

Ministry of Higher Education And Scientific Research University Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي عامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

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

Examinateur : 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 nombreuse année avec à chaque fois une attention renouvelée.

Puisse Dieu tout puissant, te préserve et t'accorde 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/Z 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 soin à sa réasisation de ce travais.

En fin, nous tenons à remercier vivement tous ceux qui par seur amitié, nous ont soutenues morasement durant ce travais.

ملخص

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 جدًا عليها لأنها أقل تلويثًا وأقل تكلفة

تتم معالجة غاز البترول المسال لإنتاج البيوتان والبروبان تجاريًا من خلال عدة أقسام. عند بدء تشغيل /GP1 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

Résume:

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 GP1/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 GP1/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

. CH	APITRE :	12
I.1 I	Introduction	13
1.2	Description du complexe	13
1.2.	·	
1.2.	·	
1.2.	3 Organisation du complexe	14
I.3 I	Prétraitement de la charge	
1.3.		
1.3.		
	Description du procédé	
•	Circuit de butane commercial	
В)	Circuit de propane commercial	
	Définition de GPL	
I.5.: I.5.:		
1.5 1.5		
1.5.	•	
16 1	Les installations de stockage des produits finis	10
1.6.		
1.6.	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
1.7	Les installations de chargement	2 1
1.7.	G	
1.7.	2 Section de chargement de camions à température ambiante	21
1.8	Conclusion	21
II. Ch	apitre II	22
	•	
II.1	Introduction	
II.2	Définition	23
II.3	Composition chimique de gaz torché	24
11.4	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	
II.8	Les principaux sièges de torchage	
11.9	Système de torche	
II.10	Impacts des gaz torchés sur l'environnement	27
II.11	Conclusion	27

III. Cha	pitre III	28
III.1	Présentation du problème	29
III.2	Estimation du volume de propane torché :	29
III.2.		
III.2.	2 Méthode de calcul du niveau au V-1009 :	30
III.2.	3 Volume du cylindre horizontal	31
III.2.	•	
III.3 III.4	Objectif de l'étude de dimensionnement de la ligne de récupération de propane	
III.4 III.4.	Dimensionnement de la ligne de récupération de propane	
III.4.		
III.5	Simulation:	50
III.5.	1 Description du Simulateur HYSYS 8.8 :	50
III.5.	•	

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	
Tableau III -5 : Composition du réfrigérant	
Tableau III-6 : Comparaison entre les résultats calculée et résultats obtenus par HYSYS	
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	
Figure I -5:Sphéres de stockage	
Figure II-6: Torchage du gaz	
Figure II -7: Combustion complète	
Figure II -8 : Combustion incomplète	
Figure III -9: Dimensions du ballon V-1006	
Figure III -10 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arret et au	
démarrage du TR 500 en 2022	
Figure III -11: Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt et au	
démarrage du TR 600 en 2022.	
Figure III -12 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseurs avant l'arrêt et au	u
démarrage du TR 500 en 2023	
Figure III -13: Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt et au	2.
démarrage du TR 600 en 2023	
Figure III -14 : Localisation de la ligne et collecteur de récupération	
Figure III -15: Longueur de la ligne train	
Figure III -16 : Tracé de collecteur	
Figure III -17 : Coude 90°	
Figure III -18 : Vanne de garde	
Figure III -19 : Coupe transversale de la pipe.	
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	31

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		
Нс	Chaleur du réfrigérant quittant le compresseur		
Не	Chaleur du réfrigérant entrant le Schiller		
LPG	Liquified petroleum Gaz		
COV	Composé organique volatil		
НАР	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:	
Présen	ntation 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.

1.2 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 :

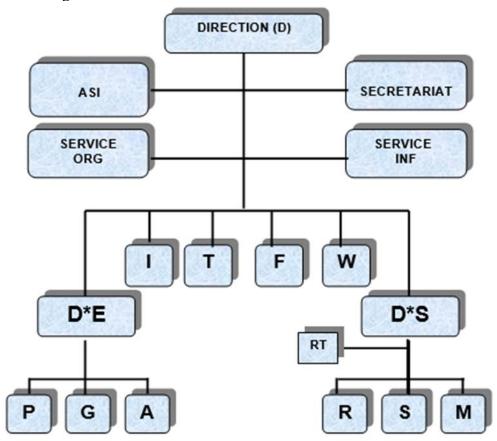


Figure I -2:Organigramme du complexe [1].

Tableau I -1: Symboles des départements

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

1.3 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 regénération 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'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 = produits C3 et C4 (disponibles dans le commerce) / 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

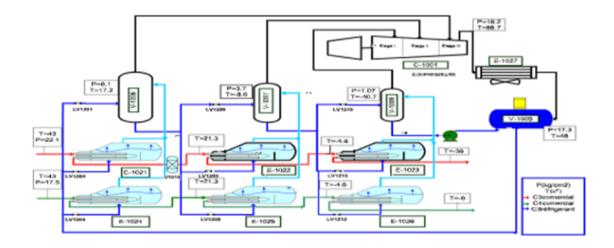


Figure I -3:Section de réfrigération

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].

I.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].

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'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'autre 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].

1.6 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 :

- \Box Une pour le propane à P = 3.8-18 Kg// cm².
- \square Trois pour le butane à P = 0.5 6.5 Kg / cm².
- \Box Une pour le pentane à P = 0.1 1.3 Kg // cm²
- La capacité de chaque sphère est de 500 m 3 [7].



Figure I -5:Sphéres de stockage

I.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].

1.7 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 brulé 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].



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 :

CH4 + 2O2
$$\rightarrow$$
 CO2 + 2H2O
C2H6 + (7/2) O2 \rightarrow 2 CO2 + 3 H2O
C3H8 + 5O2 \rightarrow 3CO2 + 4H2O



Figure II -7: Combustion complète

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

$$CH4 + (3/2) O2 \rightarrow CO + 2H2O$$

$$C3H8 + (7/2) O2 \rightarrow 3CO + 4H2O$$

Pour azote:

$$N2 + 2CO2 \rightarrow 2NO2$$

$$N2 +O2 \rightarrow 2NO$$

$$N2 + 2O2 \rightarrow N2O4$$



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 (CS :) et le sulfure de carbonyle (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 boule 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 sure 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 récupéré 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 donnés 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 an	rêts 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.

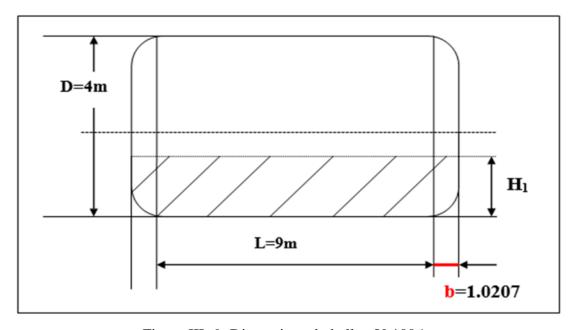


Figure III -9: Dimensions du ballon V-1006

• Calcul de b :

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

D'où :
$$Vt = 1/6\pi K1 D^3 + \frac{1}{4}\pi D^2 L$$
, (III.1)

avec: K1 = 2b/D

 $Vt = 1/6\pi (2b/D) D^3 + \frac{1}{4} \pi D^2 L$

 $Vt = 1/3\pi \ b \ D^2 + {}^1\!/_{\!4} \ \pi D^2 \ L$

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

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.

$$Vt = (1/6) \times (\pi.K1.D^3) + (1/4) \times (\pi.D^2.L) (m^3)$$
(III.1)

Avec : • K1 = 2b/D.

- Ze = H1/D.
- Zc = H1/D.

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

- f (Ze): coefficient d'un cylindre horizontal.
- f (Zc): coefficient ellipsoïdal.
- Calcul du volume torché pour chaque cas :

V t.a.1 = Vp allure 1 - Vp allure 2

V t.a.2 = Vp allure 1' - Vp allure 2'

- La quantité annuelle de propane torché
- -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
	Arrêt le :	37,11	
	05/06/ 2022		
Cas1	à 21 : 06 : 34		Déclenchement
(Train 500)	Démarrage le :	25,46	par vibration haute
	06 /06/2022		
	à 02 : 21 : 23		
	Arrêt le :25/05/202	50,06	
	à 04 :23 :59		
Cas 2			
(Train 600)			Manque de charge
	Démarrage	34,26	Wanque de charge
	le: 25/05/2022		
	à 10 :42 :25		
X7.*.*1 1*	4.6 1	^4. 1. 1	

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 :

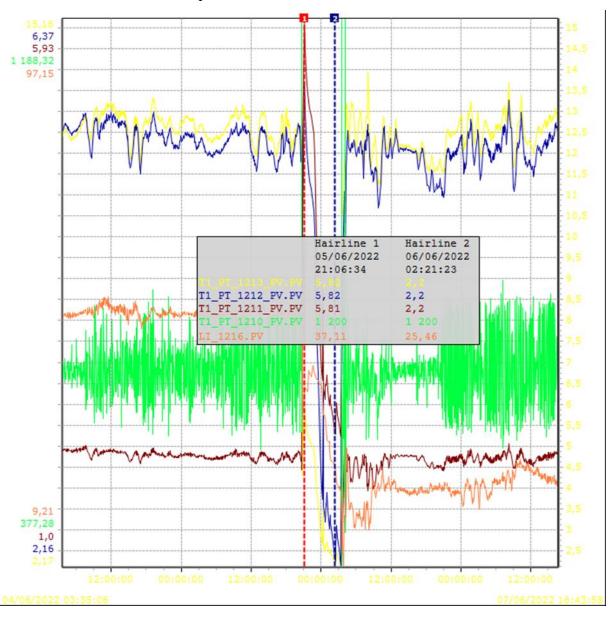


Figure III -10 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arret et au démarrage du TR 500 en 2022

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

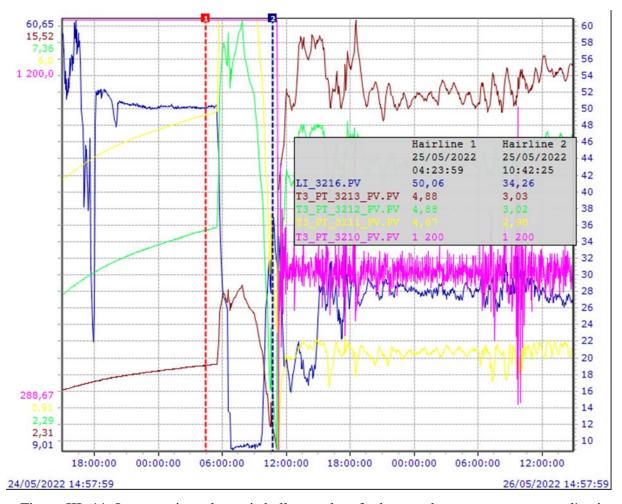


Figure III -11: Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt et au démarrage du TR 600 en 2022

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

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).

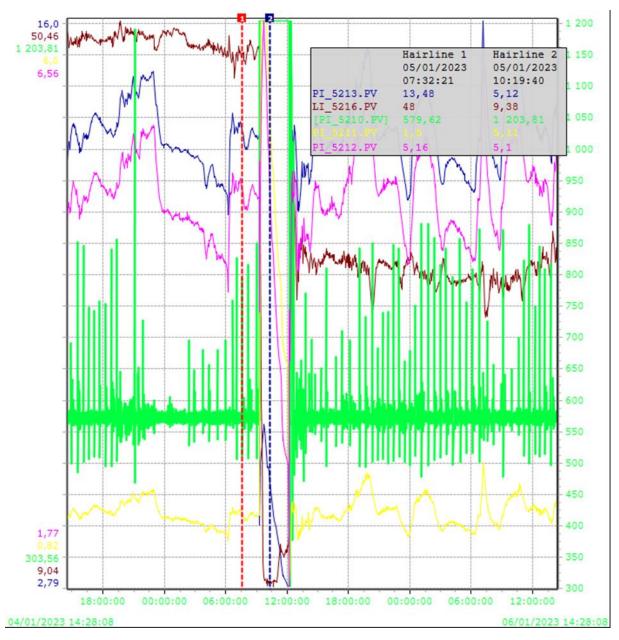


Figure III -12 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseurs avant l'arrêt et au démarrage du TR 500 en 2023

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

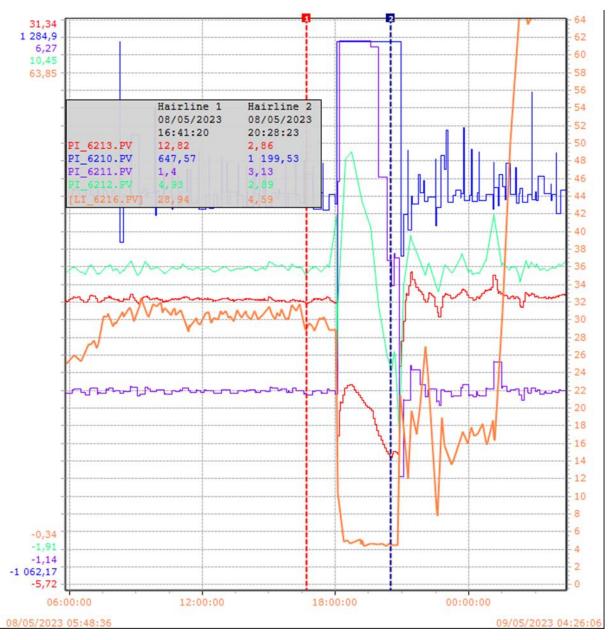


Figure III -13: Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur avant l'arrêt et au démarrage du TR 600 en 2023

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 en (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 :

$$b = 3(Vt - \frac{1}{4}\pi D^{2} L) / \pi D^{2} = 3(130, 2 - \frac{1}{4}\pi \times 4^{2} \times 9) / \pi \times 4^{2}$$
 (III.3)
$$b = 1,02074$$

1. Premier cas

100 % D = 4m

a. Calcul de la hauteur H1

H1 = (37,11*4)/100

H1=1,4844 m

37,11 % H = 1,4844 m

25,46 % H= 1,0184 m

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

37,11 % H = 1,4844 m.

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

Ze = Zc = H1/D = 1,4844 / 4 = 0,3711

f (Ze): 0,310793(voir annexe 03)

f (Zc): 0,337593 (voir annexe 02)

 $Vp = (1/6) \times [\pi.0, 51037.64] \times (0,310793) + (1/4) \times (\pi.9.16) \times (0,337593)$

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

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

25,46 % H= 1,0184

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

Ze = Zc = H1/D = 1,0184 / 4 = 0,2546

f (Ze): 0,160774 (voir annexe 03).

f (Zc): 0,199922 (voir annexe 02).

 $Vp = (1/6) \times (\pi.0, 51037.64) \times (0,160774) + (1/4) \times (\pi.9.16) \times (0,199922)$

$$Vp = 25.4 \text{ m}^3$$

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 = 4m

50,06 % H = 2,0024 m

34,26 % H =1,3704 m

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

50,06 % H = 2,0024m

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

Ze = Zc = H1/D = 2,0024/4 = 0,5006

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

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

Volume partiel = $65,1 \text{ m}^3$

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

34,25 % H = 1,3704 m

K1 = 2b/D = b/2 = 0.51037

Ze = Zc = 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

 $Vt.a.2 = 65,1 - 38,8 = 26,3m^3$

Volume moyen:

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

III.2.4 La quantité annuelle de propane torché

Nous obtenons après calcul un volume moyen à torcher de 22,2 m³ ce qui correspondant à une masse de 10567,2 kg. (Avec ρ =476kg/m³ 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)

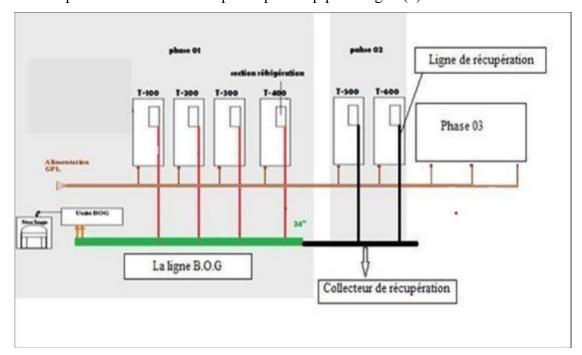


Figure III -14 : Localisation de la ligne et collecteur de récupération

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 :

$$Qm = \rho \times V \times S (Kg/h)$$
 (III.4)

Avec:

- Qm : 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

 $\bullet S = \pi \times D2 / 4 (m2) \tag{III.5}$

b. Diamètre

Selon la relation suivante :

Dint= Dext- 2e (m) (III.6)

Avec:

- D : Diamètre de pipe en (m)
- Dint : Diamètre intérieure de pipe en (m)
- Dext : Diamètre extérieur de pipe en (m)
- e : Epaisseur de pipe en (m)

c. La masse volumique:

$$\rho = (P \times Mmoy) / (Z \times R \times T) (Kg/m3)$$
 (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).
- Mmoy: Masse moyenne de gaz en (g/mol).

$$Mmoy = \sum Mi. Xi$$
 (III.8)

Tels que:

- Mi : Masse molaire du constituant.
- Xi: Fraction molaire du constituant.

Donc V = Qm / (S×
$$\rho$$
) ==> V= 4 × Qm / (ρ × π × D²) (m3) (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.

$$Re = \rho \times V \times D / \mu \tag{III.10}$$

Avec:

- Re : Nombre de Reynolds.
- ρ : Masse volumique en (Kg/m3), $\rho = m / V$ (Kg/m3) (III.11)

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.

$$\Delta PT = \Delta Pl + \Delta PS (Kg/cm2)$$
 (III.12)

Avec:

- Δ PT : Pertes de charge totale en (Kg/cm2)
- ΔPS : Chute de pression singulière en (Kg/cm2)
- ΔPL : 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 :

$$\Delta PL = \lambda \times \rho \times (L / D) \times [V2 / (2 \times g)] (Kg/cm2)$$
 (III.13)

Avec:

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

Avec:

 ε = 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=9,81m/s²)
- 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 :

$$\Delta P_{S} = \rho \times K \times [V2 / (2 \times g)] (Kg/cm^{2})$$
 (III.14)

Avec:

- ΔPs : 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÷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 conversation des masses, alors le débit torché sera :

III.4.3 Longueur de ligne:

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

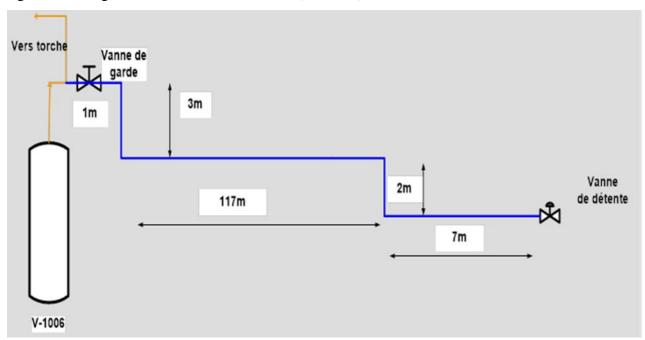


Figure III -15: Longueur de la ligne train

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

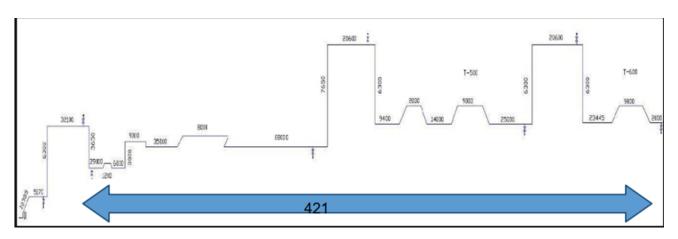


Figure III -16 : Tracé de collecteur

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 menue 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 :

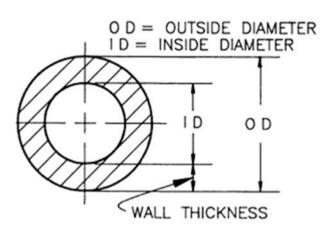


Figure III -19 : Coupe transversale de la pipe

a. Diamètre

- Le diamètre et 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 Dint = Dext –2e

A.N: Dint=
$$168,30 - 2 \times 7,11$$

Dint= 154,08 mm = 0,154m.

b. La masse molaire

On a : M moy= \sum Mi . Xi

A.N: M moy=
$$(16 \times 0.17) + (30 \times 0.56) + (44 \times 99.01) + (58 \times 0.13) + (58 \times 0.13)$$

M moy = 43,89g/mol

c. La masse volumique

La loi des gaz parfait est donnée par la formule :

$$P \times V = n \times R \times T \tag{III.14}$$

Avec:

- n : Nombre de mole, n = m / M (Mole)
- R = 0.082Atm.l/mol.K

On remplaçant les formules, on obtient :

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

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 :

$$V = Qm / (S \times \rho) = > V = (4 \times Qm) / (\rho \times \pi \times D 2)$$

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

e. Nombre de Reynolds:

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°C, P = 588,4 KPa) (Voir Tableau III.5).

On a:

$$\mu = 8,091.10-3$$

$$cp = 8,091.\ 10-5\ Kg/m.sA.N : Re = (12,74 \times 12,36 \times 0,154) / (8,091.10-5)$$

$$Re = 2.9*10^5$$

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/cm2 à 3 kg/cm2. 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/cm2 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:

$$\Delta PL = \lambda \times \rho \times (L / D) \times [V2 / (2 \times g)]$$
 (III.15)

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

On a:

•
$$(\epsilon/D) = 3.90.\ 10-4$$
 Diagramme de Moody ==> $\lambda = 0.018$

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 04coudes de 90°C, D'après l'annexe N°4 on a K=0.50.

A.N

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

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

• 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 :
$$\Delta PTtrain = \Delta P1 + \Delta PS = 0.15073 + 0.019839 + 0.002479 + 0.007439$$

$$\Delta$$
PTtrain= 0,180487 Kg/cm²

> 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

$$\Delta P_s = \rho \times K \times [V2/(2 \times g)]$$

-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 : ΔPT collecteur = $\Delta P1 + \Delta PS = 0.4881 + 0.0024 + 0.2430$

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

D'autre part, on a : $\Delta PT = \Delta PT$ train+ ΔPT collecteur

A.N: Δ PT =0,180487+0,7335

$\Delta PT = 0.913 \text{ Kg/cm}^2$

✓ 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 :
$$P2 = P1 + \rho \times g \times H - \Delta PT$$
 (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:
$$P2 = 5,884 + [12,74 \times 9,81 \times 5] \cdot (10-4 - 0,913)$$

$$P2 = 5,03 \text{ Kg/cm}$$

III.4.5 calculs durant l'année 2023 :

- ✓ Première cas
- a. Calcul de la hauteur H1

H1 = (48*4)/100

H1=1.92 m

48 % H = 1.92 m

9,38 % H= 0,3752 m

b. Calcul du volume partiel correspondant à 48%

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

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

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 = 4m.

28,94 % H =1,1576 m.

4,59 % H =0,1836 m.

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

Volume partiel = 30.6 m^3

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

Volume partiel =1,9 m³

d- Volume torché/arrêt 2

 $Vt.a.2 = 30.6 - 1.9 = 28.7 \text{ m}^3$

Volume moyen:

$$Vm = (Vt.a.1 + Vt.a.2)/2 = (56 + 28.7)/2 = 42.35 \text{ m}^3$$

La quantité annuelle de propane torché

Nous obtenons après calcul un volume moyen à torcher de **42,35 m³** ce qui correspondant à une masse de **20158,6 kg**. (Avec ρ=476kg/m³ 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 :

463,65 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 Kg/cm2) est de : 01 heure.

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

Q torché= 20158,6 Kg/h

Calculs:

a. Diamètre:

Sachant que le diamètre intérieur Dint = Dext - 2e

A.N: Dint= $168,30 - 2 \times 7,11 ==>$ Dint= 154,08 mm = 0,154 m.

b. La masse molaire:

On a M moy= $\sum Mi$. Xi

A.N: M moy=
$$(16 \times 0.17) + (30 \times 0.56) + (44 \times 99.01) + (58 \times 0.13) + (58 \times 0.1)$$

M moy = 43,89g/mol

c. La masse volumique:

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 :

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:

A.N: Re =
$$(12,74 \times 23,6 \times 0,154) / (8,091.10 - 5)$$

$$Re = 5.72*10^5$$

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 :

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.

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

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 : $\Delta PTtrain = \Delta P1 + \Delta PS = 0.549528 + 0.073231 + 0.009041 + 0.027124$

$$\Delta$$
PTtrain= 0,658924 Kg/cm²

> 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.

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.

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

 $\Delta Ps = 0.8860 \text{ Kg/cm}^2$

D'où : Δ PTcollecteur= Δ P1+ Δ PS = 1,7796 +0,009041+ 0,8860

ΔPTcollecteur= 2,67464 Kg/cm²

D'autre part, on a : $\Delta PT = \Delta PT$ train+ ΔPT collecteur

A.N: Δ PT =0,658924 +2,67464

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

✓ La pression d'arriver :

 \square A.N: P2 = 5,884 + [12,74 × 9,81 × 5] . 10-4 –3,333564

P2 = 2,61 Kg/cm

Lorsque la pression P2= 2,61 et la perte de charge = 3,33 c'est possible faux parce que le niveaux du ballon diminue après le démarrage de la section réfrigération

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

III.5 Simulation:

III.5.1 Description du Simulateur HYSYS 8.8:

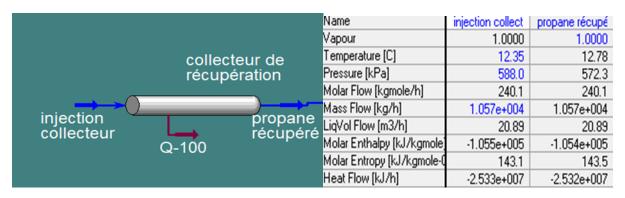
Le HYSYS est un logiciel de simulation des procédés de génie chimie, développé par la société canadienne HYPROTECH. Il a été conçu pour permettre le traitement d'une vaste gamme de problèmes allant de la séparation jusqu'à la distillation et la transformation chimique.

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.



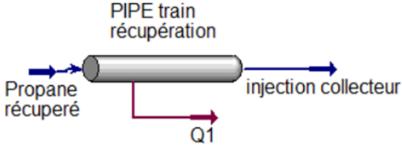


Figure III -20 : La ligne train du propane récupéré simulée par HYSYS

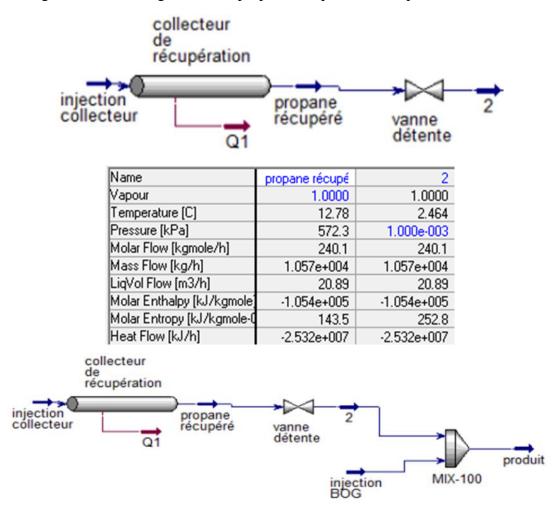


Figure III-21 : Collecteur de récupération injecté à la section BOG simulée par HYSYS

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

	Résultat calculé	Résultat HYSYS
Pression P2 (kg / cm^2)	5,03	5,27
Perte de charge (kg / cm^2)	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 torché = **221,91 tonnes/an.**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] -Manuel Opératoire. (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 Opératoire GP1/Z, Généralités sur le complexe GP1Z
- [4] BENAMEUR, M. KHENAFOU, 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.

Annexe 01

ANSI Pipe Schedule SI-units (metric)

OD = mm

Wall thickness = mm

Weight = kg/m

 $Vol/m = m^3$

Phocéenne de métallurgie 9/11, 3° RUE - Z.I. - B.P. 61 13742 VITROLLES - FRANCE

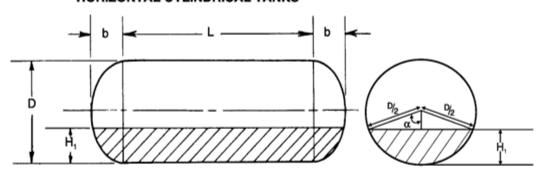
Tél. : 42 79 40 00 Télex : 420255 F Télécop. : 42 79 40 79



															Figure	s based o	n austeni	tic steel	
fominal pipe size inches	OD mm	10	20	30	STD	40	60	xs	80	100	120	140	160	xxs	58	108	405	808	Vo
1/8	10,30				1,73 0,37	1,73 0,37		2,41 0,47	2,41 0,47							1,24	1,73	2,41 0,48	0,0
1/4	13,70				2,24 0,63	2,24 0.63		3,02	3,02							1,65	2,24	3,02	0,
3/8	17,10				2,31	2,31 0.84		3,20	3,20						1	1,65	2,31	3,20	0,
1/2	21.30				2,77	2,77		3,73	3,73 1,62				4,78	7,47 2,55	1,65	2,11	2,77	3,73	0
3/4	26,70				2,87	2,87 1,69		3,91	3,91				5,56	7,82 3,64	1,65	2,11 1,31	2,87	3,91	0
1	33.40			100	3,38	3,38		4,55 3.24	4,55				6,35	9,09	1,65	2,77	3,38	4,55 3,29	0
1/4	42,20			-	3,56	3,56 3,39		4,85 4,47	4,85				6,35 5.61	9,70	1,65	2,77	3,56	4,85 4,56	0
1/2	48.30				3,68 4,05	3,68 4.05		5,08 5.41	5,08				7,14 7,25	10,15	1,65	2,77	3,68	5,08	0
2	60,30				3,91 5.44	3,91		5,54 7,48	5,54 7,48				8,74	11,07	1,65	2,77	3,91 5,54	5,54 7,63	0
21/2	73,00				5,16 8.63	5,16 8,63		7,01	7,01				9,53	14,02	2,11	3,05 5.36	5,16 8,81	7,01	0
3	88.90		*		5,49 11,29	5,49		7,62 15,27	7,62 15,27				11,13 21,35	15,24 27,68	2,11 4,60	3,05 6,59	5,49 11.52	7,62 15,59	0
31/2	101,60				5,74 13.57	5,74		8,08 18,63	8,08 18,63				-	-	2,11 5,29	3,05 7,55	5,74 13,84	8,08 19.01	0
4	114,30				6,02	6,02		8,56 22,32	8,56 22,32		11,13		13,49	17,12 41.03	2,11	3,05 8.52	6,02	8,56 22,77	0
5	141,30				6,55 21,77	6,55 21,77		9,53	9,53		12,70 40,28		15,88 49,11	19,05 57,43	2,77 9,67	3,40	6,55	9,53	0
6	168,30				7,11 28,26	7,11 28.26		10,97 42,56	10,97		14,27 54,20		18,26 67,56	21,95 79,22	2,77	3,40	7,11 28.83	10,97	0
8	219,10		6,35	7,04 36.81	8,18 42,55	8,18 42,55	10,31 53.08	12,70 64,64	12,70 64,64	15,09 75,92	18,26 90,44	20,62	23,01 111,27	22,23	2,77	3,76	8,18	12,70	0
10	273,10		6,35	7,80 51,03	9,27	9,27	12,70 81,55	12,70 81,55	15,09 96,01	18,26	21,44	25,40	28,58	107,92 25,40	3,40	4,19	9,27	65,95 12,70	0
12	323.90		6,35 49,73	8,38 65.20	9,53	10,31	14,27	12,70 97,46	17,48 132.08	114,75 21,44 159,91	133.06	155,15 28,58	172,33	155,15 25,40	3,96	28.34 4,57	9,52	12,70	0
14	355,60	6,35 54,69	7,92 67,90	9,53 81,33	9,53 81,33	11,13 94,55	15,09 126,71	12,70 107.39	19,05	23,83 194,96	186,97 27,79 224,65	31,75	238,76 35,71	186,97	31,89	36,73 4,78	75,32	99,43	0
16	406,40	6,35 62,64	7,92 77,83	9,53 93,27	9,53 93,27	12,70 123,30	16,66 160,12	12,70 123,30	21,44 203,53	26,19 245,56	30,96 286.64	253,56 36,53 333,19	281,70 40,49		35,06 4,19 42,41	42,14			0
18	457.00	6,35 70,57	7,92 87,71	11,13 122,38	9,53	14,27	19,05	12,70	23,88	29,36	34,93	39,67	365,35 45,24		4,19	48,26			0
20	508.00	6,35	9,53	12,70	9,53	155,80	205,74	139,15	254,55	309,62	363,56	408.26	459,37 50,01		47,77	54,36 5,54			0
22	559.00	78,55 6,35	9,53	155,12	9,53	183,42	247,83	155,12	311,17 28,58	381,53	41,49	508,11 47,63	564,81 53,98		60,46 4,78	70,00 5,54			0
24	610,00	6,35	9,53	171,09	9,53	17,48	294,25	171,09	373,83	451,42 38,89	527.02 46,02	600,63 52,37	672,26 59,54		66,57 5,54	77,06 6,35			0
26	660.00	7,92	141,12	209,64	9,53	255,41	355,26	187,06	442,08	547,71	640,03	720,15	808,22		84,16	96,37			0
28	711,00	7,92	12,70	15,88	9,53	-		12,70											0
30	762,00	7,92	12,70	271,21 15,88	9,53	-		218,69 12,70							6,35	7,92			0
32	813,00	7,92	12,70	292,18 15,88	9,53	17,48		12,70							120,72	150,36			0
34	864,00	7,92	12,70	312,15 15,88	9,53	342,91 17,48		12,70											0
36	914.00	7,92	12,70	15,88	9,53	364,90 19,05		12,70											0,
38	965.00	176,96	282,27	351,70	212,56 9,53	420,42		12,70											0,
40	1016.00				224,54 9,53			12,70											1.
42	1067,00				236,53 9,53			314,22 12,70			-	-	1						
	1007,00				248,52 9,53			330,19											1,

FIG. 6-21

HORIZONTAL CYLINDRICAL TANKS



Total volume = volume in 2 heads + volume in cylinder

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

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

$$K_1 = 2 \text{ b/D}$$
 $Z_0 = H_1/D$ $Z_0 = H_1/D$

where
$$\alpha$$
 is in radians

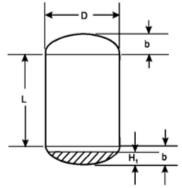
Partial volume =
$$1/6 \pi K_1 D^3 \times [f(Ze)] + 1/4 \pi D^2 L \times [f(Ze)]$$

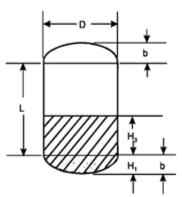
$$f(Zc) = \text{Horizontal cylinder coefficient (see Fig. 6-22)} \qquad \text{or} \qquad f(Zc) = \left(\frac{\alpha - \sin(\alpha) \times \cos(\alpha)}{\pi}\right)$$

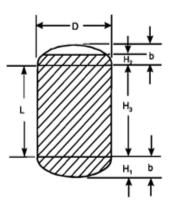
$$f(Ze) = Ellipsoidal coefficient (see Fig. 6-23)$$
 or $f(Ze) = -\left(\frac{H_1}{D}\right)^2 \times \left(-3 + \frac{2H_1}{D}\right)$

For elliptical 2:1 heads, b = 1/4 D, $K_1 = \frac{1}{2}$

VERTICAL CYLINDRICAL TANKS







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

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

 $K_1 = 2 b/D$

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

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

Annexe02

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

100		22	72	4	12	20	100	-		20
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
				20.703040.47040.470		74.74 modules moderns		000000000000000000000000000000000000000	Carron Carron Court	-,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
. 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
V6294	(1) A C C C C C C C C C C C C C C C C C C	2017-1000A-0-0000000	CHOOSE AND SOMEON	14.00.000.000.000	Indicated by the book	21151000000-00000	127450435359179.24°	10021 0005 000000	ACC 2004/03/03/03/03	ACCESSORS (1270)
. 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
100000			20002 2000 (1700)	200 m 200 200 200	100000000000000000000000000000000000000		500000000000000000000000000000000000000	95	V-0000	UH000413/54/10/04-1-
.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)

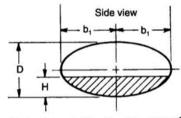
Coefficients for Partial Volumes of Horizontal Cylinders, f(Zc)

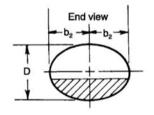
Zc	0	1	2 2	3	4	5 5	6	.7	8	9
. 50	. 5000 00	. 5012 74	. 5025 48	. 5038 21	. 5050 94	. 5063 67	. 5076 40	. 5089 13	. 5101 86	. 5114 58
. 51	. 5127 31	. 5140 05	. 5152 78	. 516551	. 5178 24	. 5190 97	.520369	. 5216 42	. 5229 14	. 5241 86
. 52	. 5254 59	. 5267 31	. 5280 03	. 5292 75	. 5305 47	. 5318 18	. 5330 90	. 5343 62	. 5356 33	. 5369 04
. 53	.538175	. 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	.588835	.590096	.591355	.592616	.593875	.595134	.596392	.597650	.598908	.600166
.58	.601423	.602680	.603937	.605192	.606447	.607702	.608956	.610210	.611463	.612717
.59	.613970	. 6152 22	. 6164 74	. 6177 26	.6189 76	. 6202 26	. 6214 76	. 6227 25	.623974	. 6252 22
	626470								ene (100	
.60	.626470	.627718	.628964	.630210	.631455	.632700	.633944	.635189	.636432	.637675
.61	.638918	.640160	.641401	.642641	.643881	.645121	.646360	.647598	.648836	.650074
. 62	. 6513 10	. 6525 45	. 6537 80	. 6550 15	. 6562 49	. 6574 81	.658714	. 6599 46	. 6611 77	. 6624 07
.63	.663637	.664866	.666095	.667322	.668549	.669775	.671001	.672226	.673450	.674674
.64	.675896	.677119	.678340	.679561	.680781	.681999	.683217	.684434	.685650	.686866
.65	.688082	.689295	.690508	.691720	.692932	.694143	.695354	.696562	.697772	.698979
.66	.700186	.701392	.702597	.703802	.705005	.706207	.707409	.708610	.709809	.711008
. 67	. 7122 05	. 7134 02	.7145 99	. 7157 93	.7169 87	. 7181 80	.719373	. 7205 63	. 7217 53	. 7229 42
. 68	.7241 31	. 7253 18	. 7265 05	. 7276 90	. 7288 74	.730058	. 7312 40	. 7324 22	.733603	. 7347 82
. 69	. 7359 61	. 7371 37	.738313	. 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	.759297	.760452	.761605	.762758	.763909	.765059	.766209	.767356	.768502	.769648
. 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	.793400	.794517	.795632	.796747	.797859	.798969	.800078	.801186	.802291	.803396
.75	.804499	.805600	.806701	.807800	.808898	.809993	.811088	.812180	.813271	.814361
.76	.8154 50	.816537	.8176 22	. 8187 06	.819788	.820869	. 8219 47	.823024	. 8241 00	. 8251 75
.77	.826247	.827318	.828387	.829454	.830520	.831584	.832647	.833708	.834767	.835824
.78	.836880	.837934	.838987	.840037	.841085	.842133	.843178	.844221	.845263	.846303
. 79	. 8473 41	. 8483 78	. 8494 13	. 8504 46	. 8514 76	. 8525 06	. 8535 32	. 8545 57	. 8555 81	. 8566 02
	057522	050620	050455	040440	0.51.500			061701		0.55700
.80	.857622	.858639	.859655	.860668	.861680	.862690	.863698	.864704	.865708	.866709
.81	.867710	.868708	.869704	.870698	.871690	.872679	.873667	.874653	.875636	.876618
.82	.877597	.878575	.879550	.880523	.881494	.882462	.883428	.884393	.885354	.886314
.83 .84	.887272 .896725	.888227 .897657	.889180 .898586	.890131 .899514	.891080 .900440	.892027 .901362	.892971 .902283	.893913 .903201	.894853 .904116	.895789 .905029
		1057057		.077514				1703201	1704110	.703027
. 85	. 9059 39	. 9068 47	. 9077 54	. 9086 57	. 9095 57	. 9104 55	. 9113 50	. 9122 44	. 9131 34	. 9140 21
.86	.914906	.915788	.916668	.917544	.918419	.919291	.920159	.921025	.921888	.922749
.87	.923607	.924461	.925314	.926164	.927009	.927853	.928693	.929531	.930367	.931198
.88	.932028	.932853	.933677	.934497	.935313	.936128	.936938	.937747	.938551	.939352
. 89	. 9401 50	. 9409 46	.941738	. 9425 26	. 9433 12	. 9440 95	. 9448 74	. 9456 49	. 9464 21	. 9471 90
.90	.947956	.948717	.949476	.950232	.950983	.951732	.952477	.953218	.953957	.954690
.91	.955421	.956148	.956871	.957590	.958306	.959019	.959727	.960431	.961133	.961829
.92	.962522	.963211	.963896	.964577	.965253	.965927	.966595	.967260	.967919	.968576
.93	.969228	.969876	.970519	.971158	.971792	.972422	.973048	.973669	.974285	.974897
.94	.975504	.976106	.976704	.977297	.977885	.978467	.979045	.979618	.980187	.980750
.95	.981308	.981859	.982407	.982948	.983485	.984015	.984541	.985060	.985573	.986081
.96	.986583	.987080	.987568	.988053	.988530	.989001	.989466	.989924	.990375	.990821
.97	.991258	.991690	.992114	.992530	.992939	.993340	.993733	.994119	.994497	.994866
.98	.995227	.995579	.995923	.996257	.996581	.996896	.997200	.997493	.997777	.998048
.99	.998308	.998555	.998788	.999008	.999212	.999400	.999571	.999721	.999849	.999947
1.00	1.000000		4.4.47 5.7		15.15		** * * * * * * * * * * * * * * * * * * *			

FIG. 6-23

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

GENERAL ELLIPSOID





Total volume of ellipsoid = 1/6 π K₁K₂ D³

Partial Volume = 1/6 π K₁K₂ D³ [f(Ze)]

K₁ = 2b₁/D K₂ = 2b₂/D

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

Ze	0	.1	2	- 3 -	4	5	6	7	8	9
.00	.000000	.000003	.000012	.000027	.000048	.000075	.000108	.000146	.000191	.000
.01	.000298	.000360	.000429	.000503	.000583	.000668	.000760	.000857	.000960	.001
.02	.001184	.001304	.001431	.001563	.001700	.001844	.001993	.002148	.002308	.002
.03	.002646	.002823	.003006	.003195	.003389	.003589	.003795	.004006	.004222	.004
.04	.004672	.004905	.005144	.005388	.005638	.005893	.006153	.006419	.006691	.006
.05	.007250	.007538	.007831	.008129	.008433	.008742	.009057	.009377	.009702	.010
.06	.010368	.010709	. 011055	.011407	.011764	.012126	.012493	.012865	.013243	.013
.07	.014014	.014407	.014806	.015209	.015618	.016031	.016450	.016874	.017303	.017
.08	.018176	.018620	.019069	.019523	.019983	.020447	.020916	.021390	.021869	.022
.09	.022842	.023336	.023835	.024338	.024847	.025360	.025879	.026402	.026930	.027
.10	.028000	.028542	.029090	.029642	.030198	.030760	.031326	.031897	.032473	.033
.11	.033638	.034228	.034822	.035421	.036025	.036633	.037246	.037864	.038486	.039
.12	.039744	.040380	.041020	.041665	.042315	.042969	.043627	.044290	.044958	.045
.13	.046306	.046987	.047672	.048362	.049056	.049754	.050457	.051164	.051876	.052
.14	.053312	.054037	.054765	.055499	.056236	.056978	.057724	.058474	.059228	.059
.15	.060750	.061517	.062288	.063064	.063843	.064627	.065415	.066207	.067003	.067
.16	.068608	.069416	.070229	.071046	.071866	.072691	.073519	.074352	.075189	.076
.17	.076874	.077723	.078575	.079432	.080292	.081156	.082024	.082897	.083772	.084
.18	.085536	.086424	.087315	.088210	.089109	.090012	.090918	.091829	.092743	.093
.19	.094582	.095507	.096436	.097369	.098305	.099245	.100189	.101136	.102087	.103
.20	.104000	.104962	.105927	.106896	.107869	.108845	.109824	.110808	.111794	.112
.21	.113778	.114775	.115776	.116780	.117787	.118798	.119813	.120830	.121852	.122
.22	.123904	.124935	.125970	.127008	.128049	.129094	.130142	.131193	.132247	.133
.23	.134366	.135430	.136498	.137568	.138642	.139719	.140799	.141883	.142969	.144
.24	.145152	.146248	.147347	.148449	.149554	.150663	.151774	.152889	.154006	.155
.25	.156250	.157376	.158506	.159638	.160774	.161912	.163054	.164198	.165345	.166
.26	.167648	.168804	.169963	.171124	.172289	.173456	.174626	.175799	.176974	.178
.27	.179334	.180518	.181705	.182894	.184086	.185281	.186479	.187679	.188882	.190
.28	.191296	.192507	.193720	.194937	.196155	.197377	.198601	.199827	.201056	.202
.29	.203522	.204759	.205998	.207239	.208484	.209730	.210979	.212231	.213485	.214
.30	.216000	.217261	.218526	.219792	.221060	.222331	.223604	.224879	.226157	.227
.31	.228718	.230003	.231289	.232578	.233870	.235163	.236459	.237757	.239057	.240
.32	.241664	.242971	.244280	.245590	.246904	.248219	.249536	.250855	.252177	.253
.33	.254826	.256154	.257483	.258815	.260149	.261484	.262822	.264161	.265503	.266
.34	.268192	.269539	.270889	.272240	.273593	.274948	.276305	.277663	.279024	.280
.35	.281750	.283116	.284484	.285853	.287224	.288597	.289972	.291348	.292727	.294
.36	.295488	.296871	.298256	.299643	.301031	.302421	.303812	.305205	.306600	.307
.37	.309394	.310793	.312194	.313597	.315001	.316406	.317813	.319222	.320632	.322
.38	.323456	.324870	.326286	.327703	.329122	.330542	.331963	.333386	.334810	.336
.39	.337662	.339090	.340519	.341950	.343382	.344815	.346250	.347685	.349122	. 350

Annexe03

FIG. 6-23 (Cont'd)

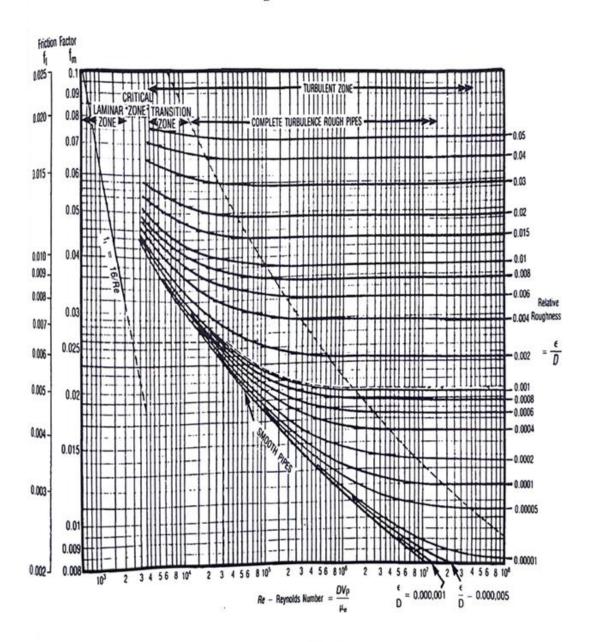
Table of Coefficients and Formulas for Determining Partial Volumes in Ellipsoids and Spheres

7.	Δ.	,		ents for Partial V	4	5		7	p	9
Ze	0,	1	2	,3		-	. 6		8	
.40	.352000	353441	.354882	.356325	.357769	.359215	.360661	.362109	.363557	.36500
.41	.366458	367910	.369363	.370817	.372272	.373728	.375185	.376644	.378103	.37956
.42	.381024	382486	.383949	.385413	.386878	.388344	.389810	.391278	.392746	.3942
.43	.395686	397157	.398629	.400102	.401575	.403049	.404524	.406000	.407477	.4089
.44	.410432	.411911	.413390	.414870	.416351	.417833	.419315	.420798	.422281	.42376
.45	.425250	A26735	.428221	.429708	.431195	.432682	.434170	.435659	.437148	.43863
.46	.440128	441619	.443110	.444601	.446093	.447586	.449079	.450572	.452066	.45356
							5 2 5 5 5 5 7 7			
.47	.455054	A56549	.458044	.459539	.461035	.462531	.464028	.465524	.467021	.46851
.48	.470016	471514	.473012	.474510	.476008	.477507	.479005	.480504	.482003	.48359
.49	.485002	486501	.488001	.489501	.491000	.492500	.494000	.495500	.497000	.49850
	100000000000000000000000000000000000000			Destination	11 11 11 11	1000000	1500000000			
. 50	. 500000	. 501500	.503000	.504500	. 506000	.507500	.509000	.510499	.511999	.51349
.51	.514998	516497	.517997	.519496	.520995	.522493	.523992	.525490	.526988	.52848
.52	.529984	531481	.532979	.534476	.535972	.537469	.538965	.540461	.541956	.54345
	10 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	546440	.547934	.549428	2.00 (100 (100 (100 (100 (100 (100 (100 (.552414	547 (10.00)		.556890	
.53	.544946	1 44 25 44 44			.550921		.553907	.555399		.55838
.54	.559872	561362	.562852	.564341	.565830	.567318	.568805	.570292	.571779	.57326
	.574750	576325	.577719	.579202	500,605	592167	.583649	505120	506610	50000
.55		576235			.580685	.582167		.585130	.586610	.58808
. 56	.589568	591046	.592523	.594000	.595476	.596951	.598425	.599898	.601371	.60284
.57	.604314	.605784	.607254	.608722	.610190	.611656	.613122	.614587	.616051	.61751
.58	.618976	.620437	.621897	.623356	.624815	.626272	.627728	.629183	.630637	.63209
.59	.633542	.634993	.636443	.637891	.639339	.640785	.642231	.643675	.645118	.64655
	10000742	3054775	1020442	.057051	1007507	.040705	.042231	1045075	1045110	.04022
.60	.648000	.649439	.650878	.652315	.653750	.655185	.656618	.658050	.659481	.66091
.61	.662338	.663765	.665190	.666614	.668037	.669458	.670878	.672297	.673714	.67513
.62	.676544	.677957	.679368	.680778	.682187	.683594	.684999	.686403	.687806	.68920
.63	.690606	.692004	.693400	.694795	.696188	.697579	.698969	.700357	.701744	.70312
.64	.704512	.705894	.707273	.708652	.710028	.711403	.712776	.714147	.715516	.71688
65	710250	710614	.720976	722227	722505	725052	.726407	727760	.729111	72046
.65	.718250	.719614		.722337	.723695	.725052		.727760		.73046
.66	.731808	.733153	.734497	.735839	.737178	.738516	.739851	.741185	.742517	.74384
.67	.745174	.746500	.747823	.749145	.750464	.751781	.753096	.754410	.755720	.75702
.68	.758336	.759641	.760943	.762243	.763541	.764837	.766130	.767422	.768711	.76999
.69	.771282	.772563	.773843	.775121	.776396	.777669	.778940	.780208	.781474	.78273
.09	.771282	.//2505	.113843	.7/3121	.//0390	.///009	.7.78940	./80208	./814/4	./62/2
.70	.784000	.785259	.786515	.787769	.789021	.790270	.791516	.792761	.794002	.79524
.71	.796478	797712	.798944	.800173	.801399	.802623	.803845	.805063	.806280	.80749
						.814719				
.72	.808704	809912	.811118	.812321	.813521		.815914	.817106	.818295	.81948
.73	.820666	.821847	.823026	.824201	.825374	.826544	.827711	.828876	.830037	.83119
.74	.832352	833505	.834655	.835802	.836946	.838088	.839226	.840362	.841494	.84262
.75	.843750	.844873	.845994	.847111	.848226	.849337	.850446	. 851551	.852653	.85375
.76	.854848	855941	.857031	.858117	.859201	.860281	.861358	.862432	.863502	.86457
.77	.865634	866695	.867753	.868807	.869858	.870906	.871951	.872992	.874030	.87506
.78	.876096	877124	.878148	.879170	.880187	.881202	.882213	.883220	.884224	.88522
						.891155			.894073	
.79	.886222	.887216	.888206	.889192	.890176	.091133	.892131	.893104	.094073	.89503
.80	.896000	896958	.897913	.898864	.899811	.900755	.901695	.902631	.903564	.90449
	.905418	906340	.907257	.908171	.909082	.909988	.910891	.911790	.912685	.91357
.81										
.82	.914464	915348	.916228	.917103	.917976	.918844	.919708	.920568	.921425	.92227
.83	.923126	923971	.924811	.925648	.926481	.927309	.928134	.928954	.929771	.93058
.84	.931392	932196	.932997	.933793	.934585	.935373	.936157	.936936	.937712	.93848
	10000000	1 Street with		20000000	10040000	2540000000	333 march 1			
.85	.939250	940013	.940772	.941526	.942276	.943022	.943764	.944501	.945235	.94596
.86	.946688	947408	.948124	.948836	.949543	.950246	.950944	.951638	.952328	.95301
.87	.953694	954370	.955042	.955710	.956373	.957031	.957685	.958335	.958980	.95962
.88	.960256	960887	.961514	.962136	.962754	.963367	.963975	.964579	.965178	.96577
	100,000,000	1.200 52 22 70		10 000000	Perchasia 1	and the second second	16 (242.55)			
.89	.966362	966947	.967527	.968103	.968674	.969240	.969802	.970358	.970910	.97145
.90	.972000	972538	.973070	.973598	.974121	.974640	.975153	.975662	.976165	.97666
.91	.977158	977647	.978131	.978610	.979084	.979553	.980017	.980477	.980931	.98138
.92	.981824	982263	.982697	.983126	.983550	.983969	.984382	.984791	.985194	.98559
.93	.985986	986374	.986757	.987135	.987507	.987874	.988236	.988593	.988945	.98929
.94	.989632	989968	.990298	.990623	.990943	.991258	.991567	.991871	.992169	.99246
	557652			223023			27.207			.,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
.95	.992750	993032	.993309	.993581	.993847	.994107	.994362	.994612	.994856	.99509
.96	.995328	995556	.995778	.995994	.996205	.996411	.996611	.996805	.996994	.99717
	.997354	997526	.997692	10.00		.998156			.998569	
.97	10.00			.997852	.998007		.998300	.998437		.99869
.98	.998816	998931	.999040	.999143	.999240	.999332	.999417	.999497	.999571	.99964
.99	.999702	999758	.999809	.999854	.999892	.999925	.999952	.999973	.999988	.99999
	I so a second									

6-23

Diagramme de MOODY

Coefficient de frottement f pour n'importe quelle espèce ou taille de tuyau « Courbes pour la rugosité Relative $\frac{\Box}{D}$ 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- <mark>V</mark> 2/2g
-tuyau entrant	1.00 $\frac{\sqrt{2}}{2g}$
-connexion arrondie	$0.05 - \frac{\sqrt{2}}{2g}$
Conduite à réservoir (perte à la sortie)	1.00 ^V 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	$\binom{1}{c\sqrt{2}}$ 1) $\frac{V_2^2}{2g}$
Convergent brusque	$k_c \frac{V_2^2}{2g}$
Coudes, accessoires, vannes, clapets Quelques valeurs courantes de K sont: 45°, coude	$k = \frac{V^2}{2g}$

ASTM acier au carbone

carbon steel

ASTM A 53 / A 53M-99b

Cette spécification covera les tables sons soudure et soudés en ocier, noir et golvanisé de NPS 1/6" à 26" inclus et d'épodisseur conforme ou tableau troir la spécification), les tables pourront être fournis suivant les types et les grades :

Type F: FBW Soudure bord à bard opins passage de la trie dans un lour - Nuance A Type E: EBW Soudure par atsatance électrique - Nuances A et B Type S: Sans soudure - Nuances A et B

COMPOSITION CHIMIQUE MAXI EN %

Types	Nuonces	C	Ma	S	7	CId	GIG	Mold	ИМ	VId
	A	0,25	0,95	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
	8	0,30	1,20	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
	A			0,045						
11	8			0,045						
1				0,045						

jaille laneur de ces cinq éléments combinés ne doit pas dépasser 1 %

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

Types	Numces	febrication	Résistance mini	erupture mum	Limite 6	icstque nun	Alorganeri micinum
"-			ы	MPo	ы	MPo	m1, sr?
15	٨	Acies Marin ou bur électique ou anygène basique	42,0	330	30,0	205	625,000 A ⁰³ /V ⁶⁹
0	A		48,0	330	30,0	205	(Vor ASTM)
	В		60,0	415	35,0	240	1

TOYEDANCES

OLLOW ICES			
	Diamatre nomited s 1 1/2 (1,900° CO)	11/64	D,40mm
Sur diomètre activiour	Diamatre nominal > 2 [2,375° CO]	212	
Sur apotoseur		-12,5%	
Surmona		110%	

PRESSION D'ESSAI HYDRAUUQUE : voir spécification détailée de la norme.

DIMENSIONS: voir pages 40 at sulvantes

TIS TROUVAY & CAUMN - PIPING EQUIPMENT 2001

ASTM A 53 / A 53M-99b

This specification as was seamless and webbed block and had a ped galvanized shall pipe in NTS 1/8 to 26 inclusive with nonlinal wall into has so given in tables pas the standard.

Tipe may be furnished in the following types and grades:

Type F: Fumocebus welled FBM - Grade A Type E: Electric resistance welded (BM) - Grades A and B

Type S: Searcless - Grodes A and B

CHEMICAL REQUIREMENTS MAXI IN %

Type	Godz	C	Ma	5	1	GH	GH	Mold	MA	AM
	A	025	0.95	0.045	0.05	0.40	0.40	0.15	0.40	0.03
1	8	0.30	1.20	0.045	0.05	0.40	0.40	0.15	0.40	0.03
								0.15		
1								0.15		
B								0.15		

(a) These three broads combined shall not account 1 %

TENSIIE DECLEDEMENTS

Тура	Groda	Marixto	Alintrum lansle storgth		Allistown yeald strongth		Althorn	
711-			ы	Ma	H	Mb	h 2, per cent	
ı	A	Open hearth or electric furnacia or basic caygen	48.0	330	30.0	205	675.000 A ⁰² /U ⁰³ See ASTM standard)	
111	A		48.0	330	30.0	205		
	8		60.0	415	35.0	240		

TOIFRANCES

	NSS 1 1/2 (1.900° CO) and under	1 1/64°	[0.40 m]
Outside diamatar (spee body)	NFS 2 (2.375° CO) and over	112	
On Hickory		-125%	
On weight		110%	

HYDROSTATIC TEST PRESSURE: see standard detailed specification.

DIMENSIONS: soo pages 40 and following

PPINGEOUPWENT 2001 - TROUVAY & CALMIN TO 13



