



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



Department of Process Engineering

The Date

Ref :...../U.M/F.S.T/2023

قسم هندسة الطرائق

التاريخ :

رقم : / ج.م.ك.ع.ت//2023

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DEMASTER ACADEMIQUE

Filière : Industries pétrochimiques

Option: Génie pétrochimique

Thème

**Récupération des gaz torchés au complexe GP1/Z durant le
démarrage section de réfrigération**

Présenté par

1- Layadi Zahia

2- Boubakour Salima

Soutenu le/.../ 2023 devant le jury composé de :

Président :	Nom et Prénom	Grade	Université de
Examineur :	Nom et Prénom	Grade	Université de
Rapporteur :	Dr. Merzouk Saidj	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements :

Nous exprimons toute nos reconnaissances et gratitude à l'administration et l'ensemble du corps enseignant de l'université de Mostaganem pour leurs efforts à nous garantir la continuité et l'aboutissement de ce programme de Master.

Un grand merci aussi au chef de département de génie des procédés ainsi qu'à l'ensemble de nos enseignants qui nous ont orienté et encouragé.

Nous tenons à remercier vivement notre encadreur Merzouk Saidj, qui nous a aidé à réaliser ce modeste travail, mes amis qui m'ont aidé de proche ou de loin.

Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont contribué à la réussite de ce travail.

Dédicaces

Mes dédicaces vont à :

Mon père ;

Ma mère ;

Mes enfants ;

Mes frères et sœurs ;

Ma belle-famille ;

Tous mes amis ;

Zahia

Salima

Résumé

Le présent travail, intitulé « Récupération des gaz torchés lors du démarrage de la section de réfrigération » a été réalisé au niveau du complexe GP1/Z .

Notre étude est basée sur la récupération du propane réfrigérant torché lors du démarrage de la section réfrigération après un arrêt (déclenchement).

Dans ce but nous avons réparti notre travail comme suit :

- Présentation du complexe.
- Estimation du volume torché.
- Proposition d'une solution de récupération.
- Dimensionner la ligne de récupération
- Evaluer la rentabilité d'une telle réalisation par une étude technico-économique.
- En conclusion, la réalisation de cette opération permettra de récupérer **379,19 T/an** de propane torché, il permettra d'éliminer une quantité de **34,47 T/an** de **CO₂** qui se brûlait à l'atmosphère, et contribue à la réduction à effet de serre et les recommandations nécessaires.

L'objectif de notre travail est de trouver une solution faisable théoriquement, convenable avec le procédé et acceptable économiquement.

Mot clé:

GPL – température – pression – torche – polluant

Abstract

The present study, entitled "Recovery of flared gases during start-up of the refrigeration section", was carried out at the GP1/Z complex.

Our study is based on the recovery of flared refrigerant propane during start-up of the refrigeration section after a shutdown (trip).

To this end, we have divided our work as follows:

- Presentation of the complex.
- Estimation of the volume flared.
- Proposal for a recovery solution.
- Sizing the recovery line.
- Evaluate the profitability of such a project through a technical-economic study.

In conclusion, the implementation of this operation will make it possible to recover 379.19 T/year of flared propane, eliminating a quantity of 34.47 T/year of CO₂ that was being burned in the atmosphere, and contributing to the reduction of the greenhouse effect and the necessary recommendations.

The aim of our work is to find a solution that is theoretically feasible, suitable with the process and economically acceptable.

Key words:

LPG - temperature - pressure - flare - pollutant

تم تنفيذ هذا العمل بعنوان "استعادة الغازات المشتعلة أثناء بدء تشغيل قسم التبريد" على مستوى مجمع GP1 / Z. تعتمد دراستنا على استعادة غاز البروبان المشتعل أثناء بدء تشغيل قسم التبريد بعد إيقاف التشغيل (التعثر). وتحقيقاً لهذه الغاية قمنا بتقسيم العمل على النحو التالي

➤ عرض للمجمع.

➤ تقدير حجم المشتعل.

➤ اقتراح حل الاسترداد.

➤ بعد خط الاسترداد

➤ تقييم ربحية هذا الإنجاز من خلال دراسة فنية اقتصادية.

في الختام ، سيسمح تنفيذ هذه العملية باستعادة 9 طنًا / سنويًا من البروبان المشتعل ، وسيتيح التخلص من كمية 34.47 طنًا / سنويًا من ثاني أكسيد الكربون التي كانت تحترق في الغلاف الجوي ، ويساهم في تقليل الدفينة والتوصيات اللازمة.

الغاية من عملنا هو إيجاد حل عملي من الناحية النظرية، مناسب للعملية ومقبول اقتصادياً

كلمة مفتاحية:

-غاز البترول المسال – درجة الحرارة – ضغط – شعلة-ملوث

Sommaire

Introduction Générale	01
Chapitre I : Description de la section réfrigération	
I.1. Principales installation du complexe.....	04
I.2. Description du procédé de fabrication.....	06
I .2.1 Zone de stockage d'alimentation	06
I .2.2 Zone de fabrication	06
I.2.3 Zone des utilités	08
I.2.4 Zone de stockage de produit fini	08
I.3. Section réfrigération.....	08
I.3.1. Principe.....	09
I.3.2.La capacité de réfrigération.....	09
I.3.3. Les équipements principaux.....	10
I.3.4. Description du procédé.....	10
I.3.5. Dispositif anti-Pompage.....	13
I.3.6 Composition du propane réfrigérant.....	13
I.3.7. Procédure de démarrage de la section de réfrigération.....	14
Chapitre II : les équipements de torchage	
II.1 Introduction.....	17
II.2 Définitions.....	18
II.2.1 La torche.....	18
II.2.2 Le gaz torché	18
II.3 Composition chimique de gaz torchés.....	18
II.4 Les réactions de combustion.....	18
II.4.1 Combustion complète.....	18
II.4.2 Combustion incomplète.....	19

II.5 Les sources de gaz torchés.....	19
II .6 Impact de gaz torchés.....	19
II .6.1 Impact environnemental.....	20
II .6.2 Impact sur les êtres humains.....	21
II .7 Fonctionnement des torches.....	21
II.8 Raisons de torchage.....	23
II.9 Types de torchage.....	24
II .9.1 Torchage continu.....	24
II .9.2 Torchage opérationnel.....	24
II.9.3 Torchage d'arrêt et de démarrage des unités de production.....	24
II.9.4 Torchage d'urgence.....	24
II.10 problématique	25
Chapitre III : Calculs et résultats	
III.1 Présentation du problème.....	26
III.2 Calcul du volume de propane torché.....	26
III.2. 1 Les arrêts.....	26
III.2.2 Calcul théorique.....	27
III .2.3 Volume du cylindre horizontal.....	28
III.2.4 La quantité annuelle de propane torché.....	33
III.3 Sélection de la conduite de récupération du propane.....	35
III.3.1 Equipements.....	36
III.3.2 Calcul théorique.....	36
III.3.3 Longueur de ligne.....	39
III.3.4 Théorie de calcul.....	41
III.3.5 La pression d'arrivé	44
Conclusion Générale	46
Référencées	
Annexe	

Liste des figures :

Figure I. 1 : Les sphères de la charge d'alimentation du GPL1/Z.....	04
Figure I.2 : Les sphères de stockage des produits finis.....	05
Figure I.3 : Les bacs de stockage des produits finis du GPL1/Z.....	05
Figure I.4 : Un système de réfrigération typique et le cycle thermodynamique.....	09
Figure I.5 : Compresseur centrifuge.....	12
Figure I.6 : Section de réfrigération.....	14
Figure II.1 Evolution de la récupération des gaz associés torchés (1970-2003)	17
Figure II.2 Combustion complète	19
Figure II.3 Combustion incomplète.....	19
Figure II.4 Concentration des principaux gaz à effet de serre.....	20
Figure II.5 Augmentation de la concentration du gaz carbonique.....	21
Figure II.6 Procédé de torchage (Salle de contrôle) schéma A	22
Figure II.7 Procédé de torchage (Salle de contrôle) schéma B	23
Figure III.1 : Dimensions du ballon V-1006.....	29
Figure III.2 : Les pressions des trois ballons et le refoulement des compresseurs après l'arrêt.....	31
Figure III.3 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur au démarrage.....	32
Figure III.4 : section de B.O.G	35

Figure III.5 : Localisation de la ligne et collecteur de récupération.....	35
Figure III.6 : Longueur de la ligne train	39
Figure III.7 : Coude 90°.....	40
Figure III.8 Vanne de garde.....	40
Figure III .9 : coupe transversale de pipe.....	41

Liste des tableaux :

Tableau III.1 : Nombre d'arrêt par an.....	28
Tableau III.2 : Les différentes opérations effectuées au niveau des trains	30
Tableau III.3 : Composition du réfrigérant.....	41

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	navire Quais de chargement
Hb	Chaleur du réfrigérant quittant le Schiller
Hc	Chaleur du réfrigérant quittant le compresseur
He	Chaleur du réfrigérant entrant le Schiller
LPG	Liquéfié Petroleum Gaz
COV	Composé organique volatils
HAP	Hydrocarbures aromatique polycycliques

COS

CS

GES

V-1006 et V-1012

V-1531

V-1011

Coefficient d'occupation des sols

Compagnie de sécurisation

Gaz à effet de serre

Ballon accumulateur

Ballon tampon GN

Ballon d'aspiration



Introduction générale

Introduction générale

Le pétrole et le gaz sont des énergies fossiles qui se forment à partir de la décomposition de matières organiques au fond des océans.

L'Algérie est l'un des leaders producteurs exportateurs dans le monde du gaz pétrole liquéfié connu sous le terme de GPL. Il faut noter que ce dernier est un produit de moindre coût d'exploitation par rapport à d'autres sources d'énergies et réduit la pollution.

Soucieux d'une crise énergétique à l'avenir, chaque pays développe ses propres moyens de lutter contre toute forme de gaspillage d'énergie, c'est l'une des préoccupations essentielles des exploitants des complexe GP1Z.

Actuellement, les relevés de torchage (379 ,19 Tonne /an, mois de juin 2022) au sein du complexe GP1Z exigent plus d'attention et une prise de mesure sévère afin de minimiser ces pertes d'énergie.

Le complexe GP1Z est l'une des unités productrice de propane, butane et le mélange des deux (bu pro). Il possède deux sections de récupération pour les vapeurs du propane et du butane [1].

Ces sections de récupération sont équipées d'une gamme d'instruments et de main d'œuvre importante. La réalisation ainsi que la maintenance de ces sections nécessitent un investissement important, qui reste négligeable devant le produit récupéré et l'impact sur l'environnement.

Le principe de notre travail, qui s'inscrit dans le cadre de la période de stage , consiste à estimer la quantité de propane torché lors du démarrage de la section réfrigération et à étudier la possibilité de récupération cette quantité de matière.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres :

1. Le premier chapitre est réservé à une description de la section réfrigération.
2. Le deuxième chapitre traite les différents équipements de torchage

3. Au troisième chapitre, 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 en fin, le travail sera terminé par une conclusion générale qui récapitule les résultats les plus importants de cette étude et quelques perspectives.



CHAPITRE I :

Description de la section
réfrigération

Introduction

Le complexe de production GPL dénommé GP1Z ou "JUMBO GPL" de l'Entreprise Nationale SONATRACH est le dernier né des ensembles industriels de la zone d'Arzew. Il est situé entre la Centrale Thermique Mers El Hadjadj à l'Est et les complexes de GNL à l'Ouest. Le "JUMBO GPL" s'étend sur une surface de 120 hectares sur la bande de terre comprise entre la Route Nationale 11 et le bord de la Mer Méditerranée [2]. Le complexe a été construit dans le cadre d'un contrat clé en main avec Consortium Japonais IHI-CITON. Il a été réceptionné le 02 Septembre 1984.

Le complexe a pour mission de produire du Butane, propane et du mélange Butane / Propane à partir du GPL provenant du grand Sud Algérien : Complexe Hessi Messaoud, Hessi Rimmel, Ain Amenas etc. La capacité annuelle de production de l'usine est de 10.8 millions de Tonne par an.

Par sa situation géographique proche du marché et par ses capacités de production, le GP1Z fait occuper une place à la SONATRACH dans le marché International des GPL.

I. 1 Principales installations du complexe GP1Z

- 22 sphères de stockages de la charge d'alimentation GPL



Figure I. 1 : Les sphères de la charge d'alimentation du GPL1/Z

- 9 tranches de traitements du GPL dont trois nouvellement installés
- 1 sphère de stockage de la gazoline
- 4 sphères de stockage de produits finis à température ambiante (Propane et Butane)



Figure I.2 : Les sphères de stockage des produits finis

- 4 bacs de stockage de propane basse température
- 4 bacs de stockage de butane basse température



Figure I.3 : Les bacs de stockage des produits finis du GPL1/Z

- 1 station de pomperie l'eau de mer pour le réseau incendie
- 2 stations électriques alimentées par SONELGAZ
- 6 salles de contrôle
- 2 unités de liquéfaction des retours vapeurs « B.O.G » (Boil Of Gaz)
- 1 unité de neutralisation des eaux de rejet chimiques
- 1 unité de déshuilage
- 2 unités SIDEM de dessalement d'eau de mer
- 1 système de télésurveillance
- 1 rampe de chargement de camions
- 2 quais de chargement (D1 et D6) pouvant recevoir des navires
- 14 transformateurs permettant le réglage de la tension
- 6 générateurs assurant l'énergie de secours du complexe

- 8 salles de commutation

I .2 Description du procédé de fabrication

I .2.1 Zone de stockage d'alimentation

Cette zone comprend 22 sphères de stockage de gaz de pétrole liquéfié d'une capacité unitaire de 1000 mètres cubes. Ensuite, le GPL est transporté vers la zone de traitement par neuf (9) pompes centrifuges à une pression de refoulement de 30 Kg/cm² [3].

I .2.2 Zone de fabrication

Elle regroupe quatre sections :

A) Section Déshydratation

L'alimentation de la section se fait en GPL brut depuis la section de stockage de la Charge.

Le but de cette section est de réduire la teneur d'eau dissoute dans le GPL de 100 ppm à 5 ppm, pour éviter le problème de givrage dans les équipements au niveau de la section de réfrigération à basse température.

Le temps d'adsorption est de 36 h. Une fois le temps d'adsorption est terminé, la tour de veille est en ligne et la tour en cours d'utilisation entre en régénération pendant 19 [4].

La régénération est composée de plusieurs séquences :

- ❖ **Drainage** (durée 1h) : La vidange du sécheur se fait par l'injection du gaz naturel sous une pression de 20kg/cm². Le GPL restant est acheminé vers les sphères de charge.
- ❖ **Dépressurisation** (durée 30 min) : Afin de préparer la colonne à la séquence de réchauffage, il convient de réduire la pression du sécheur de 20 kg /cm² à 3 kg/cm² et cela se fait par l'évacuation de GN contenu dans le sécheur vers la section fuel gaz.
- ❖ **Réchauffage** (durée 11h) : Le réchauffage se fait par le GN chauffé dans le four à une température de 280°C, il passe dans le sécheur de haut en bas pour évaporer l'eau contenue dans les tamis moléculaires.
- ❖ **Refroidissement** (durée 5h) : Le propane est refroidit par le GN porté à une température de 12 à 45° C et une pression de 3kg/cm².
- ❖ **Pressurisation** (30min) : Avant le remplissage de la colonne par le GPL, il faut avoir sa pression de service qui est 3.5 kg/cm² à 20kg/cm² dans le but d'éviter le choc de la

différence de pression, cette opération se fait par l'introduction de GN à haute pression.

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

B) Section de séparation du GPL

Cette section assure la séparation du GPL en produits finis propane et butane commerciaux.

Elle comprend :

- Trois pré-chauffeurs
- Un fractionnateur
- Un déethaniseur
- Un dépentaniseur commun pour les six trains
- Un condenseur de tête de fractionnateur
- Un condenseur de tête de déethaniseur
- Un condenseur de tête de dépentaniseur
- Un rebouilleur de déethaniseur
- Un rebouilleur de dépentaniseur
- Les aéro-refroidisseurs de dépentaniseur
- Deux rebouilleurs de fractionnateur

C) Section réfrigération

Cette section est conçue dans le but de refroidir les produits finis à leur température de stockage. Soit (- 42°C) pour le propane et (- 9°C) pour le butane.

Ce refroidissement se fait en trois étages, l'étage HP (haute pression), étage MP (moyenne pression), et l'étage BP (basse pression). Le circuit du réfrigérant est une boucle fermée. On utilise du propane pur comme fluide réfrigérant.

D) Section huile chaude

La partie de 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.

Le circuit de l'huile est aussi une boucle fermée, les pompes en circulation aspirent l'huile du ballon d'expansion et le refoulent vers le four.

La température de l'huile entrant dans le four est 130°C.

La température de sortie d'huile de four est de 180°C [4].

1.2.3 Zone des utilités

Les utilités disponibles dans le complexe sont :

- Gasoil : il est utilisé pour le générateur de secours
- Gaz naturel : utilise comme combustible
- Azote : ballon d'azote, il y'a deux circuits : circuit gazeuse ; circuit l'azote
- Vapeur
- Air : elle est divisée en deux : air instrument ; air service
- Eau : l'eau distillée ; l'eau de refroidissement
- Méthanol : il est utilisé pour le dégivrage.

1.2.4 Zone de stockage de produit fini

▪ Section B.O.G (Boil of Gaz)

Cette section se compose de deux ensembles indépendants pour le propane et le butane, et son but est de reliquéfier les gaz d'évaporation provenant des différentes capacités de l'usine (bacs de stockage cryogéniques et des jetées D1 et M6 pendant le chargement navires), ils sont récupérés, liquéfiés par pressurisation au moyen d'un compresseur, refroidis à travers une batterie d'échangeur et renvoyés vers les bacs de stockage [5]. Il existe deux types de stockage

- Stockage à température ambiant
- Stockage à basse température

1.3 Section de réfrigération

La section de réfrigération est conçue pour fournir le froid nécessaire à la réfrigération du propane et butane commerciaux produits dans la section de séparation et pour assurer le service de condensation nécessaire pendant le fonctionnement du dé-ethaniseur.

Le procédé consiste à refroidir les produits finis à réfrigérer par un autre produit auxiliaire appelé agent réfrigérant tout en évaporant ce dernier, qui sera ensuite comprimé, condensé, et réutilisé. Finalement, ils sont réfrigérés jusqu'aux basses températures correspondantes aux points de saturation liquide au voisinage de la pression atmosphérique et les dirigés vers les bacs de stockage à basse température.

Les vapeurs résultantes de l'évaporation du propane réfrigérant sont collectées dans les trois ballons d'aspiration HP, MP et BP pour être aspirées par le compresseur centrifuge entraîné par une turbine à gaz dans la phase 1 et par un moteur électrique dans la phase 2et3,

et pour être ensuite condensée par aéro-réfrigérante et accumulées dans le ballon accumulateur.

1.3.1 Principe

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 est vaporisée. Cette vaporisation 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 et le réfrigérant absorbe la chaleur pendant le processus d'ébullition [6].

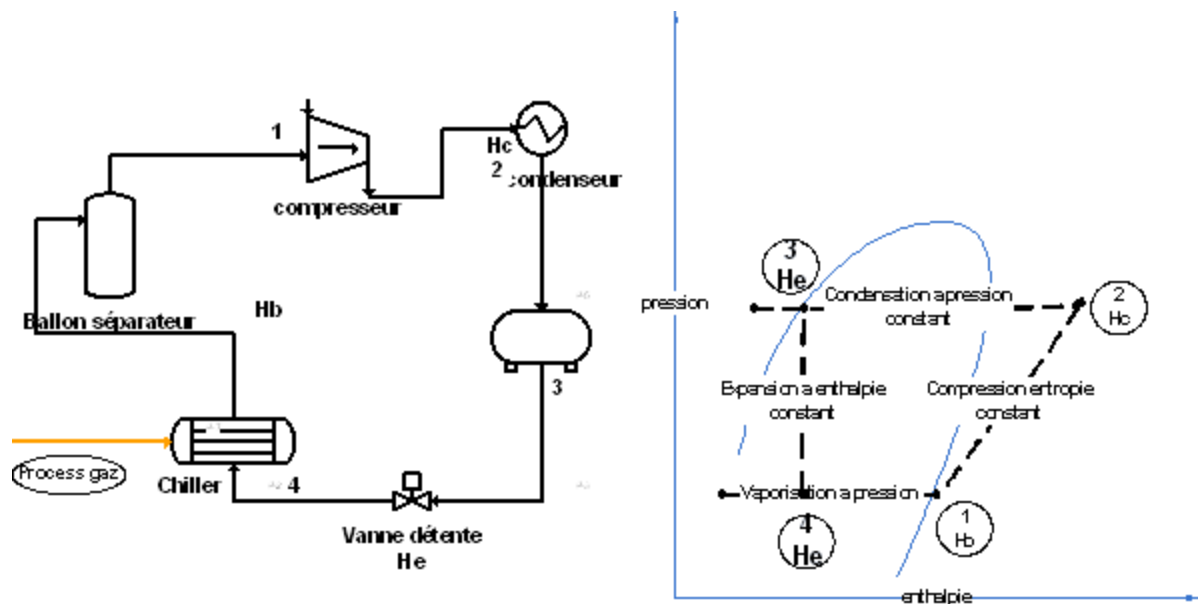


Figure I.4 : Un système de réfrigération typique et le cycle thermodynamique

1.3.2 La capacité de réfrigération

Le propane et butane produits par la section de séparation sont refroidis à 43°C par des aéro-réfrigérants puis envoyés à la section de réfrigération. C'est là où le propane produit est refroidi à -38°C et ensuite par détente dans le ballon de propane à la température d'équilibre sous la pression opératoire de 1,18 kg/cm² absolue. Le butane produit étant lui refroidi au maximum -19°C.

1.3.3 Les équipements principaux

a. Ballons

a.1 Ballons d'aspiration du compresseur

- ❖ 02-V-1006 : ballon haute pression.
- ❖ 02-V-1007 : ballons moyenne pression.
- ❖ 02-V-1008 : ballon basse pression.

Pendant le démarrage l'étage BP est sollicité par une charge de vapeur plus fort qu'en service normal. Le temps de rétention du liquide de 10 min pour la charge liquide maximale.

a.2 Accumulateur de propane 02-V-1006

Le volume du récipient est calculé pour pouvoir contenir la totalité de l'inventaire liquide de la section réfrigération, la tempe de rétention du liquide est de 17 min dans le cas de la charge de réfrigération maximale [1].

b. Compresseur

Le compresseur centrifuge (C1001) est une machine opérateur à trois étages utilise l'accélération du gaz par un impulseur pour créer une surpression. Le compresseur aspire le propane provenant des trois ballons d'aspiration puis il le refoule pour être condensé. Le compresseur est entraîné par une turbine à gaz.

c. Les échangeurs de chaleur

- ❖ Refroidisseurs de propane : (E-1021, E-1022, E-1023)
- ❖ Refroidisseurs de butane : (E-1024, E-1025, E-1026)
- ❖ Condenseur de propane : (E-1027), assure la condensation des vapeurs du propane réfrigérant provenant du compresseur

1.3.4 Description du procédé

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

a. Circuit de butane commercial

Le butane produit est refroidi dans l'aéro-réfrigérant E-1012 avant de parvenir 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 réfrigérant. De E-1024 le butane passe dans le refroidisseur secondaire E-1025, ou il est refroidi à -4°C par le propane réfrigérant de stade moyenne pression de la boucle du froid. De DE-1025, le butane s'écoule vers le refroidisseur final E-1026 associé à l'étage BP de la boucle du froid.

La température d'écoulement du butane est contrôlée à l'E-1026 en by passant plus ou moins le produit autour du refroidisseur. Le point de consigne **do** contrôleur de la température d'écoulement est ajusté par la température du fond du fractionnateur dans la section de séparation [1].

b. Circuit de propane commercial

Le propane commercial sortant de la section de séparation sortant est refroidit dans l'aéro-réfrigérants E-1011 avant de parvenir dans la section de réfrigération.

Le propane entrant dans la section est d'abord refroidit à 21°C par le refroidisseur primaire de propane E1021 associé à l'étage HP du circuit réfrigérant.

Le propane pré-refroidi entre alors dans l'unité de garde de la section de déshydratation (sécheur de garde), pour assurer un séchage complet du produit à 1 ppm, avant de pénétrer dans la section froide de l'unité.

A la sortie de E-1023, le début de commercial produit est étranglé par la vanne de contrôle de débit du produit refroidit qui maintient une contre- pression suffisant dans la ligne, afin d'éviter une détente prématurée du produit celle -ci se faisant dans le ballon de détente de propane V-1013. La vapeur du V-1013 est envoyée à la section de ré-liquéfaction des vapeurs (BOG) où elle est comprimée, condensée puis envoyée aux réservoirs de la section de stockage à basse température. Le propane liquide du V-1013, qui est plus ou moins à la température de son point de bulle atmosphérique.

Le transfert du propane commercial vers la section de stockage sous pression, se fait aussi à la sortie de l'unité de déshydratation de garde. Le propane est soutiré d'une manière intermittente [1].

c. Circuit du fluide réfrigérant

Le fluide réfrigérant des six refroidisseurs est fourni par un circuit fermé de propane, fonctionnant sous trois niveaux de pression distincts [1].

Le choix de ce type de compresseur C-1001 est judicieux car le compresseur centrifuge est celui exigé quand les taux de compression sont élevés à certains débits, les compresseur centrifuges présentent de faibles vibrations en fonctionnement normal relativement à d'autres types de compresseurs [6].

Notre compresseur propane est compresseur centrifuge à trois stade de type : RS2457

Le stade BP fournit la température la plus basse, soit -41°C, et fonctionne légèrement au-dessus de la pression atmosphérique à l'aspiration.

Le stade MP fournit un niveau de température intermédiaire de -8°C, et constitue la première alimentation latérale du compresseur C-1001.

Le stade HP fournit un niveau de température le plus élevé du fluide réfrigérant soit 18°C et constitue la deuxième alimentation latérale de C-1001.

Le propane (C3) est aspiré du premier stade et passe dans le premier impulseur, sa pression atteindra celle du deuxième stade. Après le passage dans la première roue à diaphragmes, il se mélange au gaz aspiré du deuxième stade et passe dans le deuxième impulseur. Cette opération se répète dans le troisième stade.

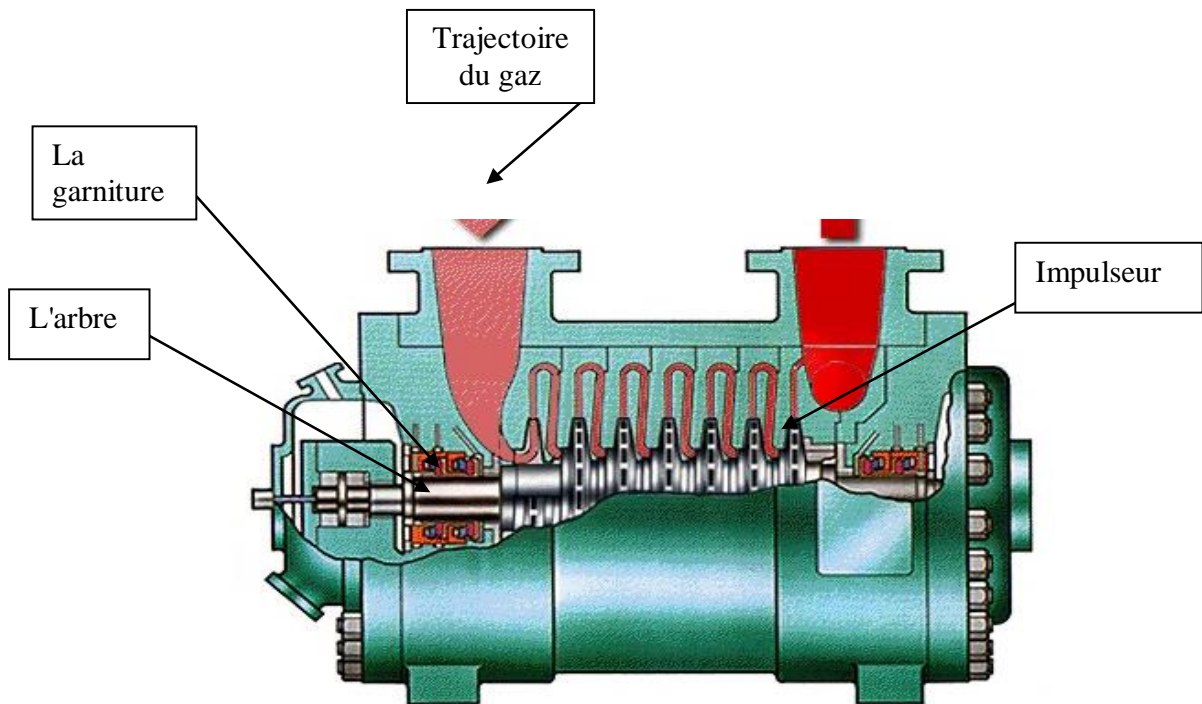


Figure I.5 : Compresseur centrifuge

La pression d'aspiration du compresseur maintenue légèrement au-dessus de la pression atmosphérique, est contrôlée dans V-1008 par réglage de la vitesse de compresseur, c'est-à-dire de la turbine à gaz, ou par recyclage du gaz refoulé. L'alarme basse pression ainsi que le déclenchement très basse pression sont prévues pour éviter de mettre le stade basse pression sous vide.

Le débit de vapeur du propane réfrigérant est mesuré à l'aspiration du compresseur et comparé à un minimum acceptable, pour éviter un pompage dû à la différence de pression à travers le stade BP. Au besoin, le gaz refoulé est recyclé sous contrôle de la pression différentielle. Le gaz surchauffé recycle est refroidi avec du propane liquide, repris directement dans V-1009 sous contrôle de température du gaz aspiré.

1.3.5 Dispositif anti pompage

Le compresseur à propane est équipé d'un dispositif de protection contre le pompage qui agit sur une vanne de recyclage du débit minimum à l'aspiration.

Le débit total précis du gaz passant par chaque étage est déterminé et comparé à une valeur mini recommandé. Lorsque le début effectif tombe au- dessous de ce minimum recommandé, qui est le point de consigne du contrôleur du début anti-pompage, la vanne de recyclage du gaz s'ouvre automatiquement pour le mini début.

A l'étage BP, la protection anti-pompage est obtenue par un contrôleur de pression différentielle, qui détermine la différence de pression maxi autorisée dans l'étage BP, par rapport à une vitesse de rotation donnée du compresseur, en mesurant le débit à l'aspiration du compresseur. Le débit d'aspiration est augmenté, au besoin, en ouvrant la vanne de recyclage des gaz.

A tous les étages, le débit chaud recyclé doit être refroidi et ceci est obtenu par injection de propane liquide sous contrôle de la température du gaz aspiré dans les étages en question. Pendant le fonctionnement normal, un recyclage du gaz pour l'anti-pompage n'est pas nécessaire. Cependant, ce recyclage peut devenir nécessaire e travaillant avec un faible débit, en fonction des charge de chaque étage [6].

1.3.6 Composition du propane réfrigérant

Les teneurs en éthane et en butane contenus dans le réfrigérant sont respectivement prévus à 1% et 0,18% molaire pour le compresseur.

Les teneurs en éthane : inférieur à 4,8% molaire.

L'éthane, l'impureté légère est purgé automatiquement par le récupérateur de propane installé sur le réservoir à propane, tandis que le butane, l'impureté lourde n'est éliminé que par l'opération de vide-vite.

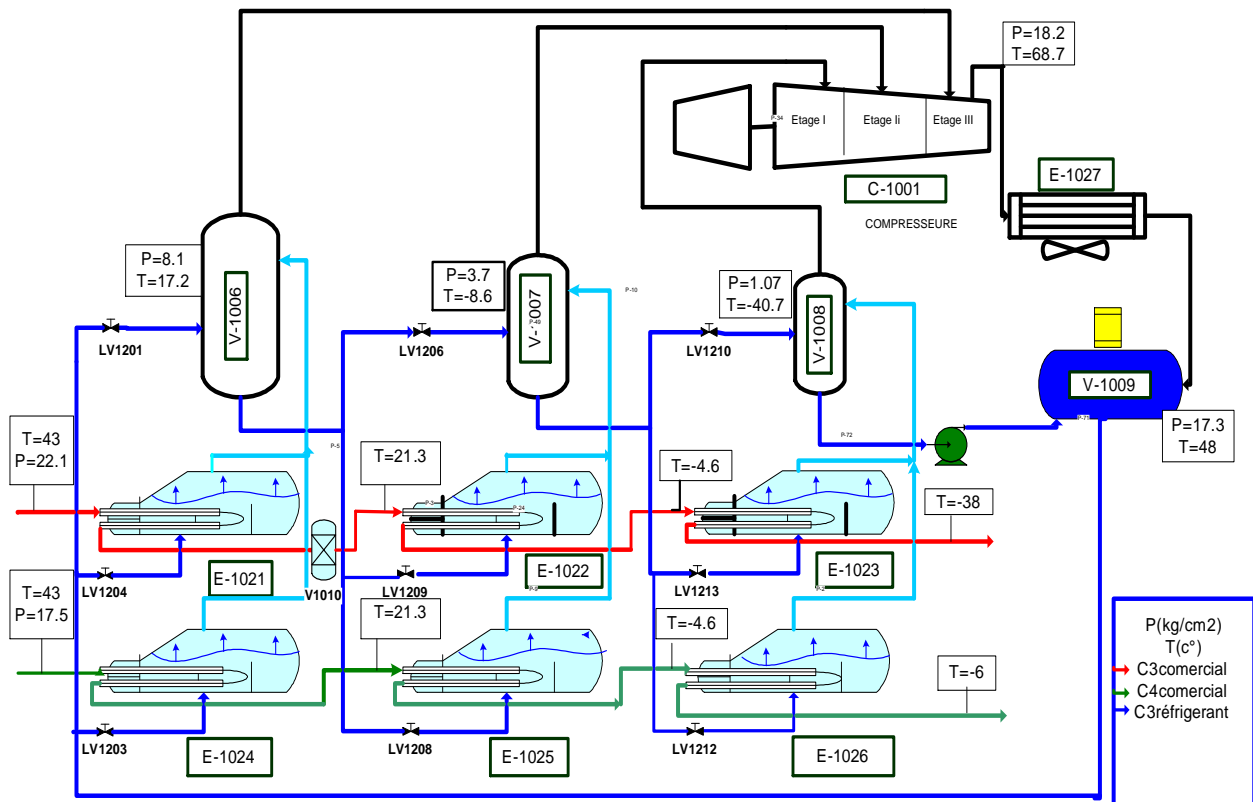


Figure I.6 : Section de réfrigération

I.3.7 Procédure de démarrage de la section de réfrigération

Après un déclenchement du compresseur, donc l'arrêt total de la section de réfrigération, nous avons besoin de suivre une procédure de démarrage qui est la suivante [1] :

a. Mise en marche initiale

- Toutes les installations d'utilités sont mises en service
- La section de séparation est en circulation
- Le compresseur est isolé par les vannes de sectionnement associé
- Unité de déshydratation de garde en état de fonctionnement
- Le compresseur et la turbine à gaz sont prêts à démarrer
- Le système est purgé et séché, pressurisé avec un GN

b. Mise en marche normale

- Vérifier les vannes est en position pour la mise en marche
- Egaliser les pressions des ballons cotés aspiration à 3 kg/cm²
- Mettre en service le condenseur de propane refroidi par air

- Ouvrir complètement les vannes de commande de recyclage et les vannes de démarrage
- Démarrer la turbine à gaz au moyen de la séquence de mise en marche
- Augmenter la vitesse du compresseur jusqu'à la vitesse de régime
- Fermer lentement la vanne de démarrage au moyen du dispositif de réglage manuel
- Fermer lentement la vanne de commande de recyclage, et mettre le système de contrôle anti-pompage et celui de la vitesse de compresseur
- Introduire le liquide produit dans les refroidisseurs et dans le ballon



CHAPITRE II :

Les équipements de torchage

II .1 Introduction :

Sonatrach s'est fixée l'objectif de réduire les gaz associés torchés dans ses champs de production afin de : Assurer la conformité réglementaire et législative de nos installations
Participer à l'effort mondial de la réduction des émissions de gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique.

Depuis les années soixante-dix, Sonatrach s'est fixée un objectif de réduire les gaz associés torchés dans ses champs de production selon différents schémas de valorisation du gaz :
Réinjection dans les champs pétroliers pour améliorer la récupération du pétrole brut.

Des efforts et des investissements considérables ont été consentis par Sonatrach pour la récupération des gaz torchés à différents niveaux de la chaîne de production: Dans les champs pétroliers (Activité Amont) Dans les champs gaziers (Activité Amont) ; Unités GNL (Activité Aval).

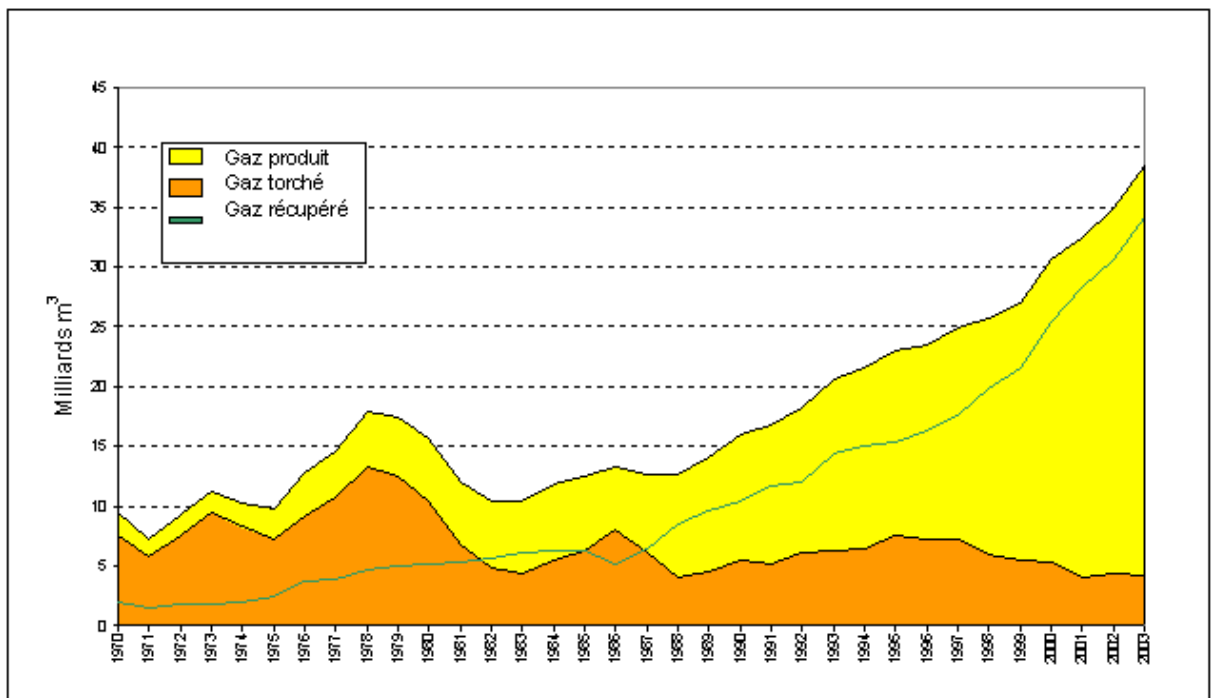


Figure II.1 Evolution de la récupération des gaz associés torchés (1970-2003)

II.2 Définitions :

II.2.1 La torche :

Le torchage est le brûlage du gaz naturel ou gaz associé au brut, qui ne peut être traité pour la vente pour des raisons techniques, économiques ou de sécurité. La disponibilité de torches ou d'évents de dégazage assure l'évacuation des gaz associés d'une manière sécurisée dans le cas des situations d'urgence ou d'arrêt des unités. Lorsqu'il n'existe aucun débouché pour le gaz, le brûlage à la torche n'était jusqu'à nos jours la solution la plus sûre et la plus courante pour l'éliminer.

Le torchage est habituellement considéré comme une façon à la fois sûre et efficace de se débarrasser du gaz naturel hors spécifications qui associé à la production des LPG. Et c'est la méthode habituellement utilisée pour l'élimination des gaz inflammables inutilisables, et aussi utiliser pour dépressuriser un équipement ou une section de traitement des gaz pendant les activités normale d'entretien ainsi en cas d'arrêt d'urgence ou lors d'un démarrage. [7]

II.2. 2 Le gaz torché :

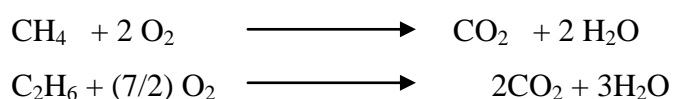
Lorsque l'on extrait du pétrole, celui-ci remonte souvent à la surface accompagnée d'eau et de gaz « gaz associé ». Après avoir été séparé du pétrole, le gaz peut être « torché », c'est-à-dire brûlé sur place, opération qui se manifeste par une flamme sortant d'une torchère. [8]

II .3.Composition chimique de gaz torché:

Les gaz naturels provenant des puits de pétrole sont généralement appelés « gaz associés ». Ces gaz coexistent dans la formation avec le pétrole en tant que gaz libres (gaz de couverture) ou peuvent être dissous dans le pétrole brut. Indépendamment de la source des gaz naturels et une fois séparés du pétrole brut, ils existent couramment sous formes des mélanges composés principalement de méthane avec d'autres gaz tels que l'éthane, le propane, le butane et les pentanes. En outre, les gaz naturels non traités contiennent de l'eau, du sulfure d'hydrogène (H₂S), du dioxyde de carbone (CO₂), de l'azote (N₂) ainsi que d'autres composants. Les gaz associés qui contiennent de telles impuretés ne peuvent pas être facilement transportés et ne peuvent pas non plus être utilisés sans traitement car ils sont récupérés au cours du procédé de production de pétrole. [2]

II.4 Les réactions de combustion

II.4 .1 Combustion complète



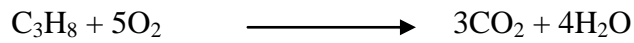


Figure II.2 Combustion complète

II.4.2 Combustion incomplète

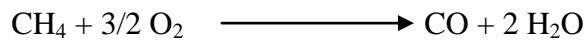


Figure II.3 Combustion incomplète

II.5 Les sources de gaz torché

- Gaz associés au pétrole brut dans les champs pétroliers ;
- Gaz des unités de traitement de gaz ;
- Gaz des unités de GNL et des raffineries. [9]
- Gaz produits lors de la mise en service d'un puits de pétrole ou de gaz naturel ;
- Gaz produit lors des difficultés d'exploitation ou des coupures d'électricité. [8]

II.6 Impact des gaz torchés

Le gaz torché présente un sérieux problème mondiale, en effet, il affecte l'homme, l'environnement en particulier l'atmosphère et peut causer des dégâts considérables à court et à long terme. La quantité et la qualité des gaz torchés sont étroitement liées à plusieurs facteurs, notamment le type et à l'âge des infrastructures de procédé, les caractéristiques des

hydrocarbures, produits, transformés ou manutentionnés, le volume de l'activité de procédé. [9]

II.6.1 Impact environnemental

L'impact potentiel sur les écosystèmes varie largement selon que le site de stockage est situé en mer ou en terre. Dans les écosystèmes marins, le principal impact des fuites de CO₂ est la baisse locale du pH qui concerne surtout les animaux vivant sur le fond marin et ne pouvant pas se déplacer. Les conséquences sont cependant limitées spatialement et, une fois la fuite résorbée, l'écosystème montre rapidement des signes de rétablissement. Dans les écosystèmes terrestres, les impacts se résument ainsi :

- **Végétation** – bien que des concentrations de 20 à 30% de CO₂ dans le sol puissent favoriser la fertilisation et augmenter le rythme de croissance de certaines espèces, au-delà de ce seuil, la présence de CO₂ peut être létale pour certaines plantes. Cet impact est cependant extrêmement localisé autour de la fuite de gaz et, quelques mètres plus loin, la végétation reste robuste et en bonne santé.

- **Qualité des eaux potables** – la composition chimique des eaux souterraines peut changer avec l'addition de CO₂. L'eau devient plus acide et certains éléments risquent de se dissocier des roches et des minéraux de l'aquifère.

- **Intégrité de la roche** – l'acidification des eaux souterraines peut entraîner une dissolution de la roche, une diminution de l'intégrité structurelle et la formation de cuvettes (dolines). [7]

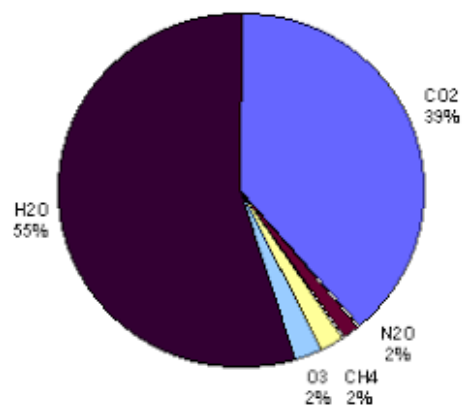


Figure II.4 Concentration des principaux gaz à effet de serre

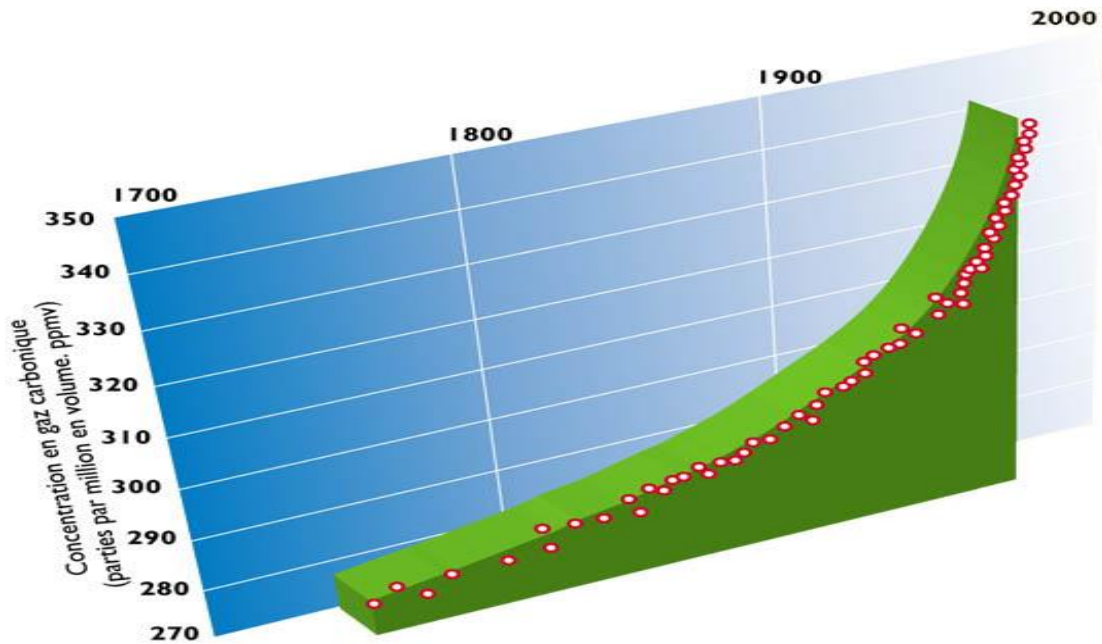


Figure II.5 Augmentation de la concentration du gaz carbonique

II.6.2 Impact sur les êtres humains

Nous respirons en permanence du CO₂. Ce gaz n'est dangereux pour la santé humaine qu'à de très fortes concentrations. Jusqu'à 50 000 ppm (5%), il peut provoquer des maux de tête, des vertiges et des nausées. Au-delà, il peut entraîner la mort en cas d'exposition prolongée, notamment par asphyxie quand la concentration d'oxygène dans l'air descend en dessous des 16% nécessaires à la vie humaine. Cependant si le CO₂ s'échappe dans une zone ouverte ou plane, il se disperse rapidement dans l'air, même en l'absence de vent. Les risques potentiels pour les populations se limitent donc aux fuites dans des environnements clos ou dans des dépressions topographiques où les concentrations sont susceptibles d'augmenter car le CO₂ est plus dense que l'air et a tendance à s'accumuler à proximité du sol. Pour mieux gérer et prévenir les risques, il est donc utile de connaître les caractéristiques des zones où des fuites de gaz se produisent. De nombreuses personnes vivent dans des régions caractérisées par des émanations quotidiennes de CO₂. Les habitants évitent tout problème en respectant quelques précautions simples, comme ne pas dormir au sous-sol et bien aérer les maisons. [7]

II.7 Fonctionnement des torches

Chaque ballon, colonne ou capacité fonctionnant sous pression d'hydrocarbures est relié au réseau de torche au moyen d'une ou plusieurs soupapes et/ou diverses vannes de régulation de pression PCV et vannes de décompression BDV. En régime normale de l'installation la quantité de gaz envoyée à la torche est minimale et ne représente que la fraction

incondensable des hydrocarbures traités pour assurer un débit régulier. Une injection de gaz de balayage ou gaz de purge est pratiquée en permanence pour maintenir un débit de sécurité à la torche en maintenant la flamme des brûleurs allumée et ainsi empêcher l'air de revenir.

En cas de dysfonctionnement d'une partie de l'installation ; principalement une surpression dans une capacité, la vanne régulatrice de pression s'ouvre pour envoyer plus de gaz vers la torche. Si la surpression est trop rapide et/ou incontrôlée, les soupapes de sécurité de l'équipement s'ouvrent pour protéger la capacité.

En cas d'incident plus grave ou d'arrêt d'urgence de l'installation, le système de sécurité déclenche l'ouverture des vannes de décompression (BDV). Pour assurer en permanence le bon fonctionnement du système de torche, un certain nombre d'organes de contrôle et de sécurité sont installés notamment:

- Un réseau de gaz de balayage des collecteurs de torche;
- Un réseau de gaz pilote qui maintient une flamme au nez de torche dans le cas des torches allumées en permanence.
- Deux ou plusieurs pilotes selon le diamètre de l'installation ;
- Un système d'allumage à distance des pilotes ;
- Un réseau d'azote connectable aux collecteurs de torche pour l'inertage du système lors de la mise à disposition pour travaux ou dans le cas des torches froides ;
- Des caméras de surveillance pour contrôler la présence et l'état de la flamme [9]

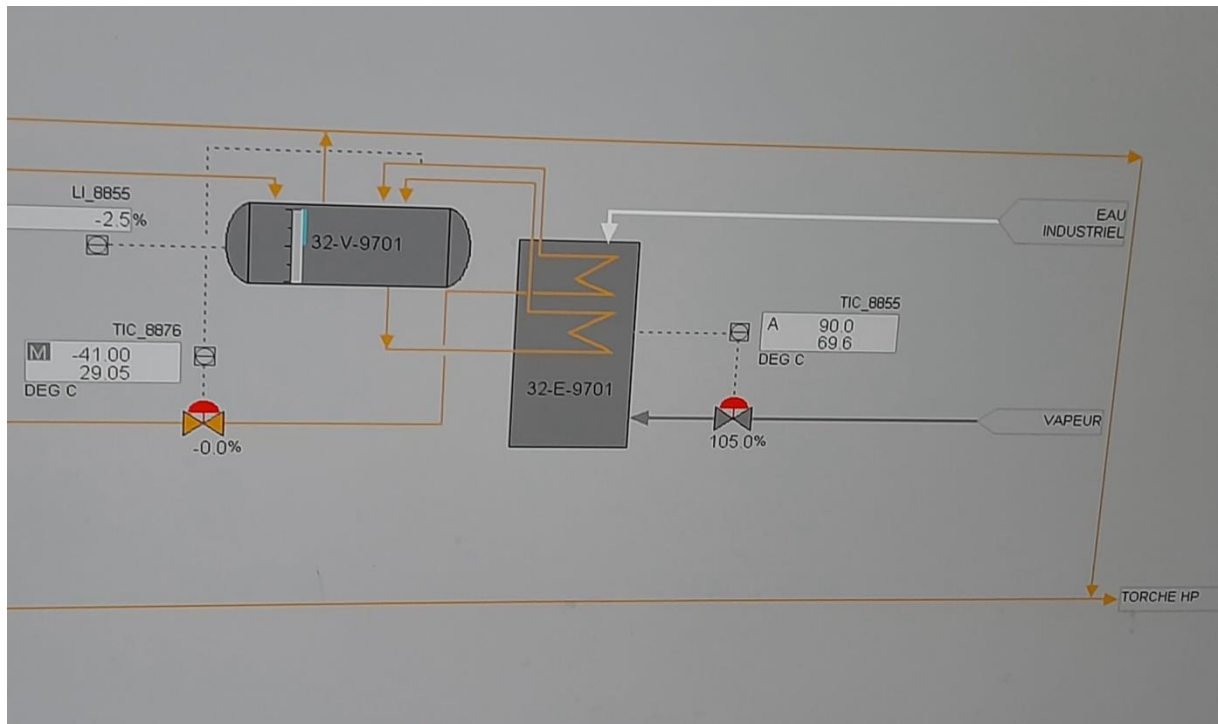


Figure II. 6 Procédé de torchage (Salle de contrôle) schéma A

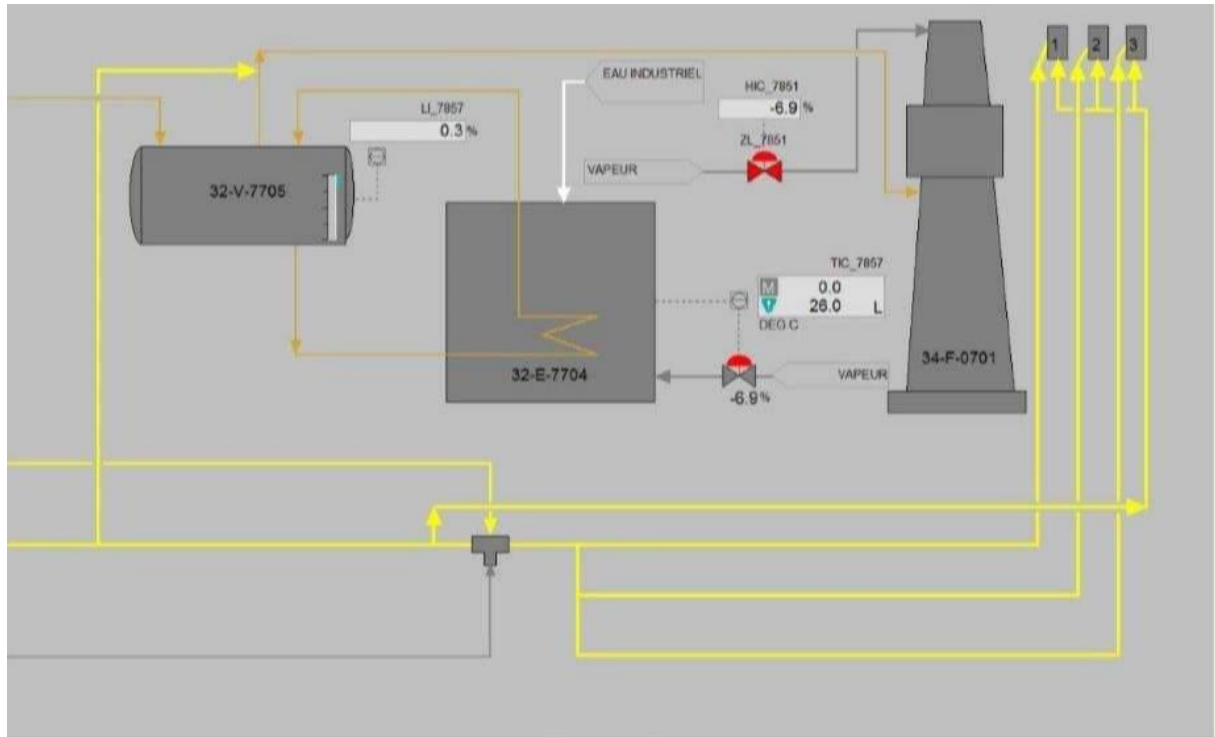


Figure II. 7 Procédé de torchage (Salle de contrôle) schéma B

II.8 Raisons du torchage

Lorsqu'il n'existe pas de débouché pour le gaz, le brûlage à la torche est jusqu'à nos jours la solution la plus sûre et la plus courante pour l'éliminer. Le torchage du gaz peut être justifié par :

- ❑ Gaz associé à la production du pétrole en faible quantité et de faible valeur énergétique par rapport au pétrole produit, il constitue l'essentiel du gaz torché dans le monde.
- ❑ Investissements importants: la valorisation insuffisante du gaz et parfois les difficultés techniques conduits à des décisions de brûlage de gaz.
- ❑ Utilisation du gaz pour vente à des consommations industriels ou à des revendeurs nécessite l'investissement d'infrastructures additionnelles et spécifiques de traitement, de transport sous formes comprimée (compresseurs, pipelines) ou liquéfié.
- ❑ Exploitation et la maintenance des installations pétrolières : L'exploitation pétrolière génère fréquemment, conjointement à une production de pétrole liquide, du gaz associé (GA), souvent en quantités faibles (en masse) par rapport au pétrole un gisement est fréquemment très éloigné de sa zone de clientèle et le gaz produit exigerait des investissements lourds pour

être exporté. Comme il ne peut être transporté par les mêmes moyens physiques que le pétrole, il ne présente en général pas d'intérêt économique, ce qui explique son brûlage. Notons que, le gaz naturel est systématiquement plus mal valorisé que le pétrole. De plus, le gaz étant environ 1000 fois moins dense que le pétrole, il exige d'être comprimé ou liquéfié pour être transporté sur de longues distances, ce qui implique des investissements encore plus lourds. [10]

II.9 Types de torchage

II. 9.1 Torchage continu

Extraction de pétrole est toujours accompagnée d'une remontée de gaz. Ce gaz se forme dans les conduites de remontée du pétrole ainsi que dans les installations de traitement, qui permettent de retirer les impuretés du pétrole. Ce gaz est généralement utilisé par les Compagnies pétrolières pour produire l'énergie nécessaire au fonctionnement de la plateforme de traitement.

II. 9.2 Torchage opérationnel :

Encas de problème technique sur une installation pétrolière, il est nécessaire, pour des raisons de sécurité, de vider et brûler le gaz présent dans les équipements. Il s'agit du torchage opérationnel, il se produit de façon intermittente et le volume brûlé correspond au volume de gaz présent dans l'installation au moment de l'événement.

II.9.3 Torchage d'arrêt de démarrage des unités de production

Le torchage est employé de façon continue mais temporaire lors du démarrage d'une nouvelle installation, ou pendant l'arrêt programmé des unités, il s'agit du torchage d'arrêt. Il y a aussi un intempestif dû aux déclenchements électriques des installations.

II.9.4 Torchage d'urgence

Le brûlage du gaz produit lors des difficultés d'exploitation ou des coupures d'électricité. [9]

De ce fait, réduire les gaz torchés afin de préserver l'environnement et augmenter le manque a gagné en trouvant des solutions techniques favorables reste l'une des grandes préoccupations.

Problématique :

Au niveau du complexe de **GP1/Z** au cours du démarrage de la section de réfrigération une quantité considérable de propane réfrigérant est brûlée, cette situation a incité les exploitants à pousser les recherches de l'entreprise pour trouver le moyen de minimiser cette perte.

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



Chapitre III

**CALCULES ET
RESULTATS**

III.1 Présentation du problème

Lors d'un arrêt d'urgence (déclenchement) de la section de réfrigération en raison d'une anomalie référencée. La boucle propane est interrompue brutalement car les trois ballons d'aspiration sont interconnectés et leurs pressions respectives sont égales à la pression moyenne d'équilibre, le tout à température ambiante.

Pendant cette étape de réfrigération, la procédure nécessite que la pression dans les ballons d'aspiration soit inférieure à 3 kg/cm^2 , compte tenu de la différence de pression dans les ballons au moment du déclenchement, donc une certaine quantité de vapeur doit être brûlée des ballons afin de les dépressuriser et lancer le processus de redémarrage .

La préoccupation et l'objectif principal de ce travail est de récupérer cette quantité de gaz torchée.

III.2 Calcul du volume de propane torché

Durant notre stage, nous sommes rapprochés du service planning afin de déceler le nombre et les dates des arrêts dus aux déclenchements. Après avoir sélectionné quelques cas réels, cette analyse nous a permis de calculer le volume de propane brûlé en calculant la différence de niveau de réfrigérant dans le ballon V-1006 avant et après fermeture. Les données dans le ballon V-1006 sur le niveau de réfrigérant est tirée de PHD (Process History Database).

Actuellement GP1Z gère des centrales GPL à partir de plusieurs salles de contrôle, grâce à ces dernières stations ayant accès aux données DCS en temps réel, PHD gère l'historique et l'archivage des données des procédés, pour lesquelles il propose un ensemble d'applications bureautiques : Rapports Excel, courbes, schémas adapté aux besoins du client (affichage) et vue "process trend".

III.2. 1 Les arrêts

Les arrêts les plus fréquents qui sont à l'origine de nos problèmes sont généralement le résultat de :

- Arrêt pompage RTO.
- Coupure électrique.

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

Tableau III.1 : Arrêt par an

Trains	Nombre d'arrêts
100	18
200	13
300	15
400	9
500	16
600	14

III.2.2 Calcul théorique

Calcul du niveau au V-1006

Le ballon V-1006 est horizontal et la méthode de calcul est indiquée sur l'annexe n°01.

Le volume est $130,2\text{m}^3$ avec :

*D=4m

*L=9m

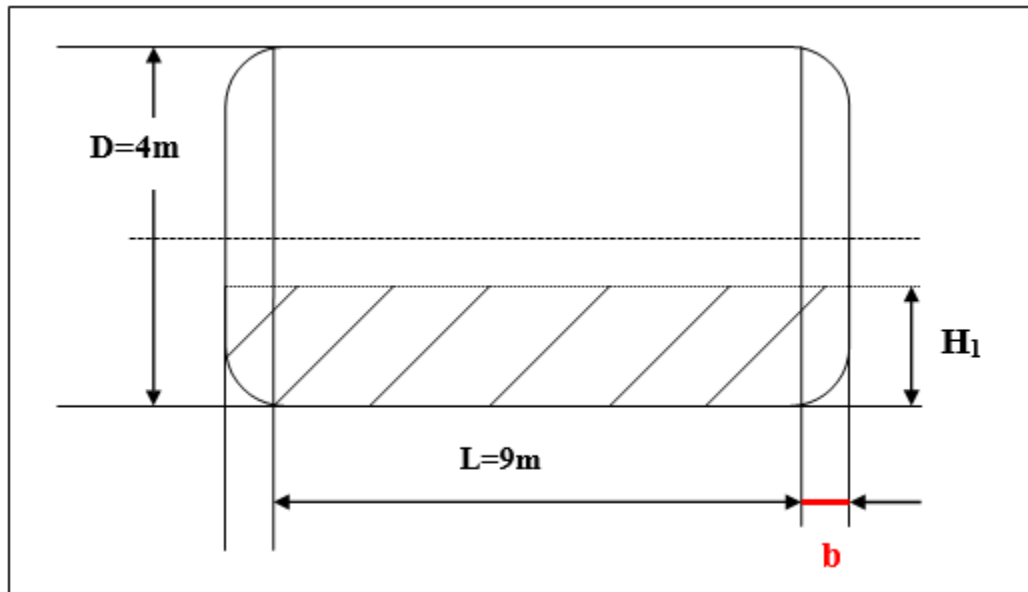


Figure III.1 : Ballon V-1006

Calcul de b : dimension de la partie courbée du cylindre

D'où : $V_t = 1/6\pi K_1 D^3 + 1/4\pi D^2 L$, avec : $K_1 = 2b/D$

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

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

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

✓ **Calcul de H pour chaque cas.**

III .2.3 Volume du cylindre horizontal

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

$$V_t = (1/6) \times [\pi.K_1.D^3] + (1/4) \times [\pi.D^2. L] \text{ [m}^3\text{]} \quad (1)$$

Avec : $K_1 = 2b/D$

$$Z_e = H_1/D$$

$$Z_c = H_1/D$$

$$\text{Volume partiel} = (1/6) \times [\pi.K_1.D^3] \times [f(Z_e)] + (1/4) \times [\pi.D^2. L] \times [f(Z_c)] \text{ [m}^3\text{]} \quad (2)$$

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

$F(Z_e)$: coefficient d'un cylindre horizontal

$F(Z_c)$: coefficient ellipsoïdal

✓ **Calcul du volume torché pour chaque cas**

$$V_{t.a.1} = V_{pallures\ 1} - V_{pallures\ 2}$$

$$V_{t.a.2} = V_{pallures\ 1'} - V_{pallures\ 2'}$$

✓ **La quantité annuelle de propane torché**

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

-La masse correspondante = Volume moyen * masse volumique

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

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

Cas réel	Date et temps	Niveau du ballon (%)	Figure
Cas 1 (train100)	Arrêt le:05/06/2022 à 21h06	37 ,11	N°3.2
	Démarrage le:06/06/2022 à 02h21	25,46	N°3.2
Cas 2 (train300)	Arrêt le:25/05/2022 à 4 h23	50,06	N°3.3
	Démarrage le:25/05/2022 à 10:42	34,26	N°3.3

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

Déclenchement TR100 le 05/06/2022 par vibration haute

Début dépressurisation



Figure III.2 : Les pressions des trois ballons et le refoulement des compresseurs après l'arrêt

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

**TR300/ démarrage le 25/05/2022 de la turbine du TR300 après des travaux
Fin dépressurisation**

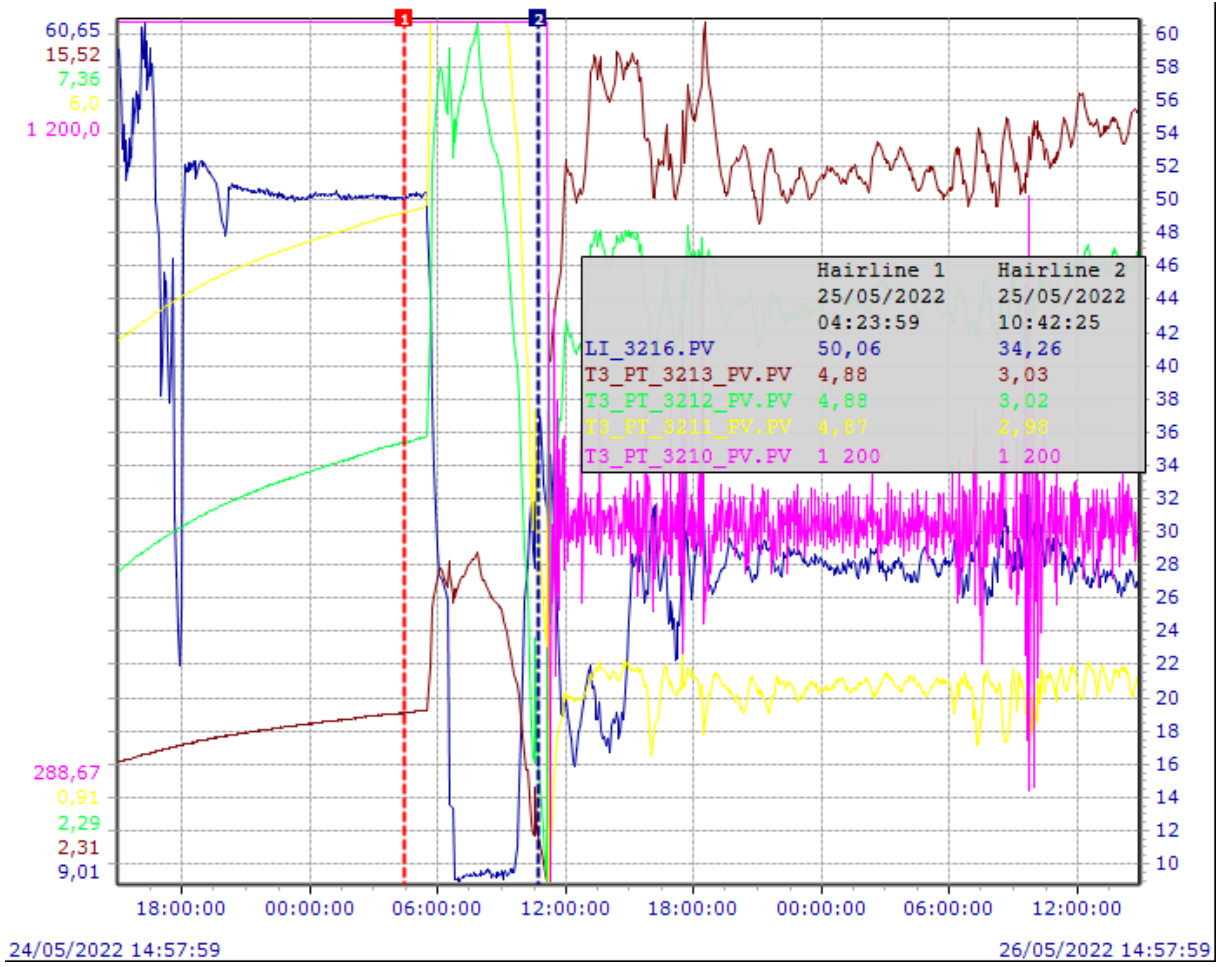


Figure III.3 : Les pressions des trois ballons et le refoulement du compresseur au démarrage

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

PI_3210.PV : indicateur de la pression à l'aspiration du ballon basse pression en (kg/cm²G)

PI_3211.PV : indicateur de la pression à l'aspiration du ballon moyenne pression (kg/cm²G)

PI 3212.PV : indicateur de la pression à l'aspiration du ballon haute pression (kg/cm²G)

PI_3213.PV : indicateur de la pression au refoulement du compresseur (kg/cm²G)

LI_3216.PV : indicateur du niveau au ballon V-1006 en (%)

Calcul de b

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

$$b = 1,02074$$

1. Premier cas

2. a. Calcul de la hauteur H_1

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

$$H_1 = (37,11 * 4) / 100$$

$$H_1 = 1,48 \text{ m}$$

$$37,11 \% \quad H = 1,48\text{m}$$

$$25,46 \% \quad H = 1,01\text{m}$$

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

$$37,11 \% \quad H = 1,48 \text{ m.} \quad K_1 = 2b/D = b/2 = 0,51037$$

$$Z_e = Z_c = H_1/D = 1,48 / 4 = 0,37$$

$$F(Z_e) : 0,309394 \text{ (voir annexe 02).}$$

$$F(Z_c) : 0,336363 \text{ (voir annexe 03).}$$

$$V_p = (1/6) \times [\pi \cdot 0,51037 \cdot 64] \times [0,309394] + (1/4) \times [\pi \cdot 9,16] \times [0,336363]$$

$$V_p = 43,31\text{m}^3$$

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

$$25,46 \% \quad H = 1,01. \quad K_1 = 2b/D = b/2 = 0,51037$$

$$Z_e = Z_c = H_1/D = 1,01 / 4 = 0,25$$

$$F(Z_e) : 0,156250 \text{ (voir annexe 02).}$$

$$F(Z_c) : 0,195501 \text{ (voir annexe 03).}$$

$$\text{-Volume partiel} = 24,77 \text{ m}^3$$

d. Volume torché/arrêt 1

$$V_{t.a.1} = 43,31 - 24,77 = 18,54\text{m}^3$$

2. Deuxième cas

a. Calcul de la hauteur H_1

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

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

$$34,26\% \quad H = 1,3\text{m.}$$

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

$$50,06 \% \quad H = 2 \text{ m.} \quad K_1 = 2b/D = b/2 = 0,51037$$

$$Z_e = Z_c = H_1/D = 2 / 4 = 0,5$$

$$F(Z_e): 0,500000 \text{ (voir annexe 02).}$$

$$F(Z_c): 0,500000 \text{ (voir annexe 03).}$$

$$\text{- Volume partiel} = 65,06 \text{ m}^3$$

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

$$34,26 \% \quad H = 1,3\text{m.} \quad K1 = 2b/D = b/2 = 0,51037$$

$$Z_e = Z_c = H_1/D = 1,3 / 4 = 0,32$$

$$F(Z_e) : 0,241664(\text{voir annexe 02}).$$

$$F(Z_c) : 0,275869 (\text{voir annexe 03}).$$

$$V_P=35,31 \text{ m}^3$$

d- Volume torché/arrêt 2

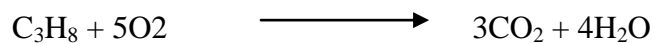
$$V_{t.a.2}=65,06 - 35,31 =29,75\text{m}^3$$

III.2.4 La quantité annuelle de propane torché

Nous obtenons après calcul un volume moyen à torcher de 24,14 m³ ce qui correspond à une masse de 11490,64 kg. (Avec $\rho = 476 \text{ kg/m}^3$ aux conditions de stockage aux V-1006 P=14 bar et T=35°C), sachant que le nombre d'arrêt par an égal à 33 arrêts, la quantité annuelle moyenne de propane torché l'année 2022 sera : 379,19 Tonne/an.

❖ **Remarque:**

Pour une combustion complète dont une mole de propane brûlé produit 3 moles de CO₂, la quantité massique émise sera 34471,92 kg par arrêt.



Afin de récupérer la quantité de gaz après combustion, nous ne proposons que la récupération des gaz brûlés, en rétablissant la même pression que la ligne BOG. On constate que le ballon HP V-1006 s'est avéré quatre fois plus grand que les autres ballons MP et BP et leurs positions sont plus proches de la ligne BOG. Donc, le relâcher fera chuter la pression des trois ballons de la boucle à 3 kg/cm² aux conditions initiales. Entre 5 et 7 kg/cm², la température est proche de température de fonctionnement, mais a tendance à une température ambiante.

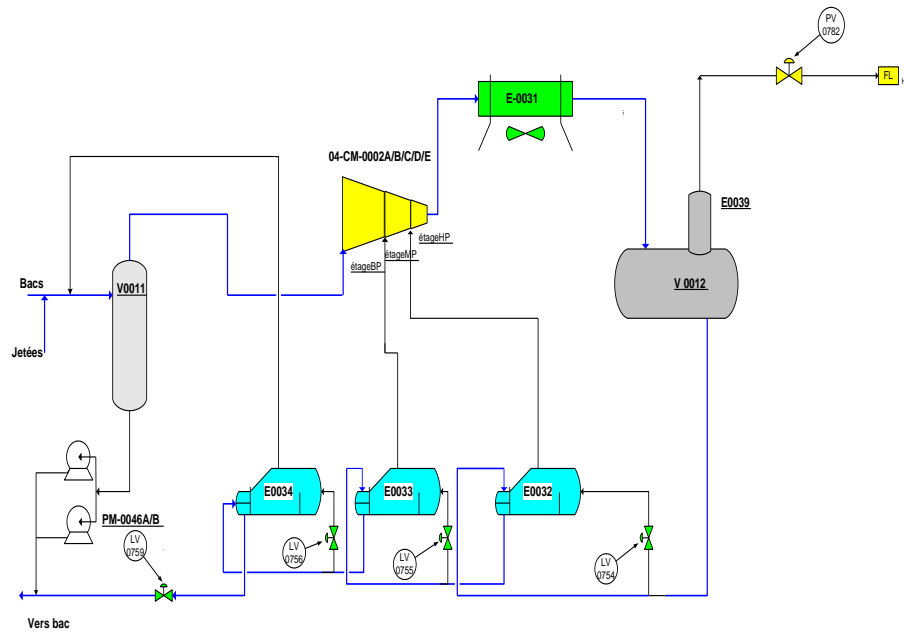


Figure III.4 : Section B.O.G du propane.

III.3 Sélection de la conduite de récupération du propane

Les deux facteurs qui déterminent le dimensionnement d'une canalisation sont la vitesse et la perte de charge.

Le diamètre et l'épaisseur du tube sont les facteurs les plus importants pour le dimensionnement d'une conduite de gaz. Des facteurs économiques et opérationnels influencent le choix du diamètre du tuyau. Notre diamètre doit correspondre exactement à celui de la torche.

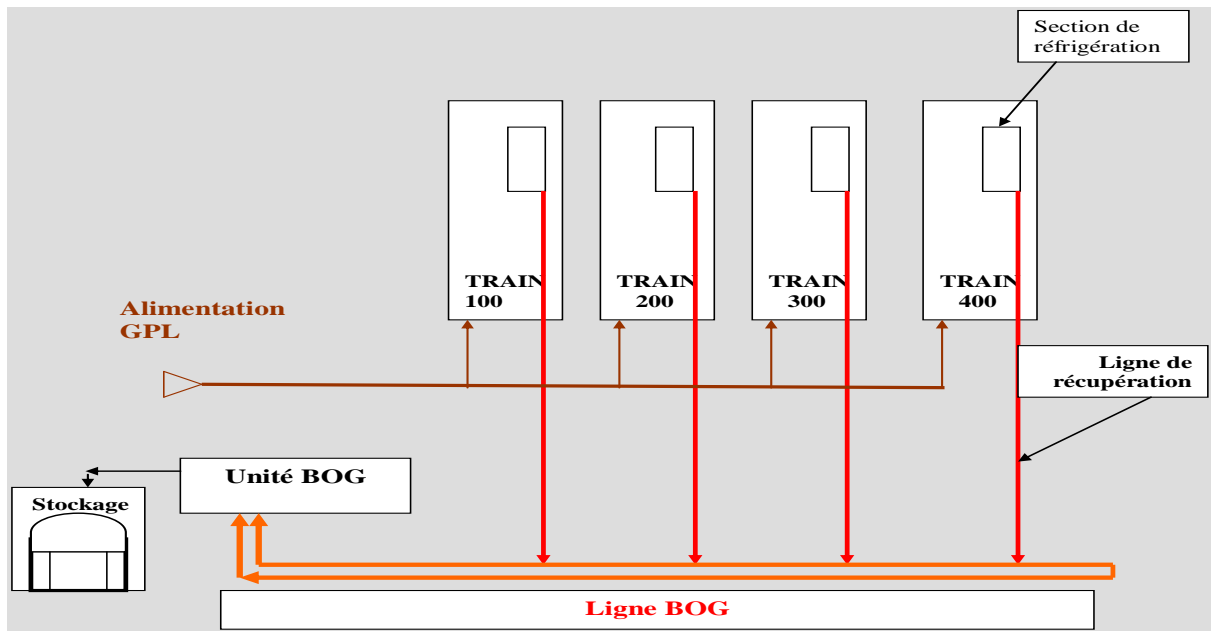


Figure III.5 : Localisation de la ligne et collecteur de récupération

III.3.1 Equipements

- **Segment pipe**
 - Ligne train avec une longueur de 130 m, 4 coudes, vanne de garde et un clapet anti retour 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** : elle détend les vapeurs à une pression de 900mm H₂O effective (1,1 bar) mesuré par l'indicateur de pression sur la ligne ; cette pression est le cas le plus défavorable quand la température est supérieure à 25 °C.

III.3.2 Calcul théorique

a. Vitesse d'écoulement du gaz

Selon la loi de la continuité nous avons :

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

Avec :

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

• S : Surface d'écoulement en (m²). Avec

$$S = \pi \times D^2 / 4 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4)$$

b. Diamètre

Selon la relation suivante :

$$D_{\text{int}} = D_{\text{ext}} - 2e \text{ [m]} \quad (5)$$

Avec :

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

C. La masse volumique

$$\rho = (P \times M_{\text{moy}}) / (Z \times R \times T) \text{ [Kg/m}^3\text{]} \quad (6)$$

Tels que :

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

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

Tels que :

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

$$\text{Donc } V = Q_m / (S \times \rho) \implies V = 4 \times Q_m / (\rho \times \pi \times D^2) \quad (8)$$

c. Nature de l'écoulement

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

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

Avec :

- Re : Nombre de Reynolds.
- ρ : Masse volumique en (Kg/m³), $\rho = m / V \text{ [Kg/m}^3\text{]}$ (10)

L'expression montre que :

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

Si $2000 < Re < 3000$: le régime est intermédiaire indique que l'écoulement est instable entre le régime laminaire et le régime turbulent.

Si $Re > 3000$: le régime est turbulent indique que l'écoulement est sous forme de tourbillon et de remous.

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

e. Pertes de charges

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

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

Avec :

- ΔP_T : Pertes de charge totale en (Kg/cm²).
- ΔP_S : Chute de pression singulière en (Kg/cm²).
- ΔP_L : Chute de pression linéaire en (Kg/ cm²).

1. Pertes de charges Systématiques (Linéaire)

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

$$\Delta P_L = \lambda \times \rho \times (L / D) \times [V^2 / (2 \times g)] \text{ [Kg/cm}^2\text{]} \quad (12)$$

Avec :

- ΔP_L : Pertes de charge linéaire en (Kg/cm²).
- ρ : Masse volumique en (Kg/m³).
- λ : Coefficient de perte de charge, On le détermine en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité relative (ϵ/D). Avec $\epsilon=0.0006$ pour l'acier au carbone (Voir Annexe04).
- D : Diamètre interne du collecteur en(m)
- V : Vitesse d'écoulement en (m/s).
- g : Accélération de la pesanteur en (m/s²), [$g=9,81$ m/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 :

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

Avec :

- ΔP_s : Chute de pression singulière en (Kg/cm²).
- ρ : Masse volumique en (Kg/m³).
- K : Coefficient de perte de charge locale [Coude 90°, $K = (0,5 ; 0,75)$], (Voir Annexe05).
- V : Vitesse d'écoulement en (m/s).
- g : Accélération de la pesanteur en (m/s²).

f. Données

Étant donné que la température extérieure de 30°C durant notre période de stage qui s'étend du 28 février au 27 mars 2023, il y avait une grande quantité de gaz brûlés. Il convient de mentionner que le même type de matériel a été utilisé pour effectuer la modification. Sur le collecteur, une vanne d'isolement manuelle a été prévue pour éviter les accidents et garantir la sécurité des personnes.

Elle est utilisée pour ouvrir le ballon de stockage frigorifique lorsqu'il est décompressé. Le but du détendeur est de maintenir la pression autour de la pression d'entrée de la BOG LINE.

g. Débit de propane torché

- Le volume moyen de gaz torché durant un arrêt est de : 24,14 m³équivalent de 11490,64 Kg.
 - Le temps moyen de torchage pour dépressurisation ($P < 3 \text{ Kg/cm}^2$) est de : 01heure.
- Comme c'est une boucle fermée avec une conservation des masses le débit torché sera :

$$Q \text{ torché} = 379,19 \text{ Tonne/an.}$$

III.3.3 Longueur de ligne

La longueur de la ligne traine mesurée sur site est ($L=130\text{m}$).

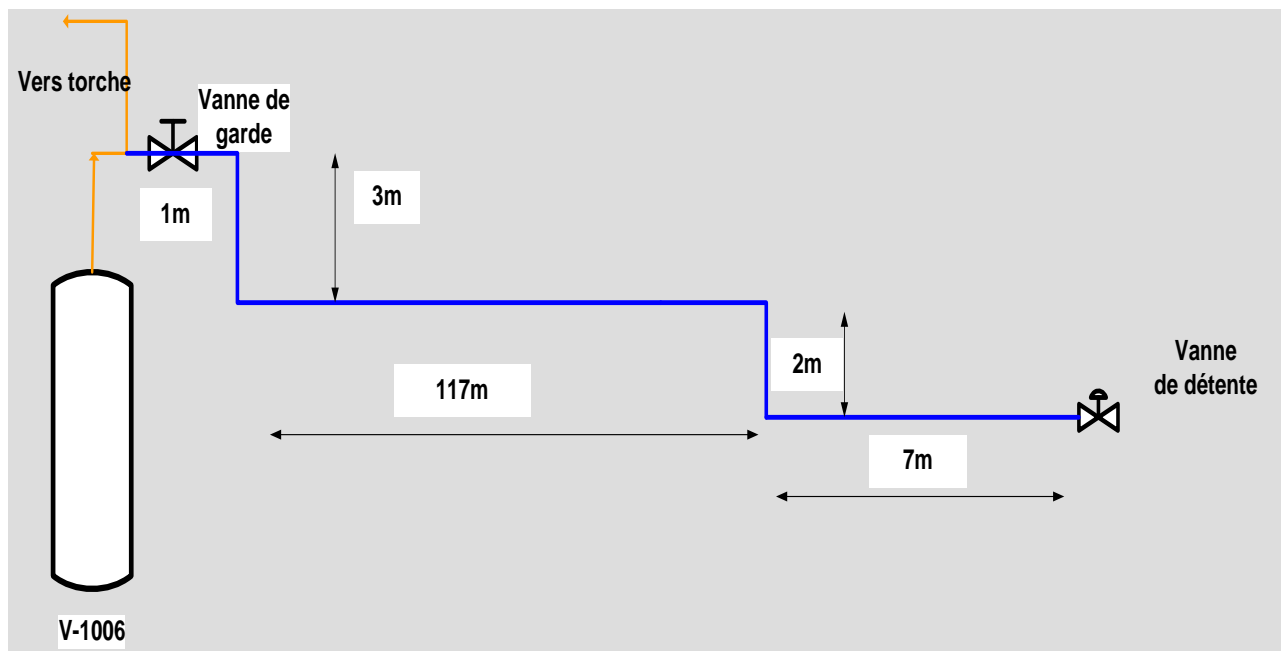


Figure III.6 : Longueur de la ligne train

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

a. Nombre de coudes

On a 49 coudes d'un angle de 90° qui est un nombre nécessaire pour assurer l'adaptation de la pipe à travers les installations [11].

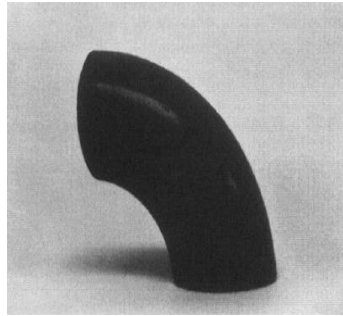


Figure III.7: Coude 90°

b. Nombre de vannes

Deux vannes de garde afin de contrôler l'ouverture ou la fermeture en cas de nécessité.

Une vanne de détente pour soumettre les vapeurs récupérés aux conditions BOG, elle est munie d'un indicateur de pression (PIC) sur la ligne BOG qui indique à la vanne la pression de sa détente (pression d'admission).

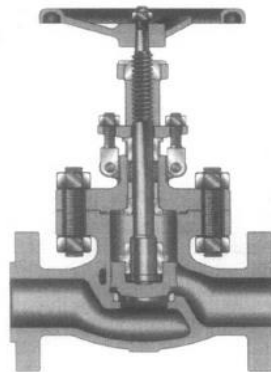


Figure III.8 : Vanne de garde

c. Composition des vapeurs récupérées

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

Tableau III.3 : Composition du réfrigérant

COMPOSITION	FRACTION (%)
Methane	0.17
Ethane	0.56
Propane	99.01
Isobutane	0.13
n-butane	0.1

III.3.4 Théorie de calcul

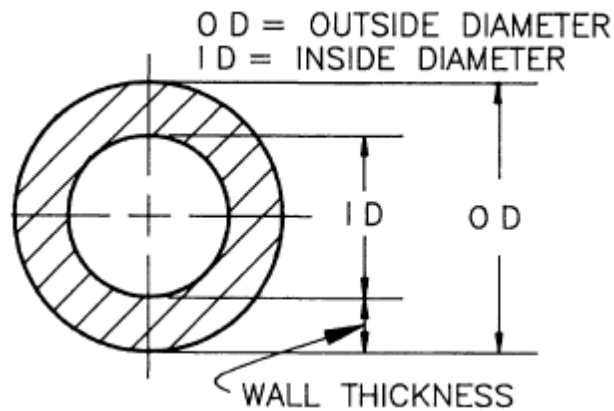


Figure III.9 Coupe transversale de la pipe

a. Diamètre

Le diamètre est de (6") six pouce (Voir Annexe05).

Type des matériaux de la pipe : les matériaux choisis sont l'acier au carbone A53, classe D.1Y (Voir Annexe 06).

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

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

b. La masse molaire

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

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

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

c. La masse volumique

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

Avec :

$$n : \text{Nombre de mole, } n = m / M \text{ [Mole]} \quad (14)$$

$$R = 0,082 \text{ Atm.l/mol.k}$$

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

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

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

d. La vitesse d'écoulement

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

$$\text{A.N: } V = (4 \times 11490,64) / (12,74 \times \pi \times 0,154^2 \times 3600) \implies \mathbf{V = 13,45 \text{ m/s}}$$

e. Nombre de Reynolds

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

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

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

$$\text{A.N: } Re = (12,74 \times 13,45 \times 0,154) / (8,091 \cdot 10^{-5}) \implies \mathbf{Re = 3,26 \cdot 10^5}$$

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

f. Les pertes de charges

La décompression du ballon d'aspiration passe de 7 kg/cm^2 à 3 kg/cm^2 . La courbe de chute de pression avant le raccordement se modifie car celui-ci est effectué de manière dynamique, ce qui entraîne une diminution de la courbe de pression d'écoulement. Il est sensible aux conditions du pipeline BOG (environ 900 à 300 mmH₂O_{eff}) à cause du réducteur de pression. Exemple : Nous montrons comment calculer la perte de charges lorsque la pression de démarrage du réservoir V-1006 est de 6 kg/cm^2 et que le réservoir est à l'arrêt.

Perte de charges ligne train

✓ **La perte de charges linéaire**

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

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

Le coefficient de perte de charge (λ) est déterminé en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité relative (ε/D), $\varepsilon=0,006$ cm pour l'acier au carbone. (Voir le diagramme de Moody Annexe 04).

On a :

$$Re = 3,26 \times 10^5$$

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

$$\Delta PL = 1784,88 \text{ Kg/m}^2 = 0,17 \text{ Kg/cm}^2$$

✓ **La perte de charge singulière**

On a:

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

Pour le coefficient de perte de charge dans les accessoires (K). (Voir Annexe 05)

Les Coudes : Nous avons 04 coudes de 90°C, D'après l'annexe N°4 on a $K=0,5$.

$$A.N \quad \Delta P_s = 234,93 \text{ Kg/m}^2 = 0,234 \text{ Kg/cm}^2$$

Vanne manuelle avec $K=0,25$.

$$\Delta P_s = 29,30 \text{ Kg/m}^2 = 0,00293 \text{ Kg/cm}^2$$

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

$$\Delta P_s = 0,0088 \text{ Kg/cm}^2$$

$$D'où : \quad \Delta P_T \text{ train} = \Delta PL + \Delta PS = 0,17 + 0,234 + 0,00293 + 0,0088$$

$$\Delta P_T \text{ train} = 0,4157 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ **Perte de charge Collecteur**

✓ **La perte de charge linéaire**

$$\Delta P_L = 0,5780 \text{ Kg/cm}^2$$

✓ **La perte de charge singulière**

Vanne manuelle avec $K=0,25$.

$$\Delta P_s = 0,0029 \text{ Kg/cm}^2$$

Les 49 coudes de 90° et d'après l'annexe N°5 on a $K= 0,50$

$$\Delta P_s = 0,2877 \text{ Kg/cm}^2$$

D'où : $\Delta P_T \text{ collecteur} = \Delta P_L + \Delta P_S$

$$\Delta P_T \text{ collecteur} = 0,5780 + 0,0029 + 0,2877 = \mathbf{0,8686 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$\text{D'autre part, on a : } \Delta P_T = \Delta P_T \text{ train} + \Delta P_T \text{ collecteur}$$

$$\text{A.N : } \Delta P_T = \mathbf{0,4157 + 0,8686}$$

$$\Delta P_T = \mathbf{1,284 \text{ Kg/cm}^2}$$

III.3.5 La pression d'arrivé

La température d'injection du propane récupéré dans le collecteur BOG :

La section BOG peut liquéfier des vapeurs qui ont des températures de 18°C au maximum, donc il faut vérifier que la température d'injection du propane récupéré (T_3) Dans le collecteur BOG, soit inférieur à 18°C .

- ❖ P_1 : la pression d'équilibre dans le ballon V-1006, $P_1 = 5,884 \text{ Kg/cm}^2$.
- ❖ P_2 : la pression d'entrée de la vanne de détente.
- ❖ P_3 : la pression d'admission de la section BOG, $P_3 = 1,1 \text{ Kg/cm}^2$.

Calcul de P_2 D'après la loi fondamentale de l'hydrostatique

$$\text{On aura : } P_2 = P_1 + \rho \times g \times H - \Delta P_T \tag{15}$$

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/m^3).

g : L'accélération de la pesanteur (m/s^2), on prend $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

A.N :

$$P_2 = 5,884 + [12,74 \times 9,81 \times 5] \cdot 10^{-4} - 1,284$$

$$\implies P_2 = \mathbf{4,66 \text{ Kg/cm}^2}$$



Conclusion Générale

Étant donné que la réduction des gaz torchés est l'un des principales préoccupations de GP1/z, et que nous avons remarqué un torchage important lors du démarrage de la section de réfrigération, nous avons décidé qu'il était important d'enquêter sur ce cas afin de réduire ces pertes en les collectant.

Extraire le maximum de carburants et de bases pétrochimiques de chaque baril de base pétrochimique produit, tout en améliorant l'efficacité énergétique et l'effet sur l'environnement, tel est le problème auquel les secteurs du raffinage et de la pétrochimie sont actuellement confrontés. Des produits toujours plus propres doivent être mis à la disposition des consommateurs au prix le plus bas, tandis que les déchets produits pendant les phases de production doivent être réduits ou traités.

Ce qui nous amené à la nécessité d'élaborer une étude de réalisation d'une ligne de récupération pour chaque train.

D'après cette étude nous concluons les points suivants :

- Les trains de la phase (I), peuvent fonctionner en réduisant un volume torché qui est de **379, 19 T/an**.
- Ce nouveau collecteur permet la récupération du propane réfrigérant pour le liquéfier dans la section BOG et le stocker.
- la rentabilité économique de ce projet, il permettra d'éliminer une quantité de **34,47 T** de **CO₂** qui se brûlait à l'atmosphère, et contribue à la réduction à effet de serre.

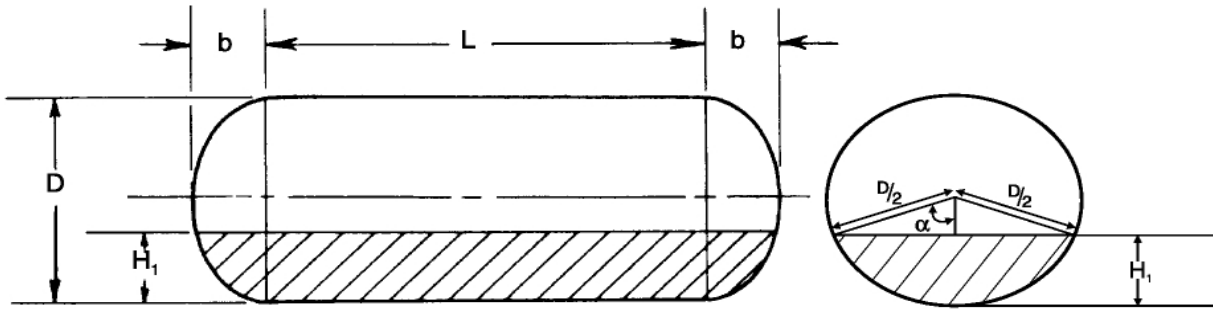
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] -Manuel Opérateur. (2003). Département technique, Service des études, Complexe GP1/Z - ARZEW 2003.
- [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] - BENAMEUR, M. KHENAFU, N. (2017). Etude de la récupération des gaz torchés dans la section BOG et la diminution des rejets des fumées. Mémoire de master, université des sciences et de technologie Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem.
- [4] - Manuel Opérateur GP1/Z, Généralités sur le complexe GP1Z
- [5] - Manuel Opérateur GP1/Z, Généralités ; section de récupération BOG propane formation DRH ;
- [6] -Younger, A-H .Eng. (2004). Natural Gas Processing Principles and Technology part II, Thimm Engineering, and Calgary.
- [7] 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.
- [8] Document TOTAL, « Manuel de formation-les drains et les torches ».
- [9] Fatma Zohra Selini, « L'impact du projet RGA sur le torchage et la production 2018 »
- [10] MEDDOUR Abdelhakim et REHALEM Abdelouahed « Récupération des gaz torchés au niveau de champ ROM (RHOURDE OULED MESSAOUD) » Master en GC, UKM Ouargla, 2013
- [11] - Catalogue mécanique : manuel (document GP1/Z).

Annexe01

Partial Volume in Horizontal and Vertical Storage Tanks with Ellipsoidal or Hemispherical Heads
FIG. 6-21

HORIZONTAL CYLINDRICAL TANKS



Total volume = volume in 2 heads + volume in cylinder

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

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

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

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

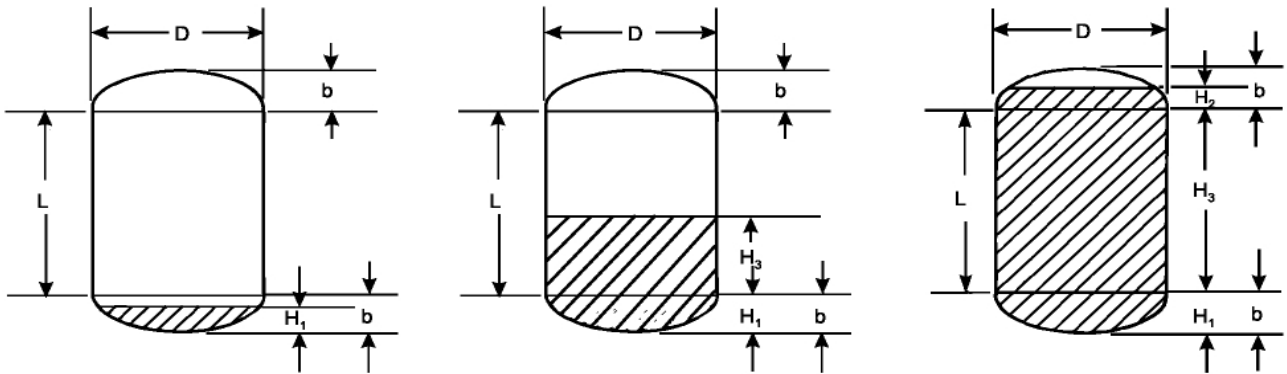
$$f(Z_e) = \text{Ellipsoidal coefficient (see Fig. 6-23)} \quad \text{or} \quad f(Z_e) = -\left(\frac{H_1}{D}\right)^2 \times \left(-3 + \frac{2H_1}{D}\right)$$

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

where α is in radians

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

VERTICAL CYLINDRICAL TANKS



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

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

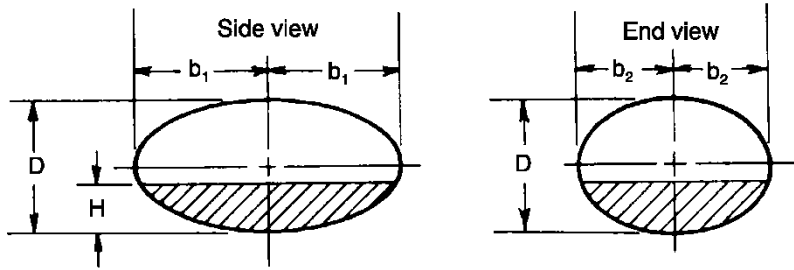
$$K_1 = 2 b/D$$

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

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

FIG. 6-23

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



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

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

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

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

Coefficients for Partial Volumes of Ellipsoids or Spheres, $f(Ze)$

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

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

Annexe 02

FIG. 6-23 (Cont'd)

Table of Coefficients and Formulas for

Determining Partial Volumes in Ellipsoids and Spheres

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

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

Annexe 03

FIG. 6-22 Coefficients for Partial Volumes of Horizontal Cylinders, $f(Z_c)$

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	.013417	.013919	.014427	.014940	.015459	.015985	.016515	.017052	.017593	.018141
.05	.018692	.019250	.019813	.020382	.020955	.021533	.022115	.022703	.023296	.023894
.06	.024496	.025103	.025715	.026331	.026952	.027578	.028208	.028842	.029481	.030124
.07	.030772	.031424	.032081	.032740	.033405	.034073	.034747	.035423	.036104	.036789
.08	.037478	.038171	.038867	.039569	.040273	.040981	.041694	.042410	.043129	.043852
.09	.044579	.045310	.046043	.046782	.047523	.048268	.049017	.049768	.050524	.051283
.10	.052044	.052810	.053579	.054351	.055126	.055905	.056688	.057474	.058262	.059054
.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	.103275	.104211	.105147	.106087	.107029	.107973	.108920	.109869	.110820	.111773
.17	.112728	.113686	.114646	.115607	.116572	.117538	.118506	.119477	.120450	.121425
.18	.122403	.123382	.124364	.125347	.126333	.127321	.128310	.129302	.130296	.131292
.19	.132290	.133291	.134292	.135296	.136302	.137310	.138320	.139332	.140345	.141361
.20	.142378	.143398	.144419	.145443	.146468	.147494	.148524	.149554	.150587	.151622
.21	.152659	.153697	.154737	.155779	.156822	.157867	.158915	.159963	.161013	.162066
.22	.163120	.164176	.165233	.166292	.167353	.168416	.169480	.170546	.171613	.172682
.23	.173753	.174825	.175900	.176976	.178053	.179131	.180212	.181294	.182378	.183463
.24	.184550	.185639	.186729	.187820	.188912	.190007	.191102	.192200	.193299	.194400
.25	.195501	.196604	.197709	.198814	.199922	.201031	.202141	.203253	.204368	.205483
.26	.206600	.207718	.208837	.209957	.211079	.212202	.213326	.214453	.215580	.216708
.27	.217839	.218970	.220102	.221235	.222371	.223507	.224645	.225783	.226924	.228065
.28	.229209	.230352	.231498	.232644	.233791	.234941	.236091	.237242	.238395	.239548
.29	.240703	.241859	.243016	.244173	.245333	.246494	.247655	.248819	.249983	.251148
.30	.252315	.253483	.254652	.255822	.256992	.258165	.259338	.260512	.261687	.262863
.31	.264039	.265218	.266397	.267578	.268760	.269942	.271126	.272310	.273495	.274682
.32	.275869	.277058	.278247	.279437	.280627	.281820	.283013	.284207	.285401	.286598
.33	.287795	.288992	.290191	.291390	.292591	.293793	.294995	.296198	.297403	.298608
.34	.299814	.301021	.302228	.303438	.304646	.305857	.307068	.308280	.309492	.310705
.35	.311918	.313134	.314350	.315566	.316783	.318001	.319219	.320439	.321660	.322881
.36	.324104	.325326	.326550	.327774	.328999	.330225	.331451	.332678	.333905	.335134
.37	.336363	.337593	.338823	.340054	.341286	.342519	.343751	.344985	.346220	.347455
.38	.348690	.349926	.351164	.352402	.353640	.354879	.356119	.357359	.358599	.359840
.39	.361082	.362325	.363568	.364811	.366056	.367300	.368545	.369790	.371036	.372282
.40	.373530	.374778	.376026	.377275	.378524	.379774	.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	.411165	.412426	.413687	.414949	.416211	.417473	.418736	.419998	.421261	.422525
.44	.423788	.425052	.426316	.427582	.428846	.430112	.431378	.432645	.433911	.435178
.45	.436445	.437712	.438979	.440246	.441514	.442782	.444050	.445318	.446587	.447857
.46	.449125	.450394	.451663	.452932	.454201	.455472	.456741	.458012	.459283	.460554
.47	.461825	.463096	.464367	.465638	.466910	.468182	.469453	.470725	.471997	.473269
.48	.474541	.475814	.477086	.478358	.479631	.480903	.482176	.483449	.484722	.485995
.49	.487269	.488542	.489814	.491087	.492360	.493633	.494906	.496179	.497452	.498726

Annexe 03

FIG. 6-22 (Cont'd)

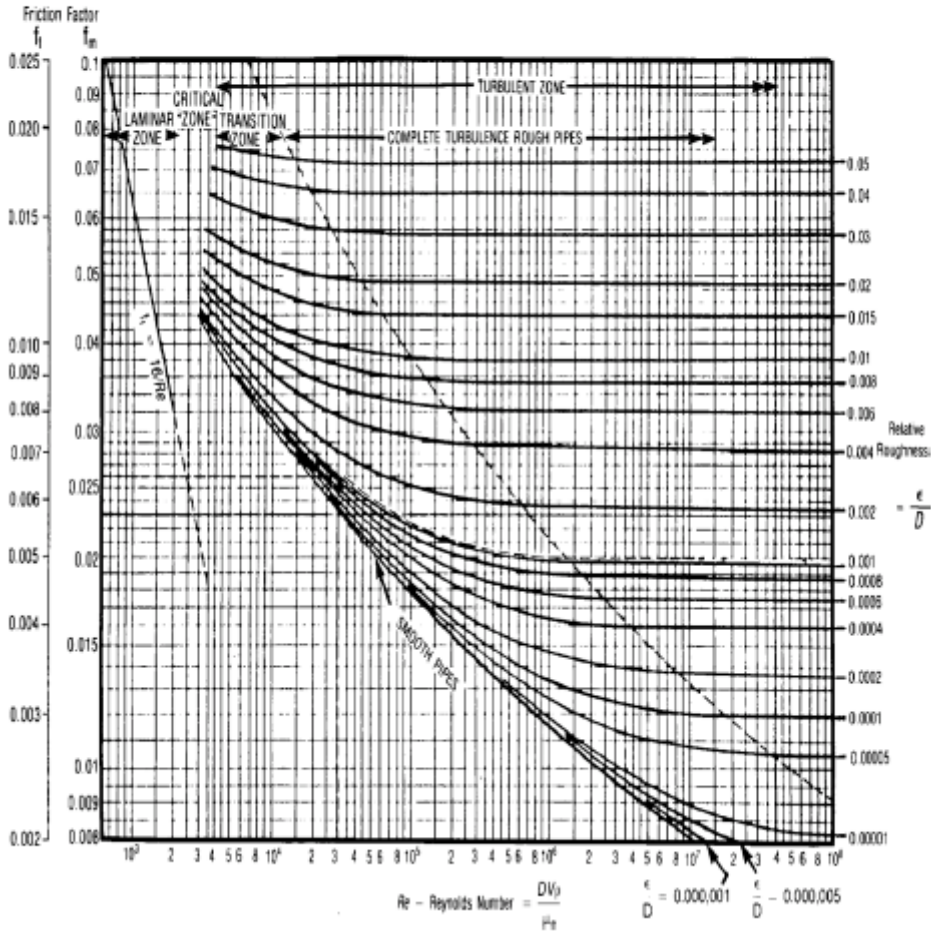
Coefficients for Partial Volumes of Horizontal Cylinders, $f(Z_c)$

Zc	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.50	.500000	.501274	.502548	.503821	.505094	.506367	.507640	.508913	.510186	.511458
.51	.512731	.514005	.515278	.516551	.517824	.519097	.520369	.521642	.522914	.524186
.52	.525459	.526731	.528003	.529275	.530547	.531818	.533090	.534362	.535633	.536904
.53	.538175	.539446	.540717	.541988	.543259	.544528	.545799	.547068	.548337	.549606
.54	.550875	.552143	.553413	.554682	.555950	.557218	.558486	.559754	.561021	.562288
.55	.563555	.564822	.566089	.567355	.568622	.569888	.571154	.572418	.573684	.574948
.56	.576212	.577475	.578739	.580002	.581264	.582527	.583789	.585051	.586313	.587574
.57	.588835	.590096	.591355	.592616	.593875	.595134	.596392	.597650	.598908	.600166
.58	.601423	.602680	.603937	.605192	.606447	.607702	.608956	.610210	.611463	.612717
.59	.613970	.615222	.616474	.617726	.618976	.620226	.621476	.622725	.623974	.625222
.60	.626470	.627718	.628964	.630210	.631455	.632700	.633944	.635189	.636432	.637675
.61	.638918	.640160	.641401	.642641	.643881	.645121	.646360	.647598	.648836	.650074
.62	.651310	.652545	.653780	.655015	.656249	.657481	.658714	.659946	.661177	.662407
.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	.712205	.713402	.714599	.715793	.716987	.718180	.719373	.720563	.721753	.722942
.68	.724131	.725318	.726505	.727690	.728874	.730058	.731240	.732422	.733603	.734782
.69	.735961	.737137	.738313	.739488	.740662	.741835	.743008	.744178	.745348	.746517
.70	.747685	.748852	.750017	.751181	.752345	.753506	.754667	.755827	.756984	.758141
.71	.759297	.760452	.761605	.762758	.763909	.765059	.766209	.767356	.768502	.769648
.72	.770791	.771935	.773076	.774217	.775355	.776493	.777629	.778765	.779898	.781030
.73	.782161	.783292	.784420	.785547	.786674	.787798	.788921	.790043	.791163	.792282
.74	.793400	.794517	.795632	.796747	.797859	.798969	.800078	.801186	.802291	.803396
.75	.804499	.805600	.806701	.807800	.808898	.809993	.811088	.812180	.813271	.814361
.76	.815450	.816537	.817622	.818706	.819788	.820869	.821947	.823024	.824100	.825175
.77	.826247	.827318	.828387	.829454	.830520	.831584	.832647	.833708	.834767	.835824
.78	.836880	.837934	.838987	.840037	.841085	.842133	.843178	.844221	.845263	.846303
.79	.847341	.848378	.849413	.850446	.851476	.852506	.853532	.854557	.855581	.856602
.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	.887272	.888227	.889180	.890131	.891080	.892027	.892971	.893913	.894853	.895789
.84	.896725	.897657	.898586	.899514	.900440	.901362	.902283	.903201	.904116	.905029
.85	.905939	.906847	.907754	.908657	.909557	.910455	.911350	.912244	.913134	.914021
.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	.940150	.940946	.941738	.942526	.943312	.944095	.944874	.945649	.946421	.947190
.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									

Annexe 04

Diagramme de MOODY

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



Annexe 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) -tuyau entrant -connexion arrondie	$0.50 \cdot \frac{V_2^2}{2g}$ $1.00 \cdot \frac{V_2^2}{2g}$ $0.05 \cdot \frac{V_2^2}{2g}$
Conduite à réservoir (perte à la sortie)	$1.00 \cdot \frac{V_1^2}{2g}$
Divergent brusque	$\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$
Divergent progressif	$k \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$
Venturis, buses et orifices	$\left(\frac{1}{C_v^2} - 1 \right) \frac{V_2^2}{2g}$
Convergent brusque	$k_c \frac{V_2^2}{2g}$
Coudes, accessoires, vannes, clapets Quelques valeurs courantes de K sont : 45°, coude 0.35 à 0.45 90°, coude..... 0.50 à 0.75 Té..... 1.5 à 2.00 Vannes de portes (ouvertes).....aprox.0.25 Vannes de contrôle (ouvertes).....aprox.3.0 Clapet anti- retour à disque levable (6'').....0.75	$k = \frac{V^2}{2g}$

Annexe05

Nominal size inches	OD mm	10	20	30	STD	40	60	X5	80	100	120	140	160	XX5	5S	10S	40S	80S	Volume in ³
1/8	10.30				1.73 0.37	1.79 0.37		2.41 0.47	2.41 0.47							1.24 0.28	1.73 0.38	2.41 0.48	0.0001
1/4	13.30				2.34 0.63	2.34 0.63		3.02 0.80	3.02 0.80							1.88 0.51	2.34 0.64	3.02 0.82	0.0002
3/8	17.10				2.91 0.84	2.91 0.84		3.28 1.30	3.28 1.30							1.88 0.64	2.91 0.88	3.28 1.12	0.0003
1/2	21.30				2.77 1.22	2.77 1.27		3.73 1.62	3.73 1.62				4.76 1.96	7.47 2.85	1.88 0.82	2.77 1.07	2.77 1.30	3.73 1.65	0.0004
3/4	26.70				2.87 1.89	2.87 1.89		3.81 2.20	3.81 2.20				5.88 2.80	7.82 3.64	1.88 1.06	2.77 1.31	2.87 1.71	3.81 2.24	0.0007
1	33.40				3.38 2.60	3.38 2.60		4.56 3.24	4.56 3.24				6.36 4.24	8.89 5.45	1.88 1.33	2.77 2.12	3.38 2.65	4.56 3.29	0.0011
1 1/4	42.20				3.98 3.39	3.98 3.39		4.85 4.47	4.85 4.47				6.36 5.81	8.70 7.77	1.88 1.88	2.77 2.76	3.38 2.48	4.85 4.56	0.0019
1 1/2	48.30				3.88 4.05	3.88 4.05		5.08 5.41	5.08 5.41				7.14 7.26	10.15 9.56	1.88 1.88	2.77 2.77	3.38 4.12	5.08 5.51	0.0023
2	60.30				3.81 5.44	3.81 5.44		5.84 7.48	5.84 7.48				8.74 11.71	11.87 13.84	1.88 2.44	2.77 4.01	3.81 5.51	5.84 7.62	0.0038
2 1/2	73.20				5.16 6.83	5.16 6.83		7.81 11.41	7.81 11.41				9.82 14.82	14.82 20.20	2.11 3.77	3.88 5.36	5.16 8.81	7.81 11.84	0.0052
3	88.30				5.68 11.28	5.68 11.28		7.82 16.27	7.82 16.27				11.12 21.26	16.24 27.68	2.11 4.80	3.88 8.88	5.68 11.82	7.82 16.89	0.0079
3 1/2	101.30				6.74 12.87	6.74 12.87		8.88 18.83	8.88 18.83				— —	— —	2.11 5.29	3.88 7.81	6.74 13.84	8.88 19.01	0.0113
4	114.30				6.82 16.07	6.82 16.07		8.88 22.32	8.88 22.32		11.12 28.32		13.48 33.84	17.12 41.02	2.11 5.88	3.88 8.82	6.82 16.40	8.88 22.77	0.0130
5	141.30				6.88 21.77	6.88 21.77		8.83 30.87	8.83 30.87		12.78 40.28		16.88 48.77	18.88 57.43	2.77 8.87	3.40 11.82	6.88 22.20	8.83 31.88	0.0188
6	168.30				7.11 28.24	7.11 28.24		10.87 42.84	10.87 42.84		14.27 54.20		18.28 54.20	21.88 79.22	2.77 11.85	3.40 14.12	7.11 28.83	10.87 43.42	0.028
8	219.10		6.35 23.31	7.88 30.81	8.18 42.88	8.18 42.88	10.31 53.08	12.78 64.84	12.78 64.84	15.88 75.82	18.28 80.44	20.82 100.82	23.81 111.27	22.23 107.82	2.77 15.88	3.76 20.21	8.18 43.38	12.78 66.88	0.048
10	273.10		6.35 41.77	7.88 51.02	8.27 80.21	8.27 80.21	12.78 81.84	15.88 91.85	15.88 91.85	18.28 96.01	21.44 114.75	24.40 121.06	28.40 155.15	28.88 172.22	3.40 18.15	4.18 23.88	8.27 38.34	12.78 81.32	0.074
12	323.90		6.35 48.73	8.38 48.20	8.83 73.86	8.83 73.86	14.27 106.86	16.27 122.08	16.27 122.08	17.48 159.87	20.40 188.87	23.88 236.14	28.88 258.76	33.82 188.87	3.88 31.88	4.57 36.73	8.38 76.22	12.78 88.42	0.106
14	361.30	6.35 84.86	7.82 87.80	8.83 81.22	8.82 81.22	11.12 84.88	15.88 126.71	12.78 107.29	15.88 158.52	18.88 184.86	21.44 224.86	24.40 263.84	28.40 283.84	31.78 301.70	3.88 35.08	4.78 42.14	8.38 81.32	12.78 93.78	0.138
16	408.40	6.35 82.84	7.82 77.83	8.83 88.27	8.82 88.27	12.78 123.30	16.88 140.12	12.78 119.30	16.88 203.83	21.44 248.84	24.40 288.84	28.40 321.78	30.88 368.36	33.82 368.36	4.18 42.41	4.78 48.25	8.38 83.38	12.78 98.42	0.188
18	467.00	6.35 79.87	7.82 87.71	11.12 122.84	8.83 106.76	14.27 158.80	16.88 208.74	12.78 138.76	16.88 254.88	20.88 308.82	24.88 363.88	28.88 438.28	33.87 488.27	38.87 488.27	4.18 47.77	4.78 54.26	8.38 84.38	12.78 103.42	0.258
20	508.00	6.35 78.88	8.83 117.18	12.78 168.12	8.83 117.18	15.88 183.82	20.82 247.82	12.78 158.12	20.88 311.12	26.18 321.82	32.84 441.84	38.78 508.11	44.88 644.87	50.81 644.87	4.78 40.44	5.84 70.02	8.38 81.32	12.78 108.42	0.358
22	559.00	6.35 86.84	8.83 128.12	12.78 171.08	8.83 128.12	— —	22.23 284.25	12.78 171.08	20.88 273.82	26.18 401.82	34.83 461.82	41.28 527.02	47.83 602.83	53.88 672.28	4.78 46.87	5.84 77.88	8.38 83.38	12.78 113.42	0.472
24	610.00	6.35 84.82	8.83 141.12	14.27 208.84	8.83 141.12	17.48 253.81	24.81 304.25	12.78 187.08	20.88 442.08	26.18 547.71	34.83 640.02	41.28 720.15	47.83 838.22	53.87 838.22	5.84 64.76	6.35 86.27	8.38 84.38	12.78 118.42	0.602
26	660.00	7.82 127.36	12.78 202.72	— —	8.83 182.87	— —	— —	12.78 202.72	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	0.752
28	711.00	7.82 137.32	12.78 218.88	15.88 271.21	8.83 184.85	— —	— —	12.78 218.88	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	0.902
30	762.00	7.82 147.28	12.78 234.87	15.88 282.18	8.83 176.84	— —	— —	12.78 234.87	— —	— —	— —	— —	— —	— —	6.35 120.12	7.82 180.26	— —	— —	1.052
32	813.00	7.82 157.24	12.78 250.84	15.88 312.15	8.83 188.82	17.48 242.81	— —	12.78 250.84	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1.202
34	864.00	7.82 167.20	12.78 266.81	15.88 322.12	8.83 200.31	17.48 264.80	— —	12.78 266.81	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1.352
36	914.00	7.82 176.86	12.78 282.27	15.88 331.79	8.83 212.84	15.88 402.83	— —	12.78 282.27	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1.502
38	965.00	— —	— —	— —	8.83 224.84	— —	— —	12.78 282.27	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1.652
40	1016.00	— —	— —	— —	8.83 236.83	— —	— —	12.78 314.22	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1.802
42	1067.00	— —	— —	— —	8.83 248.82	— —	— —	12.78 320.19	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1.952
44	1118.00	— —	— —	— —	8.83 260.80	— —	— —	12.78 346.16	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	2.102
46	1169.00	— —	— —	— —	8.83 272.25	— —	— —	12.78 361.62	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	2.252
48	1219.00	— —	— —	— —	8.83 284.24	— —	— —	12.78 377.79	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	2.402

ASTM
acier au carbone

ASTM
carbon steel

ASTM A 53 / A 53M-99b

Cette spécification couvre les tubes sans soudure et soudés en acier, non et galvanisés de NPS 1/8" à 24" inclus et d'épaisseur conforme au tableau (voir la spécification).
Les tubes peuvent être fournis suivant les types et les grades :

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

Type E : EFW Soudure par résistance électrique - Niveau A et B

Type S : Sans soudure - Niveau A et B

COMPOSITION CHIMIQUE MAXI EN %

Type	Niveau	C	Mn	S	P	Cr (d)	Cu (d)	Mo (d)	Ni (d)	V (d)
1	A	0,25	0,95	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
	B	0,30	1,20	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
2	A	0,25	0,95	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
	B	0,30	1,20	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
7	A	0,30	1,20	0,045	0,05	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08

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

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

Type	Niveau	Fabrication	Résistance ultime minimum		Limite élastique minimum		Allongement minimum en %, en 2"
			ts	MPa	ts	MPa	
7	A	Acier Martin ou feu électrique ou oxygène basique	48,0	330	30,0	205	80 625.000 A ⁽¹⁾ / 0 ⁽²⁾ (Voir ASTM)
			48,0	330	30,0	205	
1 & 2	B		60,0	415	35,0	240	

TOLÉRANCES

Sur diamètre extérieur	Diamètre nominal ≤ 1 (1,907" O.D.)	± 1/64"	(0,40 mm)
	Diamètre nominal > 2 (2,075" O.D.)	± 1 %	
Sur épaisseur		- 12,5 %	
Sur masse		± 10 %	

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

DIMENSIONS : voir pages 40 et suivantes.

ASTM A 53 / A 53M-99b

This specification covers seamless and welded black and hot-dipped galvanized steel pipe in NPS 1/8 to 24 inches with nominal wall thickness as given in tables (see the standard).
Pipe may be furnished in the following types and grades :

Type F : Fusion arc welded (FRW) - Grade A

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

Type S : Seamless - Grades A and B

CHEMICAL REQUIREMENTS MAXI EN %

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

(d) These elements combined shall not exceed 1 %.

TENSILE REQUIREMENTS

Type	Grade	Manufacture	Minimum tensile strength		Minimum yield strength		Minimum elongation in 2", per cent
			ts	MPa	ts	MPa	
7	A	Open hearth or electric furnace or basic oxygen	48,0	330	30,0	205	80 625.000 A ⁽¹⁾ / 0 ⁽²⁾ (See ASTM standard)
			48,0	330	30,0	205	
1 & 2	B		60,0	415	35,0	240	

TOLERANCES

Outside diameter (pipe body)	NPS 1 1/2 (1,907" O.D.) and under	± 1/64"	(0,40 mm)
	NPS 2 (2,075" O.D.) and over	± 1 %	
On thickness		- 12,5 %	
On weight		± 10 %	

HYDROSTATIC TEST PRESSURE : see standard detailed specification.

DIMENSIONS : see pages 40 and following.