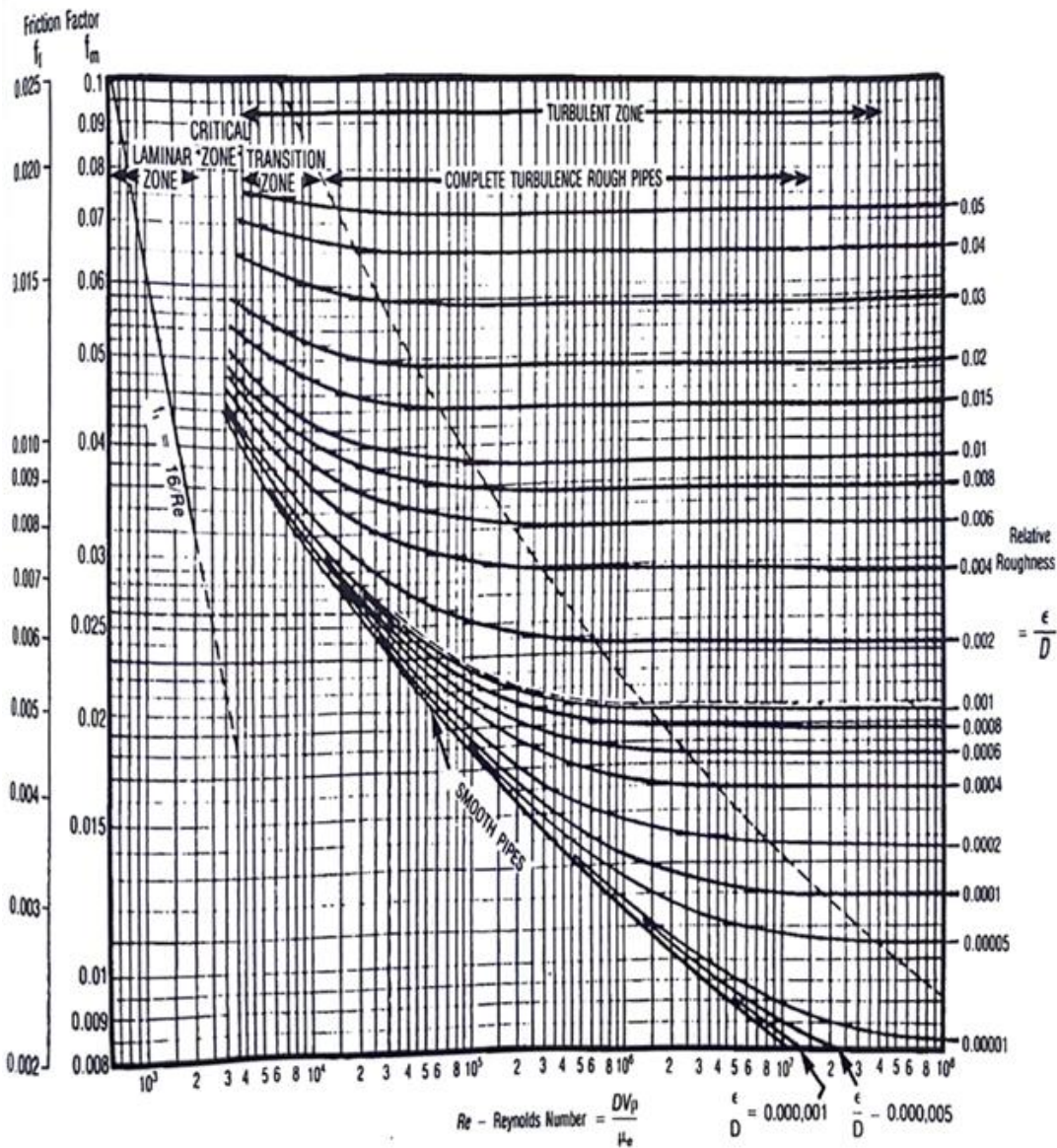


Total volume of ellipsoid = $\frac{1}{6} \pi K_1 K_2 D^3$
 Partial Volume = $\frac{1}{6} \pi K_1 K_2 D^3 f(Ze)$
 $K_1 = 2b_1/D$ $K_2 = 2b_2/D$
 $Ze = H/D$ $f(Ze) = \text{ellipsoidal coefficient (see below) or } = -\left(\frac{H_1}{D}\right)^2 \times \left(-3 + \frac{2H_1}{D}\right)$

Coefficients for Partial Volumes of Ellipsoids or Spheres, 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.			

Diagramme de MOODY

Coefficient de frottement f pour n'importe quelle espèce ou taille de tuyau « Courbes pour la rugosité Relative $\frac{\epsilon}{D}$ de 0,000001 à 0,05 »



Pertes de charges dans les accessoires

Accessoires	Pertes de charge moyenne
Réservoir à conduite – connexion au ras de la paroi (perte à l'entrée)	$0.50 \frac{V_2^2}{2g}$
-tuyau entrant	$1.00 \frac{V_2^2}{2g}$
-connexion arrondie	$0.05 \frac{V_2^2}{2g}$
Conduite à réservoir (perte à la sortie)	$1.00 \frac{V_1^2}{2g}$
Divergent brusque	$\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$
Divergent progressif	$k \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$
Venturis, buses et orifices	$\left(\frac{1}{C_v^2} - 1 \right) \frac{V_2^2}{2g}$
Convergent brusque	$k_c \frac{V_2^2}{2g}$
Coudes, accessoires, vannes, clapets Quelques valeurs courantes de K sont : 45°, coude0.35 à 0.45 90°, coude.....0.50 à 0.75 Té,.....1.5 à 2.00 Vannes de portes (ouvertes).....aprox.0.25 Vannes de contrôle (ouvertes).....aprox.3.0 Clapet anti- retour à disque levable (6'').....0.75	$k = \frac{V^2}{2g}$

Annexe 06

ASTM acier au carbone

ASTM A 53 / A 53M-99b

Cette spécification couvre les tubes sans soudure et soudés en acier, noir et galvanisé de NPS 1/8" à 26" inclus et d'épaisseur conforme au tableau (voir la spécification).

Les tubes pourront être fournis suivant les types et les grades :

Type F : FBW Soudure bord à bord après passage de la tête dans un four - Nuance A

Type E : ERW Soudure par résistance électrique - Nuances A et B

Type S : Sans soudure - Nuances A et B

COMPOSITION CHIMIQUE MAXI EN %

Type	Nuance	C	Mn	S	P	Cr (a)	Cu (a)	Mo (a)	Ni (a)	V (a)
S	A	0,25	0,95	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
	B	0,30	1,20	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
E	A	0,25	0,95	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
	B	0,30	1,20	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
F	A	0,30	1,20	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08

(a) La somme de ces cinq éléments combinés ne doit pas dépasser 1 %

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

Type	Nuance	Fabrication	Résistance rupture minimum ksi	Résistance rupture minimum MPa	Limite élastique minimum ksi	Limite élastique minimum MPa	Allongement minimum en %, sur 2"
F	A	Aciers Martin ou four électrique ou oxygène basique	48,0	330	30,0	205	$\sigma = 625.000 A^{0,7} U^{0,3}$ (Voir ASTM)
E, S	A		48,0	330	30,0	205	

TOLÉRANCES

Sur diamètre extérieur	Diamètre nominal $\leq 1 1/2$ (1,903" CC)	$\pm 1/64"$ (0,40mm)
	Diamètre nominal ≥ 2 (2,375" CC)	$\pm 1\%$
Sur épaisseur		- 12,5 %
Sur masse		$\pm 10\%$

PRESSION D'ESSAI HYDRAULIQUE : voir spécification détaillée de la norme.

DIMENSIONS : voir pages 40 et suivantes

12  TROUBAT & CAUMON - PIPING EQUIPMENT 2001

ASTM carbon steel

ASTM A 53 / A 53M-99b

This specification covers seamless and welded black and hot-dipped galvanized steel pipe in NPS 1/8 to 26 inclusive with nominal wall thickness as given in tables (see the standard).

Pipe may be furnished in the following types and grades :

Type F : Furnace butt welded (FBW) - Grade A

Type E : Electric resistance welded (ERW) - Grades A and B

Type S : Seamless - Grades A and B

CHEMICAL REQUIREMENTS MAXI IN %

Type	Grade	C	Mn	S	P	Cr (a)	Cu (a)	Mo (a)	Ni (a)	V (a)
S	A	0,25	0,95	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
	B	0,30	1,20	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
E	A	0,25	0,95	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
	B	0,30	1,20	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
F	A	0,30	1,20	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08

(a) These elements combined shall not exceed 1 %

TENSILE REQUIREMENTS

Type	Grade	Manufacture	Minimum tensile strength		Minimum yield strength		Minimum elongation in 2", per cent
			ksi	MPa	ksi	MPa	
F	A	Open hearth or electric furnace or basic oxygen	48,0	330	30,0	205	$\sigma = 625.000 A^{0,7} U^{0,3}$ (See ASTM standard)
E, S	A		48,0	330	30,0	205	
			B	60,0	415	35,0	

TOLÉRANCES

Outside diameter (pipe body)	NPS 1 1/2 (1,903" CC) and under	$\pm 1/64"$ (0,40mm)
	NPS 2 (2,375" CC) and over	$\pm 1\%$
On thickness		- 12,5 %
On weight		$\pm 10\%$

HYDROSTATIC TEST PRESSURE : see standard detailed specification.

DIMENSIONS : see pages 40 and following

13  PIPING EQUIPMENT 2001 - TROUBAT & CAUMON