

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

N° d'ordre : M2...../GP/2026

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie de procédé

Spécialité : Génie des Procédés des Matériaux

Thème

**Analyse de réduction du torchage des gaz dans la section BOG
propane dans les phases i et iii au niveau du complexe GP1/Z**

Présenté par :

- BEREQUIEG Ghezlane

- HAMDOUN Hadjer

Soutenu le 13/06/2026 devant le jury composé de :

Président(e) :	BELARBI Ilhem	MCB	Université de Mostaganem
Examineur :	BOUDJELTIA Mohammed Amine	MCB	Université de Mostaganem
Encadrant (e) :	BENOSMANE Sarra	MCB	Université de Mostaganem

Année universitaire 2025 / 2026

Dédicaces

- À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien moral et leurs sacrifices qui m'ont permis d'arriver jusqu'ici.
- À mes frères et sœurs, qui ont toujours cru en moi et m'ont encouragé dans les moments difficiles merci pour tout.
- À mes enseignants, pour leur patience, leur pédagogie et leur dévouement.
- À mes amis (Fatima, Nedjma, Miyassa, Chaimae, Maroua, Nabia), pour leur présence, leurs encouragements et les moments de partage qui m'ont aidé à garder le cap.
- À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce travail.

HAMDOUD Hadjer

Dédicace

. A la mémoire de mon père

Ce travail est dédié à mon père, décédé trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part de sa fille qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout Puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !

. A ma chère mère

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour ses innombrables sacrifices. Puisse Dieu, le plus Haut, I accorder santé, bonheur et longue vie.

. A ma famille élargie, à mes tantes, oncles, cousins et cousines, dont le soutien et les encouragements ont été une source de force et de courage.

. A mes amis, qui ont partagé mes joies, mes peines et mes succès. Votre amitié est un trésor que je chérirai toujours.

BEREGUIEG Ghezlane

Remerciements

Avant tout, nous adressons nos plus sincères remerciements et notre profonde gratitude à Allah, Le Tout-Puissant, qui a illuminé notre chemin vers la connaissance, et nous a accordé la force et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des enseignants de l'Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem pour les efforts qu'ils ont déployés tout au long de notre parcours académique et scientifique.

Je souhaite adresser une reconnaissance particulière à Madame Benosmane Sarra, encadrante de ce mémoire, pour son accompagnement constant, ses conseils pertinents et son investissement précieux. Sa rigueur et sa bienveillance ont été essentielles à la qualité de ce travail .

Je remercie chaleureusement les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail scientifique.

J'exprime également ma profonde gratitude à Madame Belarbi Ilhem, président du jury, pour l'intérêt qu'elle porte à ce mémoire et pour ses observations, qui enrichiront sans aucun doute la qualité de ce travail.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à Monsieur Boudjelja Mohamed Amine, examinateur, pour avoir accepté d'examiner cette soutenance, et pour la valeur scientifique et morale que représente sa présence.

Enfin, Je n'oublie pas d'exprimer ma gratitude à tous les employés du complexe Sonatrach GP1/Z pour leur soutien, leur collaboration et les moyens mis à notre disposition, qui ont grandement contribué à la réalisation de ce travail dans des conditions professionnelles optimales.

Liste des figures

Figure I-1 : Schéma général du procédé de production du GPL.....	4
Figure 0-2 : Bacs de stockage.....	7
Figure 0-3 : sphère de charge.....	7
Figure 0-4 : La section BOG propane.....	11
Figure 0-1 : Evolution de la récupération des gaz associés (1970-2003).....	14
Figure 0-2 : Combustion complète.....	19
Figure 0-3 : Combustion incomplète.....	19
Figure III -1 : Schéma avant l'installation de la nouvelle ligne.....	24
Figure III -2 : Schéma de l'installation la nouvelle ligne.....	25
Figure III-3 : Nouvelle ligne de récupération des gaz torchés.....	27
Figure III-4 : Schéma de calcul de la ligne de récupération.....	31
Figure III-5 : Vanne de garde du type Globe valve.....	32
Figure III-6 : Diamètre et l'épaisseur de pipe.....	32

Liste des tableaux

Tableau 0I-1 :	Les principaux constituants du gaz torché.....	17
Tableau 0I-2 :	Comparaison des deux types de combustion.....	19
Tableau III-1 :	Longueur et nombre d'accessoires utilisés.....	30
Tableau III-2 :	Composition du réfrigérant.....	31

Liste des abréviations

GN	Gaz naturel
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
BOG	Boil off Gaz
BT	Base température
HP	Haute pression
BP	Basse pression
MP	Moyenne pression
M6 et D1	Navire Quais de chargement
COV	Composé organique volatil
V-0011	Ballon d'aspiration
V-0012	Ballon d'accumulation
E-0032, E-0033, E-0034	Une série d'économiseurs
E-0039	Un échangeur de chaleur
E-0031	Un condenseur type Aéroréfrigérant
Tee	Tee fitting → raccord en T

المخلص

في الوقت الحاضر، يشهد استهلاك غاز البترول المميع (GPL) ارتفاعاً ملحوظاً نظراً لأهميته كمصدر للطاقة وتأثيره البيئي المنخفض مقارنةً بالوقود التقليدي.

يهدف هذا العمل إلى تقليل كمية غاز البروبان المحروق في قسم غازات التبخر (BOG) بمركب GP1/Z ، وذلك من خلال إنشاء نظام لاسترجاع الغازات وتوجيهها نحو الأفران. وتركز الدراسة على تصميم خط استرجاع الغازات المحروقة القادمة من خزان السحب X-V0012 في المرحلتين الأولى والثالثة.

يقترح الحل إنشاء خط استرجاع بقطر 2 بوصة لكل مرحلة، يتم ربطه بمجمع مشترك لنقل الغازات المسترجعة إلى خط تغذية الأفران. ويساهم هذا الحل في تقليل خسائر الحرق، واسترجاع الطاقة، والحد من التأثير البيئي.

الكلمات المفتاحية:

الغازات المحروقة، غاز البترول المميع (GPL) ، غازات التبخر (BOG) ، نظام الاسترجاع، التأثير البيئي، مركب GP1/Z.

Abstract

Nowadays, the consumption of Liquefied Petroleum Gas (LPG) is increasing significantly due to its energy importance and its lower environmental impact compared to conventional fuels.

This work aims to reduce the amount of flared propane in the BOG section of the GP1/Z complex by implementing a gas recovery system to redirect the recovered gases to the furnaces. The study focuses on the sizing of the flare gas recovery line from the suction drum X-V0012 in Phases I and III.

The proposed solution consists of installing, for each phase, a 2-inch recovery line connected to a common header in order to route the recovered gases to the furnace supply line. This solution helps reduce flaring losses, recover valuable energy, and minimize environmental impact.

Keywords:

Flare gas, LPG, Boil-Off Gas (BOG), Recovery system, Environmental impact, GP1/Z complex.

Résumé

De nos jours, la consommation du gaz de pétrole liquéfié (GPL) connaît une forte augmentation grâce à son importance énergétique et à son faible impact environnemental par rapport aux combustibles traditionnels.

Ce travail vise à réduire le taux de propane torché au niveau de la section BOG du complexe GP1/Z, en mettant en place un système de récupération des gaz pour les rediriger vers les fours. L'étude porte sur le dimensionnement de la ligne de récupération des gaz torchés du ballon d'aspiration X-V0012 des phases I et III.

La solution proposée consiste à installer, pour chaque phase, une ligne de récupération de 2'' pouces reliée à un collecteur commun, afin d'acheminer les gaz récupérés vers la ligne d'alimentation des fours. Cette solution permet de réduire les pertes par torchage, de valoriser l'énergie récupérée et de limiter l'impact environnemental.

Mots-clés :

Gaz torché, GPL, Boil-Off Gas (BOG), Système de récupération, Impact environnemental, complexe GP1/Z

Table des matières

Dédicaces	i
Remerciements	iii
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	v
Liste des abréviations	vi
المخلص.....	vii
Introduction Générale	- 1 -
Chapitre I : Étude du Procédé GPL et la section BOG	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Généralités sur le GPL	3
I.3 Origine et sources de production du GPL.....	3
I.4 Principaux domaines d'utilisation du GPL	4
I.5 Principe de production du GPL	4
I.5.1 Prétraitement de la charge	5
I.5.2 Section de stockage de l'alimentation	5
I.5.3 Traitement du GPL brut.....	5
I.5.4 Stockage et expédition.....	6
I.5.5 Section BOG (Boil-Off Gas)	7
I.5.6 Section utilités	7
I.6 Présentation de la section de BOG	8

I.7	Description des phases I et III du complexe GP1/Z.....	8
I.7.1	La phase I	Erreur ! Signet non défini.
I.7.2	La phase III.....	Erreur ! Signet non défini.
I.8	Configuration de la section de récupération des gaz.....	9
I.9	Composition d'équipements de la section BOG propane	9
I.9.1	Ballon d'aspiration des gaz évaporés	9
I.9.2	Compresseurs et systèmes de transfert.....	10
I.9.3	Refroidisseur aéroréfrigérant.....	10
I.9.4	Ballon récupérateur	10
I.9.5	Economiseurs et dispositifs auxiliaires	10
I.10	Fonctionnement du procédé	11
I.11	Conclusion.....	- 12 -
Chapitre II : Système de Torchage		- 14 -
II.1	Introduction	- 14 -
II.2	Définition du phénomène de torchage.....	- 15 -
II.3	Fonctionnement des torches	- 15 -
II.4	Les types de torche	- 15 -
II.4.1	Système de torche à haute pression	- 15 -
II.4.2	Système de torche à base pression	- 16 -
II.5	Le torchage dans l'industrie pétrolière et gazière	- 16 -
II.6	Les causes de torchage dans le complexe GPI/Z	- 16 -
II.7	Composition chimique du gaz torche.....	- 17 -
II.8	Combustion du gaz de torche	Erreur ! Signet non défini.

II.8.1	Combustion complète.....	- 18 -
II.8.2	Combustion incomplète.....	- 18 -
II.9	Comparaison entre la combustion complète et incomplète du gaz de torche	- 18 -
II.10	Type de torchage	- 19 -
II.10.1	Torchage continu.....	- 20 -
II.10.2	Torchage opérationnel.....	- 20 -
II.10.3	Torchage d'arrêt et de démarrage des unités de production.....	- 20 -
II.10.4	Torchage d'urgence.....	- 20 -
II.11	Impact économique des gaz torchés	- 20 -
II.12	Impact sur l'environnement.....	- 21 -
II.13	Conclusion.....	- 22 -
Chapitre III : Résultat et Problème Technique		- 23 -
III.1	Introduction	- 23 -
III.2	Analyse de la situation existante	- 23 -
III.3	Stratégie de mise en œuvre.....	- 24 -
III.4	Description des équipements de la nouvelle installation.....	- 25 -
III.5	Dimensionnement de la nouvelle ligne de récupération des gaz torchés	- 26 -
III.6	Méthodologie de calcul	- 27 -
III.6.1	Vitesse d'écoulement du gaz.....	- 27 -
III.6.2	Nombre de Reynolds.....	- 28 -
III.6.3	Pertes de charge.....	- 28 -
III.6.4	Epaisseur du collecteur.....	- 30 -
III.7	Partie de calcul.....	- 30 -

III.8	Paramètre de la pipe	- 32 -
III.9	Calcul de la nouvelle ligne phase I et phase III.....	- 33 -
III.9.1.	Calcul de la masse molaire	- 33 -
III.9.2.	Calcul de la masse volumique	- 34 -
III.9.3.	Calcul de diamètre intérieur	- 34 -
III.9.4.	Calcul de la vitesse d'écoulement	- 34 -
III.9.5.	Calcul du nombre de Reynolds.....	- 34 -
III.9.6.	Calcul de la perte de charge ΔP_T	- 35 -
III.9.7.	Les calculs pour le collecteur	- 37 -
III.9.8.	Calcul de la perte de charge sur le collecteur	- 38 -
III.9.9.	Perte de charge sur toute la ligne de récupération	- 39 -
III.10	Conclusion.....	- 32 -
	Conclusion générale	- 41 -
	Annexe.....	- 43 -
	Bibliographie	- 48 -

Introduction Générale

Le pétrole et le gaz naturel représentent les principales ressources énergétiques de l'Algérie et constituent un pilier essentiel de son économie. Le développement et la valorisation de ces ressources reposent principalement sur l'industrie des hydrocarbures, dont l'acteur majeur est la société nationale SONATRACH [1]. Cette entreprise assure l'ensemble des activités liées à la recherche, à la production, au transport, à la transformation et à la commercialisation des hydrocarbures.

Parmi les infrastructures stratégiques exploitées par SONATRACH figure le complexe GP1/Z, connu sous le nom de « JUMBO GPL », considéré comme l'un des plus importants complexes de traitement du GPL au monde. Sa mission principale consiste à traiter et à séparer le GPL brut provenant des champs du Sud algérien afin de produire du propane et du butane destinés à la commercialisation [2].

Les produits stockés à basse température présentent cependant une tendance naturelle à l'évaporation sous l'effet des conditions de stockage. Afin de limiter les pertes de produits et de maintenir la pression des réservoirs dans des limites de sécurité acceptables, le complexe est équipé d'un système de récupération des gaz d'évaporation (BOG – Boil-Off Gas), comprenant notamment des unités de reliquéfaction du propane et du butane [3].

Dans une optique d'amélioration de l'efficacité énergétique et de réduction des pertes d'hydrocarbures, ce travail s'intéresse à l'étude de la récupération des gaz torchés au niveau du complexe GP1/Z.

Les deux premiers chapitres de ce mémoire sont consacrés à la partie théorique et traitent des aspects suivants :

- La présentation générale de l'industrie du GPL ainsi que du complexe GP1/Z, en mettant en évidence son rôle dans la chaîne de valorisation des hydrocarbures.
- L'étude du procédé de traitement et de séparation du GPL brut, ainsi que le fonctionnement de la section BOG (Boil-Off Gas) destinée à la récupération des vapeurs générées lors du stockage des produits à basse température.

- L'analyse du système de torchage, de ses différentes composantes et de son importance pour la sécurité et la continuité des opérations industrielles.
- L'identification des sources de pertes de gaz au niveau du complexe et l'évaluation des possibilités de leur récupération et de leur valorisation.

Le troisième chapitre est consacré à la partie pratique, qui comprend :

- L'étude technique de la récupération des gaz torchés au sein du complexe GP1/Z.
- Le dimensionnement de la ligne de récupération proposée en tenant compte des conditions opératoires du procédé.
- Le calcul mécanique de la tuyauterie, notamment la détermination de l'épaisseur requise afin de garantir la sécurité et la fiabilité de l'installation.
- L'évaluation des bénéfices techniques et économiques liés à la mise en œuvre de cette solution.

À travers ce travail, nous cherchons à mettre en évidence l'intérêt de la récupération des gaz torchés comme moyen de réduire les pertes d'hydrocarbures, d'améliorer les performances du complexe et de contribuer à une exploitation plus rationnelle et plus respectueuse des ressources énergétiques.

Chapitre I :

Étude du Procédé GPL et la section BOG

I.1. Introduction

Le complexe GP1/Z de Sonatrach, situé dans la zone industrielle d'Arzew, est l'un des principaux complexes de traitement du GPL en Algérie. Alimenté principalement par les gisements de Hassi Messaoud et de Hassi R'Mel, il assure la production de propane et de butane destinés au marché national et à l'exportation [1].

La section BOG (Boil-Off Gas) Propane occupe une place importante dans le fonctionnement du complexe. Elle permet de récupérer et de recycler les gaz d'évaporation générés lors du stockage et du transfert des hydrocarbures liquéfiés, contribuant ainsi à la sécurité des installations, à la stabilité du procédé et à la réduction des pertes énergétiques [4,5].

I.2. Généralités sur le GPL

Le Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL) est un mélange d'hydrocarbures légers composé principalement de propane (C_3H_8) et de butane (C_4H_{10}) [6]. À température ambiante, ces gaz peuvent être facilement liquéfiés sous une pression relativement faible, ce qui facilite leur stockage et leur transport. Cette propriété permet de réduire considérablement leur volume, le GPL liquide occupant environ 250 fois moins d'espace que sous forme gazeuse. Les GPL sont obtenus principalement lors du traitement du gaz naturel et du raffinage du pétrole [7]. Ils sont largement utilisés comme combustible domestique, carburant et matière première dans l'industrie pétrochimique .

I.3. Origine et sources de production du GPL

Le GPL traité au niveau du complexe GP1/Z provient de plusieurs sources de production. Les principales quantités sont acheminées depuis les centres de traitement de Hassi Messaoud, Hassi R'Mel et In Amenas [8]. Le GPL est également obtenu par récupération lors du traitement des gaz associés issus des champs pétroliers, comme sous-produit des unités de liquéfaction du

gaz naturel (GNL), ainsi qu'au cours des opérations de raffinage du pétrole brut. Enfin, il peut être récupéré directement à partir des champs gaziers lors des différentes étapes de traitement du gaz naturel.

I.4. Principaux domaines d'utilisation du GPL

Grâce à ses propriétés énergétiques et à sa facilité de stockage et de transport, le Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL) est utilisé dans plusieurs domaines. Il sert notamment de carburant pour les véhicules sous forme de GPL carburant (GPL/c). Il est également employé dans certains systèmes de réfrigération et de climatisation, où ses propriétés thermodynamiques permettent la production de froid. Par ailleurs, le GPL constitue une importante source d'énergie domestique, utilisée pour la cuisson, le chauffage de l'eau et le chauffage des habitations. De nombreux équipements ménagers sont aujourd'hui conçus pour fonctionner efficacement au propane ou au butane [9], contribuant ainsi à une utilisation énergétique pratique et économique.

I.5. Principe de production du GPL

Le complexe GP1/Z est constitué de neuf trains de traitement fonctionnant en parallèle. Il dispose également d'installations communes dédiées à la réception de la charge, au stockage, au chargement des produits finis ainsi qu'à la reliquéfaction des vapeurs [8]. Chaque train est conçu pour assurer une capacité nominale de production d'environ un million de tonnes par an de propane et de butane commerciaux [4].

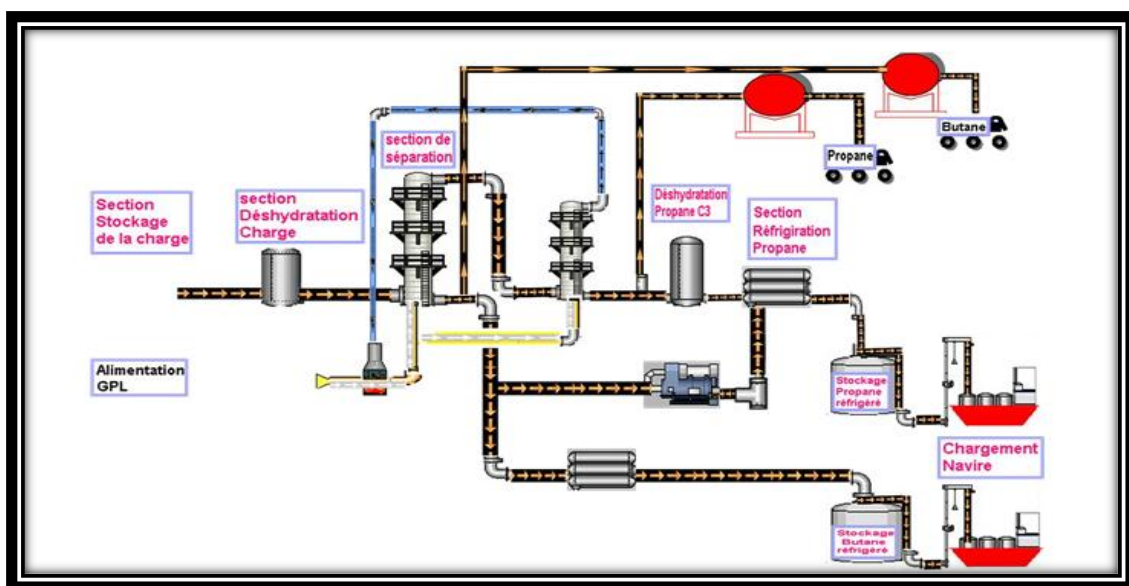


Figure I-1: Schéma générale du procédé de production du GPL.

La Figure I.1 présente une vue d'ensemble du procédé de production du GPL au complexe GP1/Z. Ce procédé comprend plusieurs étapes successives qui sont :

I.5.1 Prétraitement de la charge

La charge de GPL est acheminée vers le complexe GP1/Z depuis les différents champs du Sud algérien via le réseau de transport. À son arrivée, elle traverse un système de régulation permettant de maintenir une pression stable avant de passer dans des unités de démercurisation. Ces équipements ont pour fonction d'éliminer les traces de mercure afin de protéger les installations de traitement et d'éviter les phénomènes de corrosion.

I.5.2 Section de stockage de l'alimentation

Le GPL brut reçu constitue l'alimentation principale des neuf trains de production. Il est stocké dans seize sphères réparties en quatre groupes avant d'être envoyé vers les unités de traitement à l'aide de pompes de transfert. Cette étape garantit une alimentation continue et régulière des différents trains de procédé.

I.5.3 Traitement du GPL brut

a - Section de déshydratation

La déshydratation a pour objectif d'éliminer l'eau dissoute dans le GPL brut afin d'éviter la formation d'hydrates susceptibles de perturber le fonctionnement des équipements de réfrigération. Le procédé utilise trois adsorbants à tamis moléculaires fonctionnant selon des cycles alternés d'adsorption, de régénération et de mise en réserve. Pendant l'exploitation, un adsorbant est en service, un second est en régénération et le troisième reste disponible en attente. La régénération comprend plusieurs étapes successives : drainage, dépressurisation, chauffage, refroidissement, remise sous pression et remplissage, permettant ainsi de restaurer les capacités d'adsorption des tamis moléculaires.

b - Section de séparation

Après le séchage, le GPL est dirigé vers la section de séparation, où il est fractionné en propane et en butane. Cette opération est réalisée au moyen d'un fractionneur produisant le propane en tête de colonne et le butane en fond de colonne. Le propane obtenu est ensuite traité dans un dééthaniseur afin de réduire sa teneur en éthane, tandis que le butane peut être envoyé vers un dépentaniseur lorsque sa teneur en pentanes dépasse les spécifications requises. Une

partie des produits est stockée à température ambiante, tandis que le reste est destiné au stockage frigorifique.

c - Section de réfrigération

La section de réfrigération assure le refroidissement du propane et du butane jusqu'à leurs températures de stockage respectives, soit environ $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour le propane et $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour le butane. Le procédé utilise du propane pur comme fluide réfrigérant circulant en boucle fermée. Les vapeurs générées lors du refroidissement sont récupérées puis comprimées par un compresseur centrifuge à plusieurs étages avant d'être réintroduites dans le circuit frigorifique.

d - Section d'huile chaude

La section d'huile chaude fournit l'énergie thermique nécessaire à plusieurs opérations du procédé. L'huile caloporteuse circule en circuit fermé et est chauffée dans un four jusqu'à une température d'environ $180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cette énergie est utilisée notamment pour le préchauffage de la charge, l'alimentation des rebouilleurs de la section de séparation ainsi que pour la régénération des adsorbants de la section de déshydratation.

I.5.4 Stockage et expédition

a - Stockage à basse température

Le stockage des produits finis à basse température est assuré par huit bacs, dont quatre dédiés au propane (C3) et quatre au butane (C4), chacun ayant une capacité de $70\,000\text{ m}^3$. Ces réservoirs à double paroi permettent de conserver les produits à l'état liquide à des températures contrôlées, soit environ $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour le propane et $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour le butane, garantissant ainsi leur stabilité et leur sécurité de stockage.



Figure I-2: Bacs de stockage.

b - Stockage à température ambiante

Le complexe dispose également de cinq sphères de stockage à température ambiante, chacune d'une capacité de 500 m³, utilisées principalement pour le chargement des camions-citernes. Une sphère est réservée au propane, trois au butane et une au pentane, ce qui permet une gestion flexible des différents produits.



Figure I-3 : sphère de charge.

I.5.5 Section BOG (Boil-Off Gas)

La section BOG assure la récupération des gaz d'évaporation générés au niveau des bacs de stockage ainsi que lors des opérations de chargement des navires sur les jetées D1 et M6. Ces gaz sont comprimés à l'aide de compresseurs, puis refroidis dans des échangeurs thermiques avant d'être réinjectés vers les bacs de stockage sous forme liquide. Le système de récupération est constitué de deux unités indépendantes, l'une dédiée au propane et l'autre au butane, afin d'optimiser la récupération des pertes. La section suivante est consacrée à l'étude de ce phénomène.

I.5.6 Section utilités

La section utilités regroupe l'ensemble des installations nécessaires au bon fonctionnement du complexe. Elle assure la production et la distribution des différents fluides et services indispensables au procédé, notamment le gaz naturel, l'eau distillée, l'eau de refroidissement, l'eau industrielle, le gasoil, le fuel gaz, la vapeur, l'azote ainsi que l'air instrument et l'air de service.

I.6. Présentation de la section de BOG

La section BOG (Boil-Off Gas) est destinée à assurer le maintien des conditions de pression dans les réservoirs cryogéniques de propane et de butane lors des opérations de stockage et de chargement. Afin de répondre aux exigences d'exploitation, la pression de stockage est maintenue entre 300 et 800 mm Hg (pression effective), ce qui permet de limiter les pertes de produit et de garantir la sécurité des installations [10].

L'installation comprend deux unités de reliquéfaction distinctes, l'une dédiée au propane et l'autre au butane. Toutefois, ces unités sont conçues de manière à pouvoir traiter les gaz évaporés provenant indifféremment des réservoirs de propane ou de butane, offrant ainsi une plus grande flexibilité opérationnelle. Le système est dimensionné pour fonctionner dans les conditions les plus contraignantes, correspondant au niveau maximal des réservoirs cryogéniques, lequel varie entre 3,5 et 28,8 m [11].

La capacité nominale de l'unité de reliquéfaction du propane est de 43,52 t/h, tandis que celle de l'unité de reliquéfaction du butane est de 28,63 t/h.

Les principales sources de gaz traités par la section BOG sont :

- Les gaz d'évaporation issus des réservoirs cryogéniques ;
- Les gaz de retour provenant des terminaux de chargement D1 et M6.

Le traitement de ces gaz au sein de la section BOG s'effectue suivant plusieurs phases successives. Ces différentes phases sont présentées ci-après.

I.7. Description des phases I et III du complexe GP1/Z

Les deux phases du complexe GP1/Z constituent des unités essentielles de traitement du GPL. Elles assurent différentes opérations industrielles telles que le refroidissement, la liquéfaction et la récupération des hydrocarbures, tout en garantissant la continuité et la sécurité de la production. Chaque phase possède des caractéristiques techniques et opérationnelles spécifiques contribuant au bon fonctionnement global du complexe.

I.7.1. La phase I

La phase I du complexe GP1/Z est la première unité industrielle mise en service pour le traitement et la séparation du GPL, principalement le propane et le butane. Elle comprend des trains de traitement équipés de colonnes de distillation, compresseurs, échangeurs thermiques et systèmes de réfrigération. Les réservoirs de stockage et les systèmes BOG permettent de récupérer les gaz évaporés et de limiter les pertes. Cette phase a été conçue pour fournir des produits conformes aux spécifications commerciales tout en assurant la sécurité des installations.

I.7.2. La phase III

La phase III représente une extension du complexe pour augmenter la capacité de production et améliorer l'efficacité du traitement du GPL. Elle possède des installations similaires à la phase I, avec des colonnes de distillation, compresseurs, échangeurs thermiques et systèmes de réfrigération. Le système BOG y est également présent, permettant la récupération des gaz évaporés et leur redirection vers le procédé ou le torchage selon les besoins.

I.8. Configuration de la section de récupération des gaz

La section de récupération est constituée de deux ensembles indépendants, l'un dédié au propane et l'autre au butane [12]. Dans le cadre de cette étude, l'analyse sera centrée exclusivement sur la section propane.

I.9. Composition Des équipements de la section BOG propane

La section BOG au propane utilise le même principe de cycle frigorifique, et comprend :

- Un ballon d'aspiration (V-0011)
- Un ensemble de 5 compresseurs (4 compresseurs triphasés peuvent fonctionner en parallèle le cinquième est de secours)
- Un condenseur refroidi par air (E-0031).
- Un réservoir de récupération des condensats (V-0012).
- Une série d'économiseurs (E-0032, E-0033, E-0034).

I.9.1 Ballon d'aspiration des gaz évaporés

Le ballon d'aspiration V-0011, de conception verticale, assure à la fois la décantation du propane liquide et la régulation du débit requis pour l'aspiration des compresseurs, jouant ainsi un rôle central dans le fonctionnement de la section BOG

I.9.2. Compresseurs et systèmes de transfert

Pour le propane, la section BOG comprend cinq compresseurs à pistons actionnés par des moteurs électriques. Leur fonctionnement varie en fonction du volume de vapeur aspirée et de la température présente dans les réservoirs.

I.9.3. Refroidisseur aéroréfrigérant

Les vapeurs de propane compressées sont condensées en liquide à l'aide du refroidisseur aéroréfrigérant, qui utilise l'air pour évacuer la chaleur.

I.9.4. Ballon récupérateur

Le ballon récupérateur V-0012 sert à stocker le condensat de propane et à assurer l'alimentation des trois étages de réfrigération, à savoir les économiseurs HP, MP et BP. Il joue un rôle clé dans le maintien d'un flux continu de liquide vers les différentes sections du système de réfrigération

I.9.5. Economiseurs et dispositifs auxiliaires

Les économiseurs sont des échangeurs de chaleur dans lesquels le propane circule à la fois dans les tubes et dans la calandre. Le transfert thermique provoque le refroidissement du propane à l'intérieur des tubes et la vaporisation du propane contenu dans la calandre.

Les vapeurs de propane issues du sommet des économiseurs MP (E-0033) et HP (E-0032) sont récupérées respectivement par les compresseurs du deuxième et du troisième étage. Quant aux vapeurs provenant de l'économiseur BP (E-0034), elles sont renvoyées vers la ligne d'entrée du ballon d'aspiration.

Ce fonctionnement en circuit fermé permet de récupérer la majeure partie du propane évaporé, limitant ainsi les pertes et optimisant le rendement du système .

La figure I.1 ci-dessous représente la section BOG propane.

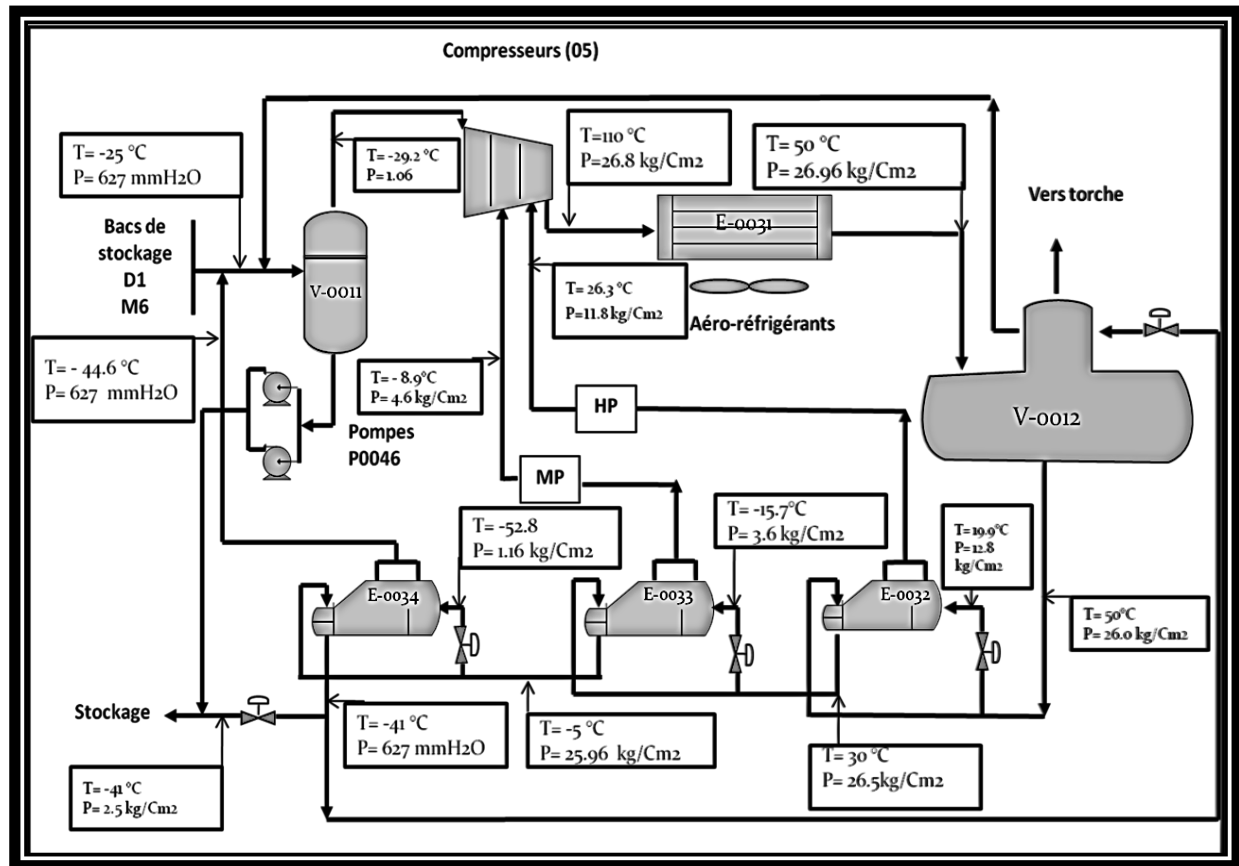


Figure I-4 : La section BOG propane.

I.10. Fonctionnement du procédé

Le propane évaporé, contenant une proportion significative d'éthane pouvant atteindre 25 % en volume, est dirigé vers le ballon d'aspiration du compresseur. Ce flux gazeux est issu de deux sources principales :

La première source provient de la zone de stockage à basse température. Dans cette zone, le propane liquide subit une évaporation naturelle due aux échanges thermiques avec l'environnement et au volume de liquide présent dans les réservoirs. Par ailleurs, lors du remplissage des réservoirs par du propane produit, la vapeur existante est progressivement déplacée. La vapeur détendue provenant de la section de réfrigération est également introduite directement dans le collecteur des gaz évaporés de la zone de stockage à basse température.

La deuxième source de gaz correspond aux vapeurs générées lors des opérations de chargement des navires. Ces gaz sont également captés et acheminés vers le ballon d'aspiration du compresseur [3]. À la sortie du ballon d'aspiration, le gaz est aspiré par l'étage basse pression (BP) du compresseur. Pour limiter la température du gaz aspiré à un maximum de $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, un condensat préalablement refroidi est injecté dans la conduite alimentant le ballon. Après compression dans l'étage BP, le gaz est mélangé à la vapeur saturée provenant de l'économiseur E-0033 de l'étage moyenne pression (MP) avant d'être introduit dans cet étage. À la sortie de l'étage MP, le gaz comprimé est de nouveau mélangé à la vapeur saturée produite par l'économiseur E-0032 de l'étage haute pression (HP), avant d'entrer dans l'étage final de compression HP [4,13].

Le gaz surchauffé, à la sortie du compresseur, est ensuite condensé dans l'aérocondenseur E-0031. Les condensats sont collectés dans le réservoir V-0012, dont la pression est maintenue à un minimum de $13,5\text{ kg/cm}^2$ effectif grâce au réglage du pas des pales des ventilateurs de l'aérocondenseur. La pression peut fluctuer en fonction des conditions ambiantes et de la composition du gaz jusqu'à un maximum de $27,9\text{ kg/cm}^2$ effectif. Lorsque ce seuil est atteint, une vanne de sécurité s'ouvre pour évacuer l'excès de gaz vers la torche, composé principalement de composants inertes accumulés dans V-0012.

Les condensats accumulés sont renvoyés vers les réservoirs de stockage à basse température sous contrôle du niveau de V-0012. Avant leur retour en stockage, ces condensats traversent successivement l'économiseur E-0032 (étage HP), l'économiseur E-0033 (étage MP) et l'économiseur E-0034 (étage BP), garantissant ainsi un refroidissement optimal et une réintégration sécurisée dans la zone de stockage à basse température [14,15].

I.11. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter le complexe GP1/Z ainsi que les principales étapes de production du GPL. Une attention particulière a été portée à la section BOG, chargée de la récupération et de la reliquéfaction des gaz d'évaporation afin de limiter les pertes de produit et de garantir la sécurité des installations.

Cependant, dans certaines situations d'exploitation, les gaz excédentaires doivent être évacués de manière sécurisée. C'est dans ce contexte qu'intervient le système de torchage, qui fera l'objet du chapitre suivant.

Chapitre II :

Système de Torchage

II.1 Introduction

La réduction des gaz torchés constitue un objectif permanent pour SONATRACH. Depuis les années 1970, l'entreprise s'est engagée à diminuer le torchage des gaz associés. Cette démarche a été renforcée après la prise de conscience internationale consacrée lors du sommet de Rio de Janeiro en 1992, auquel ont participé 182 pays, dont l'Algérie. Dans cette perspective, SONATRACH considère que le développement économique doit nécessairement s'inscrire dans une logique de développement durable. Ainsi, d'importants investissements ont été réalisés afin de récupérer les gaz torchés, aussi bien au niveau des champs de production que dans les complexes de liquéfaction et les raffineries [16].

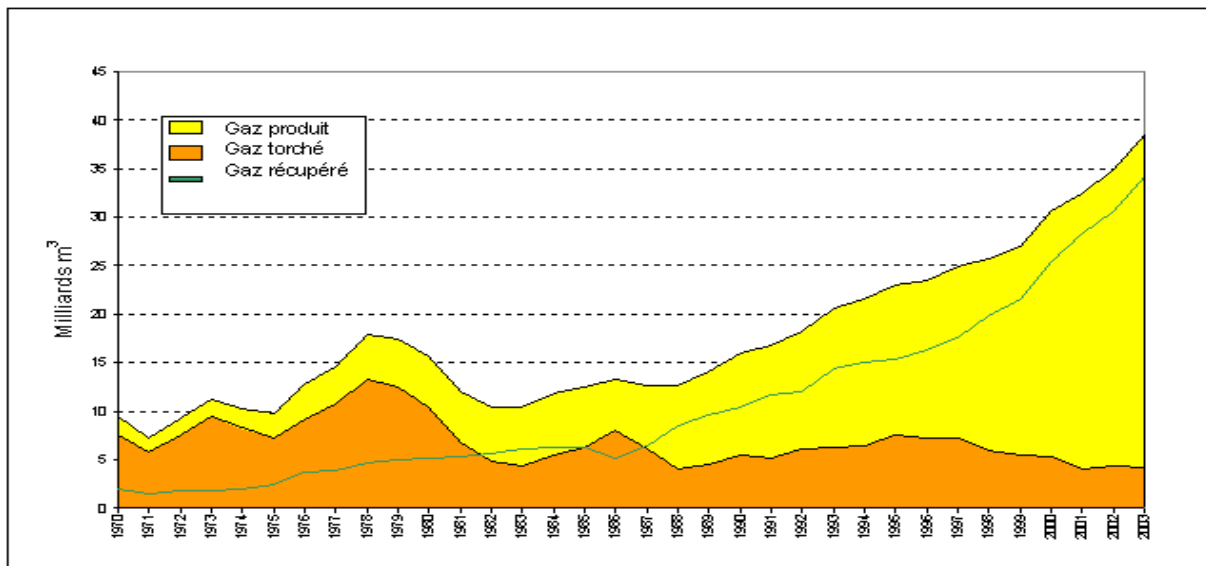


Figure II-1 : Evolution de la récupération des gaz associés (1970-2003).

II.2 Définition du phénomène de torchage

Le torchage, ou « brûlage des gaz », désigne le procédé consistant à brûler, à l'aide de torchères, les rejets de gaz naturel produits à différentes étapes de l'exploitation pétrolière et gazière [17]. Dans ce secteur, il s'agit principalement du gaz associé au pétrole brut qui ne peut pas être récupéré ou valorisé en raison de contraintes techniques, économiques ou de sécurité.

II.3 Fonctionnement des torches

Les torches constituent un système de sécurité indispensable dans les installations pétrolières et gazières. Elles sont utilisées pour évacuer et brûler les gaz excédentaires provenant des équipements de procédé afin de protéger les installations contre les surpressions et les situations dangereuses. Le système de torchage permet ainsi d'assurer la sécurité opérationnelle tout en limitant les risques d'explosion et d'accumulation de gaz inflammables.

Le fonctionnement des torches repose sur la collecte des gaz rejetés par les soupapes de sécurité, les systèmes de dépressurisation ou certaines opérations de démarrage et d'arrêt des unités. Ces gaz sont acheminés à travers un réseau de tuyauteries vers la torche où ils sont brûlés de manière contrôlée. La combustion est maintenue grâce à une veilleuse permanente et à un système d'allumage assurant la stabilité de la flamme.

Dans les complexes de liquéfaction du gaz naturel, le torchage peut également résulter de l'évacuation des gaz BOG non récupérés lors des perturbations opérationnelles ou des limitations du système de compression. Bien que le système de torche soit essentiel pour la sécurité industrielle, il représente une source de pertes énergétiques et d'émissions polluantes, ce qui nécessite la mise en place de solutions visant à réduire les volumes torchés.

II.4 Les types de torche

Le système de torchage se compose généralement de deux types principaux de torche : les torches haute pression et les torches basse pression.

II.4.1 Système de torche à haute pression

Le système de torche haute pression (HP), composé de trois torches, est conçu pour évacuer un débit pouvant atteindre 1 020 tonnes par heure. Il est destiné au traitement de vapeurs dont la pression varie entre 7,5 et 0,05 kgf/cm². La hauteur de la torche est de 130 mètres.

II.4.2 Système de torche à basse pression

Le système de torche basse pression (BP), constitué de deux torches, est dimensionné pour une capacité de 180 tonnes par heure. Il permet l'évacuation de vapeurs dont la pression varie entre 2,0 et 0,005 kgf/cm². La hauteur de cette torche est de 90 mètres.

II.5 Le torchage dans l'industrie pétrolière et gazière

Le torchage est généralement considéré comme une méthode à la fois sûre et efficace pour l'élimination du gaz naturel hors spécifications associé à la production des gaz de pétrole liquéfiés (GPL). Il constitue la technique la plus couramment utilisée pour évacuer les gaz inflammables non valorisables. Par ailleurs, le torchage est également employé pour la dépressurisation des équipements ou des sections de traitement du gaz, que ce soit lors des opérations normales de maintenance, en cas d'arrêt d'urgence ou encore au cours des phases de démarrage des installations.

II.6 Les causes de torchage dans le complexe GP1/Z

En l'absence de solutions adéquates pour l'évacuation ou la valorisation du gaz, le torchage constitue une méthode couramment utilisée, bien qu'elle ne soit pas toujours la plus sûre ni la plus optimale.

Le recours à la combustion du gaz s'explique par plusieurs facteurs :

- Insuffisance des infrastructures (systèmes de collecte et de compression limités).
- Contraintes liées à l'exploitation et à la maintenance des installations pétrolières.

Torchage en cas de panne :

- Défaillance des équipements (ex : vanne bloquée ouverte).
- Redémarrage du procédé après un arrêt ou un déclenchement (trip).
- Mauvais réglage des paramètres des boucles de contrôle.
- Vidange des ballons de charge ou évacuation de produits finis.

II.7 Composition chimique du gaz torché

Le gaz de torche est principalement composé de méthane. Il contient également, en proportions variables, de l'éthane, du propane, du butane, de l'azote, du dioxyde de carbone (CO_2) et, selon les caractéristiques du gisement et les conditions d'exploitation, des traces de sulfure d'hydrogène (H_2S) [17]. La composition détaillée est présentée dans le tableau suivant :

Tableau III-1 : Les principaux constituants du gaz torché.

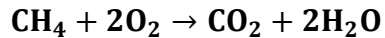
Famille	Composants chimiques
Hydrocarbures légers	Méthane (CH_4), Éthane (C_2H_6), Propane (C_3H_8), Butane (C_4H_{10})
Hydrocarbures insaturés	Éthylène (C_2H_4), Propylène (C_3H_6)
Gaz combustibles	Hydrogène (H_2), Monoxyde de carbone (CO)
Gaz inertes	Azote (N_2), Dioxyde de carbone (CO_2), Vapeur d'eau (H_2O)
Composés soufrés	Sulfure d'hydrogène (H_2S), Mercaptans (R-SH)
Traces diverses	Composés organiques volatils (COV), gaz acides

II.8 Combustion du gaz de torche

La combustion du gaz de torche est un procédé utilisé dans l'industrie pétrolière et gazière pour éliminer de manière sécurisée les gaz excédentaires produits lors des opérations d'exploitation. Ce processus consiste à oxyder les hydrocarbures présents dans le gaz en présence d'oxygène afin de produire de l'énergie sous forme de chaleur. Selon la quantité d'oxygène disponible et les conditions de combustion, celle-ci peut être complète ou incomplète [18].

II.8.1 Combustion complète

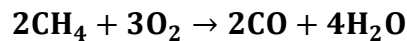
La combustion est dite complète lorsque la quantité d'oxygène est suffisante pour oxyder totalement les hydrocarbures. Dans le cas du méthane, principal constituant du gaz de torche, la réaction s'écrit :



Cette combustion produit principalement du dioxyde de carbone (CO_2), de la vapeur d'eau (H_2O) et de la chaleur. Elle est la plus efficace et génère moins de polluants.

II.8.2 Combustion incomplète

La combustion est dite incomplète lorsque l'apport en oxygène est insuffisant ou lorsque les conditions de mélange entre le gaz et l'air sont défavorables. Dans ce cas, une partie du carbone n'est pas totalement oxydée, ce qui entraîne la formation de monoxyde de carbone (CO), de particules de suie (carbone solide) et d'hydrocarbures imbrûlés. Une réaction simplifiée peut s'écrire:



La combustion incomplète est moins efficace et contribue davantage à la pollution atmosphérique en raison des émissions de CO , de suie et d'autres composés nocifs.

II.9 Comparaison entre la combustion complète et incomplète du gaz de torche

Le tableau II.2 présente une comparaison entre la combustion complète et la combustion incomplète du gaz de torche. Il met en évidence les principales différences en termes de conditions de combustion, de produits formés, de rendement énergétique et d'impact environnemental.

Tableau III-2 : Comparaison des deux types de combustion.

Caractéristique	Combustion complète	Combustion incomplète
Quantité d'oxygène	Suffisante	Insuffisante
Produits principaux	CO ₂ et H ₂ O	CO, suie, H ₂ O et hydrocarbures imbrûlés
Couleur de la flamme	Bleue, peu lumineuse (Figure II-2)	Jaune/orangée, fumante (Figure II-3)
Rendement énergétique	Élevé	Plus faible
Impact environnemental	Relativement réduit	Plus important

Ainsi, dans les systèmes de torchage, l'objectif est de maintenir des conditions favorisant une combustion aussi complète que possible afin de réduire les émissions polluantes et d'améliorer la sécurité des installations.

**Figure II-2** : Combustion complète.**Figure II-3** : Combustion incomplète.

II.10 Type de torchage

Dans l'industrie pétrolière et gazière, les torches et les dispositifs de mise à l'air libre constituent des équipements essentiels pour la gestion sécurisée des gaz résiduels. Ces gaz

peuvent provenir de rejets continus, d'émissions intermittentes ou encore d'opérations transitoires telles que les phases de démarrage, d'arrêt ou d'urgence. En fonction de leur origine et de leur mode d'émission, plusieurs types de torchage peuvent être distingués :

II.10.1 Torchage continu

L'extraction de pétrole s'accompagne systématiquement de la production de gaz. Ce gaz se forme à la fois dans les conduites de remontée du pétrole et dans les installations de traitement, qui servent à éliminer les impuretés du pétrole. Généralement, les compagnies pétrolières utilisent ce gaz pour produire l'énergie nécessaire au fonctionnement des plateformes de traitement.

II.10.2 Torchage opérationnel

Lors d'un incident technique sur une installation pétrolière, le gaz présent dans les équipements doit être évacué et brûlé pour des raisons de sécurité. Cette opération, appelée torchage opérationnel, est effectuée de manière intermittente et concerne uniquement le volume de gaz contenu dans l'installation au moment de l'événement.

II.10.3 Torchage d'arrêt et de démarrage des unités de production

Le torchage peut être effectué de manière continue mais temporaire, notamment lors du démarrage d'une nouvelle installation ou pendant les arrêts programmés des unités, ce qu'on appelle le torchage d'arrêt. Il existe également un torchage intempestif, lié aux déclenchements imprévus des installations.

II.10.4 Torchage d'urgence

Le gaz produit lors de difficultés d'exploitation ou de coupures d'électricité est évacué par combustion.

II.11 Impact économique des gaz torchés

La réduction du torchage des gaz présente un véritable intérêt économique. Depuis 1973, 32 projets de récupération ont été réalisés. Parallèlement, les volumes de gaz associés produits ont presque quadruplé au cours des 33 dernières années. Le taux de torchage, qui atteignait 80 % en 1970, a fortement diminué pour s'établir à 11 % en 2003, puis à 7 % en 2005. Sur la

période 1980–2005, la compagnie a ainsi récupéré environ 411,32 milliards de m³ de gaz. À travers cette stratégie, Sonatrach s’inscrit dans une vision tournée vers l’avenir [16].

II.12 Impact sur l’environnement

Le torchage, qui constitue un gaspillage d’une ressource non renouvelable, représente également un problème environnemental majeur. Il engendre diverses nuisances telles que la pollution atmosphérique, le bruit, les odeurs et les fumées, altérant ainsi la qualité de vie. De plus, les émissions issues de la combustion contribuent au réchauffement climatique en augmentant la concentration des gaz à effet de serre [19].

a - L’effet de serre

Certains gaz présents en faibles quantités dans l’atmosphère, appelés « gaz à effet de serre », jouent un rôle similaire à celui des parois d’une serre. Ils permettent le passage du rayonnement solaire jusqu’à la surface terrestre, tout en retenant une partie de l’énergie réémise vers l’espace, contribuant ainsi à un effet de rétention thermique.

Parmi ces gaz, les plus importants sont d’origine naturelle, bien qu’il en existe d’autres. On peut citer notamment :

- La vapeur d’eau, qui représente environ 2 à 3 % de l’atmosphère ;
- Le dioxyde de carbone (CO₂), dont la concentration actuelle est d’environ 0,035 %.

Sans cet effet de serre naturel, la température moyenne à la surface de la Terre serait d’environ -15 °C au lieu de +15 °C, rendant la planète inhabitable.

Ainsi, l’expression « effet de serre » est souvent utilisée de manière inappropriée pour désigner un phénomène négatif. Il est plus exact de parler de « réchauffement climatique » lorsqu’il s’agit de son intensification. En réalité, ce n’est pas le phénomène naturel lui-même, indispensable à la vie, qui pose problème, mais son amplification due aux activités humaines.

b - Le réchauffement climatique

En raison de l’augmentation de l’effet de serre, une plus grande part du rayonnement infrarouge reste piégée dans l’atmosphère, ce qui entraîne un réchauffement de l’air et de la surface terrestre. En conséquence, la terre émet davantage d’énergie, puisque la quantité

d'énergie rayonnée augmente avec la température. Ce phénomène provoque des modifications du climat et des conditions météorologiques (températures, régimes de vents, quantité et nature des précipitations), avec de multiples répercussions sur les écosystèmes naturels.

II.13 Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter le système de torchage du complexe GP1/Z ainsi que les différents équipements qui le composent. Son rôle est primordial pour assurer l'évacuation et la combustion sécurisée des gaz excédentaires générés lors des différentes phases d'exploitation. Grâce à ce système, la sécurité des installations est renforcée tout en garantissant le respect des exigences opérationnelles.

Le chapitre suivant sera consacré à la présentation et à l'analyse des résultats obtenus pour la nouvelle ligne,

Chapitre III :

Résultat et Problème Technique

III.1 Introduction

La récupération des gaz évaporés constitue un enjeu important pour l'optimisation des performances énergétiques et la réduction des pertes de produit dans les installations de traitement du GPL. Au niveau des sections BOG propane des phases I et III du complexe GP1/Z, une quantité significative de gaz est actuellement dirigée vers la torche en raison des limitations du système de récupération existant. Cette situation engendre non seulement des pertes économiques, mais également une augmentation de la consommation énergétique et des émissions atmosphériques.

Dans ce contexte, il apparaît nécessaire de mettre en place une solution permettant de valoriser ces gaz torchés et d'améliorer l'efficacité globale du procédé. Ce chapitre est consacré à l'étude et au dimensionnement d'une nouvelle ligne de récupération des gaz issus du ballon d'aspiration X V0012. Les principaux paramètres de conception, tels que le diamètre des conduites, la vitesse d'écoulement, l'épaisseur des collecteurs et les pertes de charge, seront déterminés afin de garantir un fonctionnement sûr, fiable et adapté aux exigences opérationnelles du complexe GP1/Z.

III.2 Analyse de la situation existante

Les gaz dirigés vers la torche proviennent principalement des variations de la composition du GPL, notamment de la présence de composants légers tels que le méthane (C1) et l'éthane (C2). Dans les phases I et III du complexe GP1/Z, l'importance du torchage engendre plusieurs conséquences défavorables, parmi lesquelles :

- Une augmentation de la consommation énergétique des compresseurs ;
- Des pertes significatives de produit ;

- Une baisse de l'efficacité globale du système BOG.

Afin de remédier à cette situation, une étude de faisabilité a été menée pour récupérer les gaz issus du ballon d'aspiration X-V0012, situé à la sortie de l'échangeur E0039, et les acheminer vers le collecteur d'alimentation en gaz naturel (GN) des fours des trains de procédé. Cette solution vise à réduire les quantités de gaz torchés, à améliorer les performances du système BOG et à limiter l'impact environnemental associé au torchage.



Figure III -1 : Schéma avant l'installation de la nouvelle ligne de récupération .

III.3 Stratégie de mise en œuvre

L'étude propose l'installation de deux lignes de 2" pour la récupération des gaz au niveau des phases I et III, connectées à un collecteur unique. Les gaz récupérés à la sortie de l'échangeur E-0039 seront redirigés vers la ligne d'équilibrage 8" NG2000 D1Y pour alimenter les fours, ce

qui permet de limiter le torchage, d'exploiter efficacement les gaz et d'optimiser le rendement énergétique [20].

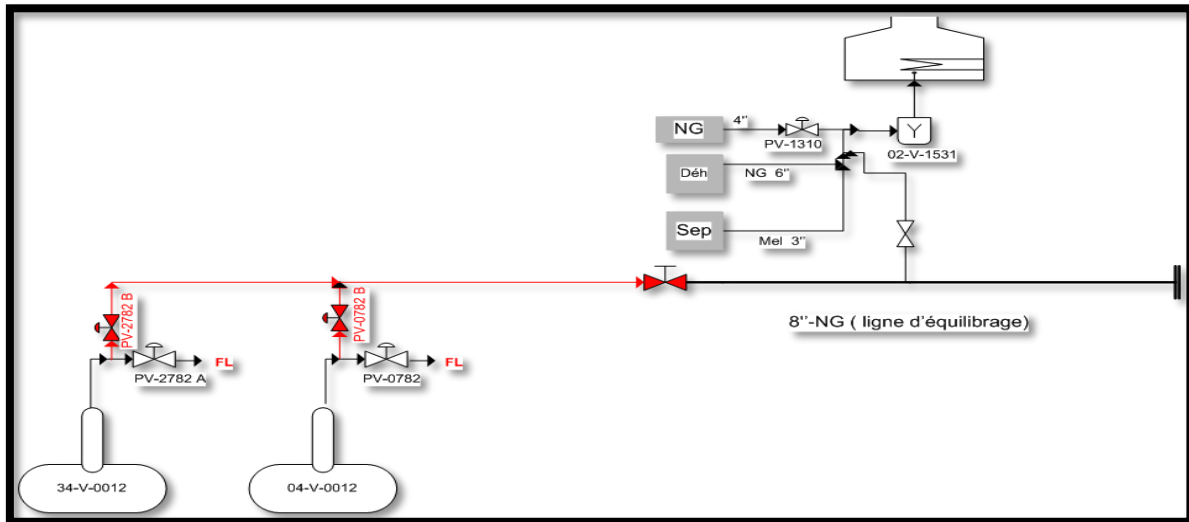


Figure III -2 : Schéma de l'installation la nouvelle ligne.

III.4 Description des équipements de la nouvelle installation

Nouvelle ligne

La nouvelle ligne sera raccordée au niveau de la bride pleine existante, située à la sortie de l'échangeur E-0039 du ballon V-0012.

Cette configuration est applicable aux phases I et III.

Nouvelle vanne

La vanne existante PV-0782 est utilisée en cas de surpression. Elle s'ouvre afin de diriger l'excédent de gaz vers le réseau de torche.

Nouveau collecteur

Les deux lignes prévues pour chaque phase seront raccordées au nouveau collecteur. Celui-ci sera prolongé jusqu'au point de raccordement avec le collecteur de fuel gaz existant (8" NG2000 D1 Y), interconnecté avec le ballon tampon GN alimentant les fours des trains PHI.

III.5 Dimensionnement de la nouvelle ligne de récupération des gaz torchés

Le dimensionnement d'une ligne de transport de gaz dépend principalement de deux paramètres : la vitesse d'écoulement et la perte de charge. Les caractéristiques essentielles à considérer sont le diamètre et l'épaisseur de la tuyauterie.

Le choix du diamètre d'une canalisation repose à la fois sur des critères opératoires et économiques. Dans le cas présent, le diamètre retenu est identique à celui de la ligne existante (2"), utilisée pour acheminer les gaz vers le réseau de torche.

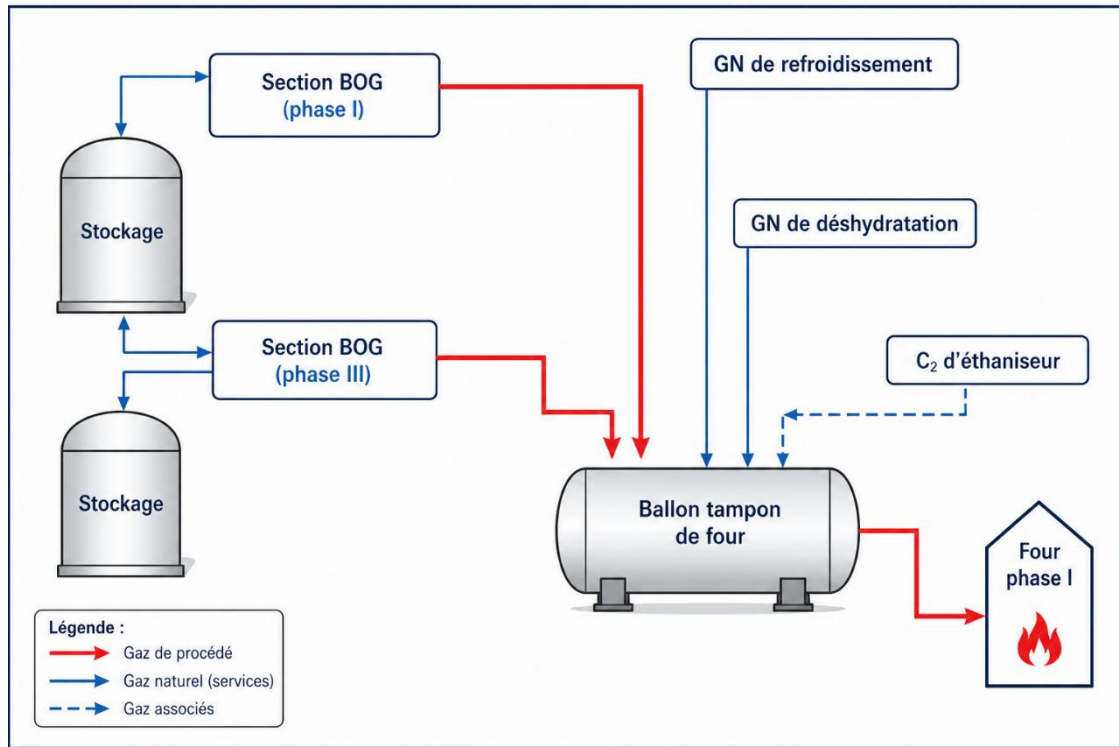


Figure III-3 : Nouvelle ligne de récupération des gaz torchés.

III.6 Méthodologie de calcul

III.6.1 Vitesse d'écoulement du gaz

Selon la loi de la continuité nous avons :

$$Q_m = \rho \times v \times s \quad (\text{III-1})$$

- v : vitesse d'écoulement du gaz en (m/s).
- s : surface d'écoulement

$$s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow v = \frac{Q_m}{s \times \rho} \Rightarrow V = \frac{4 \times Q_m}{\rho \times \pi \times D^2} \quad (\text{III-2})$$

Avec

$$\rho = \frac{PM_w}{ZRT} \quad (\text{III-3})$$

- ρ : densité du gaz (kg/m^3)
- P : pression du gaz
- M_w : masse molaire du gaz
- Z : facteur de compressibilité (corrige le comportement non idéal du gaz)
- R : constante universelle des gaz parfaits
- T : température absolue (en Kelvin)

III.6.2 Nombre de Reynolds

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

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (\text{III-4})$$

ρ : masse volumique en Kg/m^3

μ : viscosité dynamique en Kg/ms .

D : diamètre du collecteur en m.

V : vitesse d'écoulement en m/s .

III.6.3 Pertes de charge

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

➤ Perte de charge linéaire

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

$$\Delta P_L = \lambda \cdot \rho \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\text{III-5})$$

ΔP_L : Chute de pression en Kg/cm²

ρ : Masse volumique en Kg/m³

λ : Coefficient de perte de charge, déterminé en fonction du nombre de REYNOLDS et de la rugosité relative (ε/D). Avec $\varepsilon = 0.0006$ pour l'acier au carbone. (Voir annexe N° 02)

D : diamètre interne du collecteur en m.

V : vitesse d'écoulement en m/s.

g : accélération de la pesanteur, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

L : longueur du collecteur en m.

➤ Perte de charge locale (singulière)

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

$$\Delta P_s = \rho \times K \times \frac{V^2}{2g} \quad (\text{III-6})$$

K : coefficient de perte de charge locale (coude 90°, $K=0,50$ à $0,75$). Voir annexe N°10

ΔP_s : Chute de pression en Kg/cm².

ρ : Masse volumique en Kg/m³.

V : vitesse d'écoulement en m/s.

III.6.4 Epaisseur du collecteur

L'épaisseur de collecteur peut être calculée par la formule de BARLOT avec un coefficient de sécurité donné par :

$$e = \frac{P \cdot R}{\delta \cdot E + 0,4 \cdot P} + ec \quad (\text{III-7})$$

e : épaisseur de la paroi du tube (cm).

P : pression de calcul (kg/ cm².eff).

R : rayon extérieur (cm).

δ : contrainte admissible de l'acier (kg/ cm²).

E : coefficient du joint.

ec : Surépaisseur de corrosion (cm).

III.7. Partie de calcul

Durant notre stage, le torchage constaté au niveau de la section BOG a mis en évidence la nécessité de mettre en place une solution de récupération des gaz. Les modifications apportées ont été réalisées à partir de matériaux des classes D3Z (A333 Gr.3) et D1G (A333 Gr.1).

Afin de garantir la sécurité du personnel et d'assurer une exploitation sécurisée de l'installation, une vanne manuelle d'isolement a été installée sur le collecteur. Cette vanne permet notamment l'isolement du circuit ainsi que son ouverture lors des opérations de dépressurisation des ballons tampons.

De plus, des vannes (figure III-4) de détente ont été intégrées au système afin d'assurer le contrôle de la pression et de maintenir une pression d'admission compatible avec celle de la ligne de gaz naturel alimentant le four.

Le système fonctionnant en boucle fermée et conformément au principe de conservation de la masse, le débit de propane envoyé à la torchère est estimé à 400 kg/h pour chacune des phases I et III.

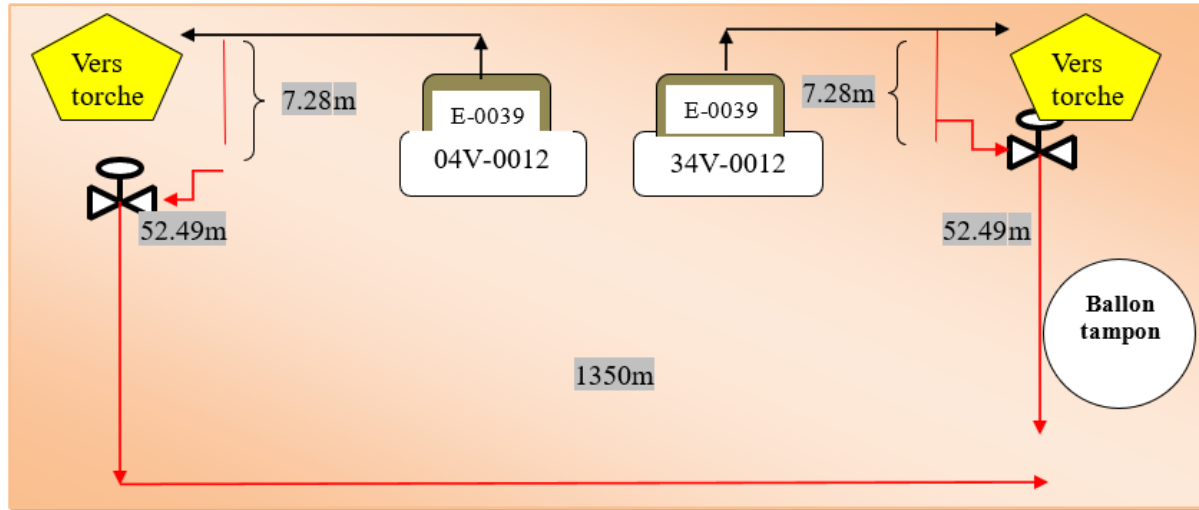


Figure III-4 : Schéma de calcul de la ligne de récupération.

La figure III-3 illustre la configuration de la ligne de récupération utilisée pour les calculs. La longueur totale relevée sur le terrain est de **1500 m**. La répartition des différents tronçons ainsi que les accessoires intégrés à cette ligne sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III-1 : Longueur et nombre d'accessoires utilisés.

	Phase I	Phase III	Collecteur
Longueur (m)	82.77	59.77	1350
Nombre de coude de 90°	23	13	47
Nombre de coude de 45°	2	2	/
Nombre de Tee	2	2	1
Nombre de vanne de garde	1	1	/
Nombre de vanne de détente	3	3	1



Figure III-5 : Vanne de garde du type Globe valve.

Le tableau III-2 présente la composition des vapeurs récupérées, déterminée à partir des analyses effectuées par le laboratoire.

Tableau III-2 : Composition du réfrigérant.

COMPOSITION	FRACTION (%)
Méthane	46.37
Ethane	20.87
Propane	32.77

III.8 Paramètre de la pipe

a - Diamètre

Le diamètre est de deux pouces (2") voir annexe N° :01

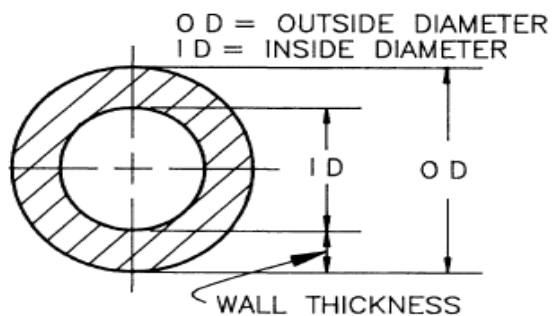


Figure III-6 : Diamètre et l'épaisseur de pipe.

b - Type du matériau du pipe

Le matériau choisi est l'acier au carbone A333 GR1; classe D1G (voir annexe N°04)

c - Calcul du l'épaisseur de la pipe

Classe de matériaux : D1G

$$P = 0.687 \text{ MPa}$$

$$R = 60.3 \text{ mm}$$

$$E = 1$$

$$\delta = 137.9 \text{ MPa}$$

$$e_c = 1.6 \text{ mm}$$

$$e = \frac{P \cdot R}{\delta \cdot E + 0.4 \cdot P} + e_c = 1,9 \text{ mm}$$

III.9 Calcul de la nouvelle ligne phase I et phase III**III.9.1. Calcul de la masse molaire**

La loi des gaz parfait $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ [III.8]

$$\text{Nombre de mole : } n = \frac{m}{M} \quad [\text{III.9}]$$

$$R = 0.082 \text{ atm l/ mol k}$$

En remplaçant dans la loi des gaz parfait et on obtiens $\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}$

$$M_{\text{moy}} = \sum M_i X_i$$

$$M_{\text{moy}} = 16 \cdot 0.46 + 30 \cdot 0.20 + 44 \cdot 0.32 = 27.88 \text{ g/mol}$$

III.9.2. Calcul de la masse volumique

$$\rho = \frac{25.18 \cdot 27.88}{0.082 \cdot (273.15 - 3.7)} = 31.77 \text{ (Kg /m}^3\text{)}$$

III.9.3. Calcul de diamètre intérieur

Depuis l'annexe 01 on a le diamètre extérieur $D_{\text{ext}} = 60.33 \text{ mm}$

Et l'épaisseur extérieure $e_{\text{ext}} = 3.91 \text{ mm}$

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

$$D_{\text{int}} = 60.33 - 2 \cdot 3.91$$

$$D_{\text{int}} = 52.48 \text{ mm} = 0.052 \text{ m}$$

III.9.4. Calcul de la vitesse d'écoulement

Selon la loi de la continuité : $V = \frac{Q_m}{S \times \rho}$

$$V = (4 \cdot 400) / (3600 \cdot 3.14 \cdot 31.77 \cdot (0.052)^2) = 1.5 \text{ m/s}$$

III.9.5. Calcul du nombre de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

μ : viscosité dynamique en Kg/m.s ; déterminé en fonction de la température ($T = -3.7^\circ\text{C}$) (Voir annexe N°03)

$$\mu = 0.061 \text{ cp} = 0.061 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m.s}$$

$$Re = \frac{31.77 * 1.65 * 0.052}{0.000061} = 44686.32$$

Pour cette valeur de Reynolds $Re > 3000$ donc l'écoulement de gaz est turbulent.

III.9.6. Calcul de la perte de charge ΔP_T

On distingue deux types de perte de charge :

III.9.6.1. Calcul de la perte de charge linéaire

$$\Delta P_L = \lambda \cdot \rho \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$\lambda = 0.021 \text{ (Voir annexe N°02)}$$

Pour la phase I

$$\Delta p_I = 0.021 * 31.77 * \frac{82.77}{0.052} * \frac{(1.65)^2}{2 * (9.81)} = 105.38 \text{ kg/m}^2 = 0.0105 \text{ kg/cm}^2$$

Pour la phase III

$$\Delta p_{III} = 0.021 * 31.77 * \frac{59.77}{0.052} * \frac{(1.65)^2}{2 * (9.81)} = 106.41 \text{ kg/m}^2 = 0.0106 \text{ kg/cm}^2$$

III.9.6.2. Calcul de la perte de charge singulière

Pour la phase I

a - Les coudes

Nous avons 23 coudes de 90° , avec $K=0.625$ pour les coudes de 90° .

$$\Delta p_s = \left[\frac{31.77 * 0.625 * (1.65)^2}{2 * (9.81)} \right] * 23 = 63.37 \text{ kg/m}^2 = 0.006337 \text{ kg/cm}^2$$

Nous avons 2 coudes de 45°, avec K=0.4 pour les coudes de 45°.

$$\Delta p_s = \left[\frac{31.77 * 0.4 * (1.65)^2}{2 * (9.81)} \right] * 2 = 3.53 \text{ kg/m}^2 = 0.00035 \text{ kg/cm}^2$$

b - Vanne manuelle

Nous avons trois vannes manuelles dans la phase I, avec K=0.25 pour les vannes.

$$\Delta p_s = 3 * \left[\frac{31.77 * 0.25 * (1.65)^2}{2 * 9.81} \right] = 3.31 \text{ kg/m}^2 = 0.00033 \text{ kg/cm}^2$$

c - Vanne de détente (Pv)

Nous avons une vanne Pv dans la phase I, avec K=3.0

$$\Delta p_s = \left[\frac{31.77 * 3 * (1.65)^2}{2 * 9.81} \right] = 13.22 \text{ kg/m}^2 = 0.001322 \text{ kg/cm}^2$$

d - Tee

Nous avons deux Tee dans la phase I ; avec K = 1.75

$$\Delta p_s = \left[\frac{31.77 * 1.75 * (1.65)^2}{2 * 9.81} \right] * 2 = 15.42 \text{ kg/m}^2 = 0.001542 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta P_{\text{phase I}} = \Delta P_I + \Delta P_S$$

$$\Delta P_{\text{phase I}} = 0.014 \text{ kg/cm}^2$$

Pour la phase III

a - Coudes

Nous avons 13 coudes de 90°, avec K=0.625 pour les coudes de 90°.

$$\Delta p_s = \left[\frac{31.77 * 0.625 * (1.65)^2}{2 * 9.81} \right] * 13 = 35.82 \text{ kg/m}^2 = 0.003582 \text{ kg/cm}^2$$

Nous avons 2 coudes de 45°, avec K=0.4 pour les coudes de 45°.

$$\Delta p_s = \left[\frac{31.77 * 0.4 * (1.65)^2}{2 * 9.81} \right] * 2 = 3.52 \text{ kg/m}^2 = 0.000352 \text{ kg/cm}^2$$

b - Vanne manuelle

Nous avons trois vannes manuelles dans la phase III, avec K=0.25 pour les vannes.

$$\Delta p_s = 3 * \left[\frac{31.77 * 0.25 * (1.65)^2}{2 * 9.81} \right] = 3.31 \text{ kg/m}^2 = 0.00033 \text{ kg/cm}^2$$

c - Vanne de détente (Pv)

Nous avons une vanne Pv dans la phase III, avec K=3.0

$$\Delta p_s = \left[\frac{31.77 * 3 * (1.65)^2}{2 * 9.81} \right] = 13.23 \text{ kg/m}^2 = 0.001323 \text{ kg/cm}^2$$

d - Tee

Nous avons deux Tee dans la phase III ; avec K=1.75

$$\Delta p_s = \left[\frac{31.77 * 1.75 * (1.65)^2}{2 * 9.81} \right] * 2 = 15.42 \text{ kg/m}^2 = 0.001542 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta P_{phase III} = \Delta P_I + \Delta P_S$$

$$\Delta P_{phase III} = 0.017 \text{ kg/cm}^2$$

III.9.7. Les calculs pour le collecteur

III.9.7.1. Calcul de la masse volumique

$$M_{\text{moy}} = 27.88 \text{ g/mol}$$

$$R = 0.082 \text{ atm l/ mol K}$$

$$P = 0,752 \text{ MPa}$$

En remplace dans la loi des gaz parfait et en obtiens $\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}$

$$\rho = \frac{0.752 \cdot 27.88}{0.082 \cdot (273.15 - 32.16)} = 10.46 \text{ (Kg /m}^3\text{)}$$

III.9.7.2. Calcul de la vitesse d'écoulement

Selon la loi de la continuité $V = \frac{Q_m}{S \cdot \rho}$

$$V = (4 \cdot 800) / (3600 \cdot 3.14 \cdot 10.46 \cdot (0.052)^2) = 10.01 \text{ m/s}$$

III.9.7.3. Calcul du nombre de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

μ : viscosité dynamique en Kg/m.s ; déterminé en fonction de la température ($T = -32.16^\circ\text{C}$)

$$\mu = 0.084 \text{ cp} = 0.084 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m.s}$$

$$Re = \frac{10.46 \cdot 10.01 \cdot 0.052}{0.000084} = 64817.13$$

Pour cette valeur de Reynolds $Re > 3000$ donc l'écoulement de gaz est turbulent

III.9.8. Calcul de la perte de charge sur le collecteur

➤ Calcul de la perte de charge linéaire

λ : Coefficient de perte de charge, déterminé en fonction du nombre de REYNOLDS et de la rugosité relative (ε/D). Avec $\varepsilon = 0.006 \text{ cm}$ pour l'acier au carbone. (Voir annexe N° 02)

$$\lambda = 0.021$$

$$\Delta p_1 = 0.021 * 10.46 * \frac{1350}{0.052} * \frac{(10.01)^2}{2*9.81} = 29123.96 \text{ kg/m}^2 = 2.91 \text{ kg/cm}^2$$

➤ **Calcul de la perte de charge singulière**

a - Coudes

Nous avons 47 coudes de 90°, avec K=0.625 pour les coudes de 90°.

$$\Delta p_{s1} = \left[\frac{10.46 * 0.625 * (10.01)^2}{2*9.81} \right] * 47 = 1569.20 \text{ kg/m}^2 = 0.156 \text{ kg/cm}^2$$

b - Vanne manuelle

Nous avons une seule vanne manuelle sur le collecteur, avec K=0.25 pour les vannes.

$$\Delta p_{s2} = \left[\frac{10.46 * 0.25 * (10.01)^2}{2*9.81} \right] = 13.35 \text{ kg/m}^2 = 0.0013 \text{ kg/cm}^2$$

c - Tee

➤ Nous avons un seul Tee sur le collecteur ; avec K =1.75

$$\Delta p_{s4} = \left[\frac{10.46 * 1.75 * (10.01)^2}{2*9.81} \right] = 93.48 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 0.093 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta P_{\text{collecteur}} = \Delta P_1 + \Delta P_S$$

$$\Delta P_{\text{collecteur}} = 3.16 \text{ kg/cm}^2$$

III.9.9. Perte de charge sur toute la ligne de récupération

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{Phase I}} + \Delta P_{\text{Phase II}} + \Delta P_{\text{collecteur}}$$

$$\Delta P_T = 3.19 \text{ kg/cm}^2$$

III.10 Conclusion

Les résultats obtenus montrent que la récupération des gaz torchés provenant des ballons X-V-0012 de la section BOG des phases I et III constitue une solution techniquement réalisable pour leur valorisation énergétique. Les gaz récupérés sont disponibles à une pression de 7,67 bars dans le collecteur. Cependant, en raison des pertes de charge engendrées par les frottements le long de la conduite, une chute de pression de 3,19 bars est observée. Malgré cette diminution, la pression résiduelle permet d'alimenter la ligne de gaz naturel à une pression d'environ 3,5 bars, répondant ainsi aux exigences d'alimentation des fours de la phase I.

Cette étude met en évidence que la récupération de ces gaz, habituellement envoyés à la torche, permet non seulement de réduire les pertes énergétiques et les émissions atmosphériques, mais également d'assurer une source de combustible complémentaire pour les équipements de combustion. Par conséquent, le projet présente un intérêt économique et environnemental significatif, tout en contribuant à l'amélioration de l'efficacité énergétique globale de l'installation.

Conclusion générale

Au terme de cette étude, il apparaît que la récupération des gaz évaporés de la section BOG constitue une solution efficace pour réduire les pertes énergétiques liées au torchage au sein du complexe GP1/Z. Cette démarche s'inscrit dans la politique d'optimisation énergétique et de protection de l'environnement adoptée par le complexe.

L'analyse de la situation existante a mis en évidence des quantités importantes de gaz naturel envoyées à la torche lors des opérations de stockage. Face à cette problématique, une solution de récupération et de valorisation de ces gaz a été étudiée à travers la mise en place d'une nouvelle ligne reliant les équipements existants au système combustible des fours.

Les calculs de dimensionnement réalisés ont permis de définir les caractéristiques de la future installation et de vérifier sa faisabilité technique. L'étude hydraulique menée sur les lignes des phases I et III ainsi que sur le collecteur a montré que l'écoulement du gaz est de nature turbulente dans l'ensemble du réseau. Les vitesses d'écoulement, les pertes de charge linéaires et les pertes de charge singulières engendrées par les différents accessoires ont été déterminées afin d'évaluer le comportement du système.

Les résultats obtenus ont conduit à une perte de charge totale de 3,19 bar. Cette valeur demeure compatible avec les conditions d'exploitation du réseau et permet d'assurer le transfert des gaz récupérés vers les fours sans compromettre leur utilisation comme combustible. Ces résultats confirment ainsi la pertinence du dimensionnement retenu et la faisabilité du projet proposé.

La mise en œuvre de cette solution permettra non seulement de valoriser une partie des gaz actuellement torchés, mais également d'améliorer le rendement énergétique de l'installation tout en réduisant les émissions atmosphériques associées au torchage.

Enfin, cette étude constitue une base de travail pour de futurs projets de récupération des gaz au sein du complexe. L'extension de ce système à d'autres unités pourrait contribuer à une

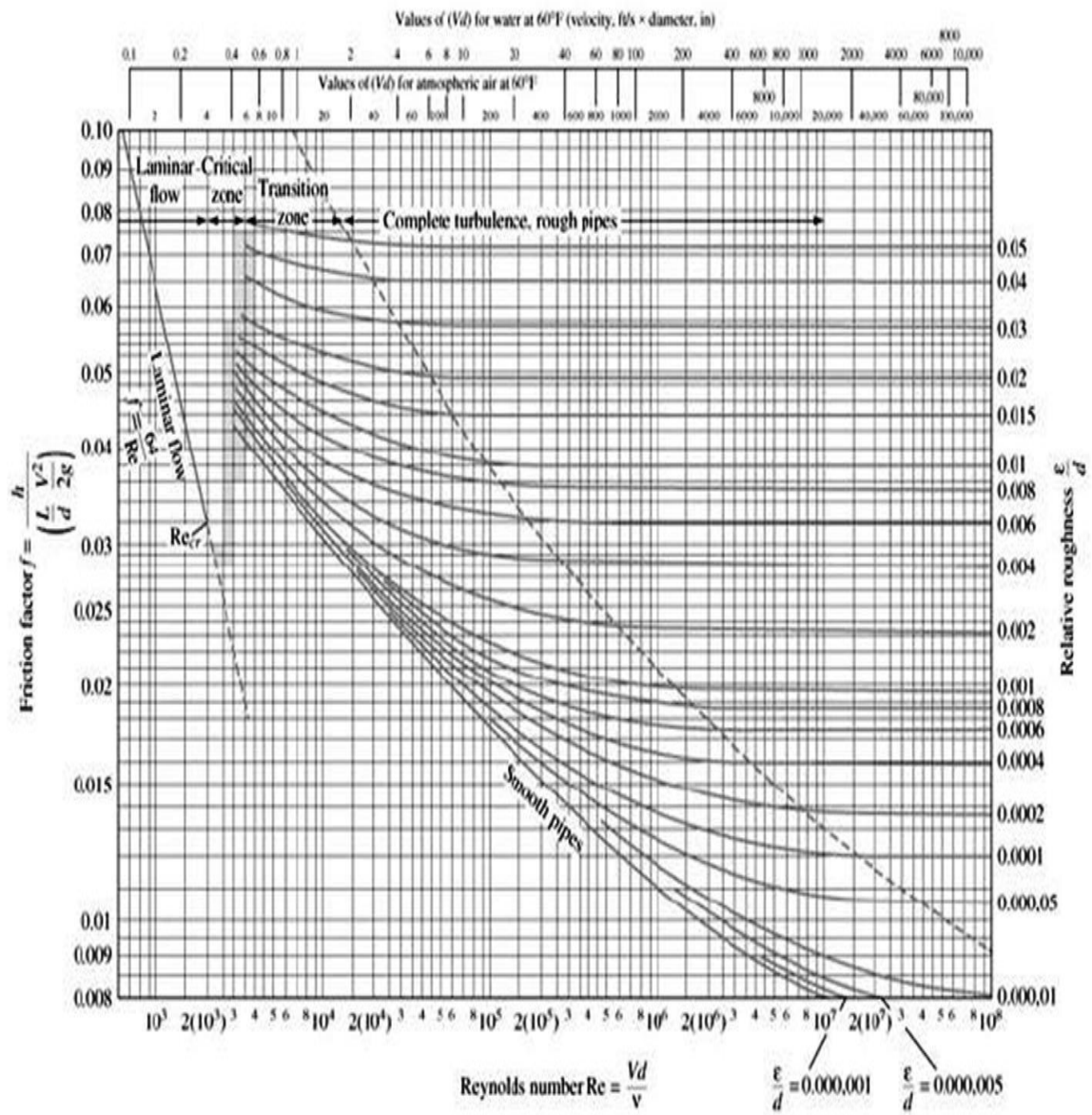
réduction significative des quantités de gaz torchés et à une meilleure valorisation des ressources énergétiques disponibles.

Annexe 1 : Diamètre de conduits

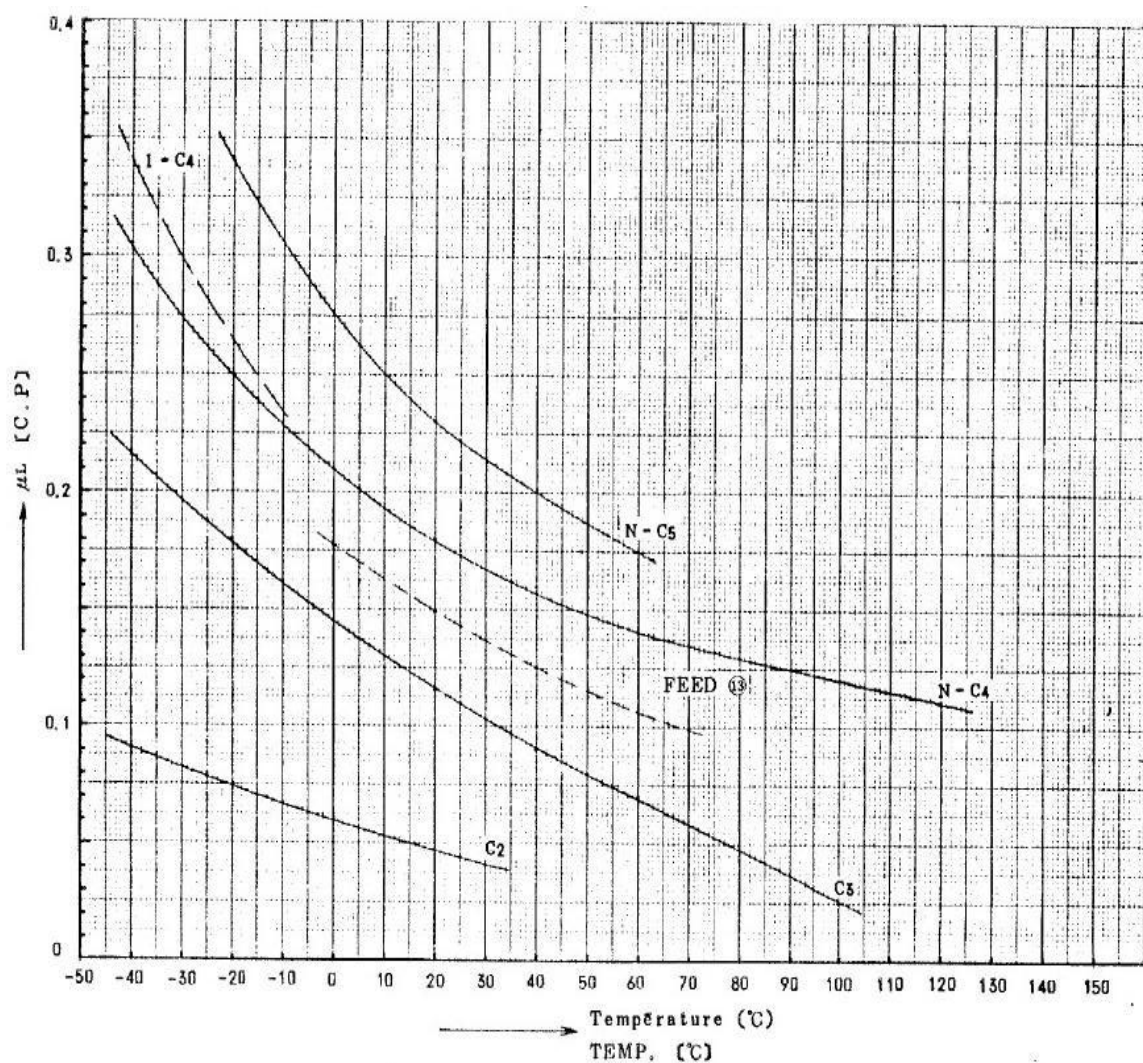
Nominal pipe size inches	OD mm	Figures based on austenitic steel																Vol./m m ³	
		10	20	30	STD	40	60	XS	80	100	120	140	160	XXS	5S	10S	40S		80S
1/8	10.30				1.73 0.37	1.73 0.37		2.41 0.47	2.41 0.47							1.24 0.28	1.73 0.36	2.41 0.48	0.0001
1/4	13.70				2.24 0.63	2.24 0.63		3.02 0.80	3.02 0.80							1.65 0.51	2.24 0.64	3.02 0.82	0.0002
3/8	17.10				2.31 0.84	2.31 0.84		3.20 1.10	3.20 1.10							1.65 0.64	2.31 0.86	3.20 1.12	0.0003
1/2	21.30				2.77 1.22	2.77 1.22		3.73 1.62	3.73 1.62				4.78 1.95	7.47 2.55	1.65 0.82	2.11 1.01	2.77 1.30	3.73 1.65	0.0004
3/4	26.70				2.87 1.69	2.87 1.69		3.91 2.20	3.91 2.20				5.56 2.90	7.82 3.64	1.65 1.04	2.11 1.31	2.87 1.71	3.91 2.24	0.0007
1	33.40				3.38 2.50	3.38 2.50		4.55 3.24	4.55 3.24				6.35 4.24	9.09 5.45	1.65 1.33	2.77 2.13	3.38 2.55	4.55 3.29	0.0011
1 1/4	42.20				3.56 3.39	3.56 3.39		4.85 4.47	4.85 4.47				6.35 5.61	9.70 7.77	1.65 1.68	2.77 2.76	3.56 3.46	4.85 4.56	0.0018
1 1/2	48.30				3.68 4.05	3.68 4.05		5.08 5.41	5.08 5.41				7.14 7.25	10.15 9.56	1.65 1.95	2.77 3.17	3.68 4.13	5.08 5.51	0.0023
2	60.30				3.91 5.44	3.91 5.44		5.54 7.48	5.54 7.48				8.74 11.11	11.07 13.44	1.65 2.44	2.77 4.01	3.91 5.54	5.54 7.63	0.0036
2 1/2	73.00				5.16 8.63	5.16 8.63		7.01 11.41	7.01 11.41				9.53 14.92	14.02 20.39	2.11 3.77	3.05 5.36	5.16 8.81	7.01 11.64	0.0053
3	88.90				5.49 11.29	5.49 11.29		7.62 15.27	7.62 15.27				11.13 21.35	15.24 27.68	2.11 4.60	3.05 6.59	5.49 11.52	7.62 15.59	0.0079
3 1/2	101.60				5.74 13.57	5.74 13.57		8.08 18.63	8.08 18.63				— —	— —	2.11 5.29	3.05 7.55	5.74 13.84	8.08 19.01	0.0103
4	114.30				6.02 16.07	6.02 16.07		8.56 22.32	8.56 22.32		11.13 28.32		13.49 33.54	17.12 41.03	2.11 5.96	3.05 8.52	6.02 16.40	8.56 22.77	0.0130
5	141.30				6.55 21.77	6.55 21.77		9.53 30.97	9.53 30.97		12.70 40.28		15.88 49.11	19.05 57.43	2.77 9.67	3.40 11.82	6.55 22.20	9.53 31.59	0.0199
6	168.30				7.11 28.26	7.11 28.26		10.97 42.56	10.97 42.56		14.27 54.20		18.26 67.56	21.95 79.22	2.77 11.55	3.40 14.13	7.11 26.83	10.97 43.42	0.028
8	219.10		6.35 33.31	7.04 36.81	8.18 42.55	8.18 42.55	10.31 53.08	12.70 64.64	12.70 64.64	15.09 75.92	18.26 90.44	20.62 100.92	23.01 111.27	22.23 107.92	2.77 15.09	3.76 20.37	8.18 43.39	12.70 65.95	0.048
10	273.10		6.35 41.77	7.80 51.03	9.27 60.31	9.27 60.31	12.70 81.55	12.70 81.55	15.09 96.01	18.26 114.75	21.44 133.06	25.40 155.15	28.58 172.33	25.40 155.15	3.40 23.08	4.19 28.34	9.27 61.52	12.70 83.19	0.074
12	323.90		6.35 49.73	8.38 65.20	9.53 73.88	10.31 79.73	14.27 108.96	12.70 97.46	17.48 132.08	21.44 159.91	25.40 186.97	28.58 208.14	33.32 238.76	25.40 186.97	3.96 31.89	4.57 36.73	9.52 75.32	12.70 99.43	0.104
14	385.60	6.35 54.69	7.92 67.90	9.53 81.33	9.53 81.33	11.13 94.55	15.09 126.71	12.70 107.39	19.05 158.10	23.83 194.96	27.79 224.65	31.75 253.56	35.71 281.70		3.96 35.06	4.78 42.14			0.126
16	406.40	6.35 62.64	7.92 77.83	9.53 93.27	9.53 93.27	12.70 123.30	16.66 160.12	12.70 203.53	21.44 203.53	26.19 245.56	30.96 286.64	36.53 333.19	40.49 365.35		4.19 42.41	4.78 48.26			0.165
18	457.00	6.35 70.57	7.92 87.71	11.13 122.38	9.53 106.16	14.27 155.80	19.05 205.74	12.70 139.15	23.88 254.55	29.36 309.62	34.93 363.56	39.67 408.26	45.24 459.37		4.19 47.77	4.78 54.36			0.208
20	508.00	6.35 78.55	9.53 117.15	12.70 155.12	9.53 117.15	15.09 183.42	20.62 247.83	12.70 155.12	26.19 311.17	32.54 381.53	38.10 441.49	44.45 508.11	50.01 564.81		4.78 60.46	5.54 70.00			0.258
22	559.00	6.35 86.54	9.53 129.13	12.70 171.09	9.53 129.13	— 294.25	22.23 171.09	12.70 373.83	28.58 491.42	34.93 412.82	41.28 527.02	47.63 600.63	53.98 672.26		4.78 66.57	5.54 77.06			0.312
24	610.00	6.35 94.53	9.53 141.12	14.27 209.64	9.53 141.12	17.48 255.41	24.61 355.26	12.70 187.06	30.96 442.08	38.89 547.71	46.02 640.03	52.37 720.15	59.54 808.22		5.54 84.16	6.35 96.37			0.372
26	660.00	7.92 127.36	12.70 202.72	— —	9.53 152.87	— —	— —	12.70 202.72											0.435
28	711.00	7.92 137.32	12.70 218.69	15.88 271.21	9.53 164.85	— —	— —	12.70 218.69											0.505
30	762.00	7.92 147.28	12.70 234.67	15.88 292.18	9.53 176.84	— —	— —	12.70 234.67							6.35 120.72	7.92 150.36			0.580
32	813.00	7.92 157.24	12.70 250.64	15.88 312.15	9.53 188.82	17.48 342.91		12.70 250.64											0.660
34	864.00	7.92 167.20	12.70 266.61	15.88 332.12	9.53 200.31	17.48 364.90		12.70 266.61											0.746
36	914.00	7.92 176.96	12.70 282.27	15.88 351.70	9.53 212.56	19.05 420.42		12.70 282.27											0.835
38	965.00				9.53 224.54			12.70 298.24											0.931
40	1016.00				9.53 236.53			12.70 314.22											1.032
42	1067.00				9.53 248.52			12.70 330.19											1.138
44	1118.00				9.53 260.50			12.70 346.16											1.249
46	1168.00				9.53 272.25			12.70 361.82											1.364
48	1219.00				9.53 284.24			12.70 377.79											1.485

Annexe 02 : le coefficient de perte de charge en fonction de nombre de Reynolds

Diagramme de Moody



Annexe 03 : viscosité du liquide sur la température



Annexe 04 : condition de matériaux « classe D1G »

CALCULATION SHEET FOR PIPE WALL THICKNESS (BASED ON ASME B31.3 2004)

SPEC 150#
 CLASS D1G
 TEMP. 150

MATERIAL
 A333 Gr.1
 (E=1.0)

FORMULA
 $t = PD / [2 (SE + YP)]$
 $Y=0.4$
 $t_m = t + C$

PRESSURE DESIGN THICKNESS t							MINIMUM REQUIRED THICKNESS t _m		MINIMUM THICKNESS T					T > t _m
N. P. S (")	PIPE O. D. D (mm)	MANU. METHOD	DESIGN		ALLOWABLE STRESS SE (MPa)	P. D. THICK t (mm)	C. A. C (mm)	MIN. THICK t _m (mm)	MILL TOLERANCE	NOMINAL THICK (mm)	MINIMUM THICK T (mm)	SIZE	REMARKS	
			P (MPa)	T (°C)										
1/2	21.3	SMLS	1.58	150	137.9	0.121	1.6	1.73	12.5 %	4.78	4.18	Sch160		OK
3/4	26.7	SMLS	1.58	150	137.9	0.152	1.6	1.76	12.5 %	5.56	4.86	Sch160		OK
1	33.4	SMLS	1.58	150	137.9	0.190	1.6	1.80	12.5 %	4.55	3.98	Sch80		OK
1 1/2	48.3	SMLS	1.58	150	137.9	0.275	1.6	1.88	12.5 %	5.08	4.44	Sch80		OK
2	60.3	SMLS	1.58	150	137.9	0.344	1.6	1.95	12.5 %	3.91	3.42	Sch40		OK
2 1/2	73.0	SMLS	1.58	150	137.9	0.416	1.6	2.02	12.5 %	5.16	4.51	Sch40		OK
3	88.9	SMLS	1.58	150	137.9	0.507	1.6	2.11	12.5 %	5.49	4.80	Sch40		OK
4	114.3	SMLS	1.58	150	137.9	0.652	1.6	2.26	12.5 %	6.02	5.26	Sch40		OK
6	168.3	SMLS	1.58	150	137.9	0.960	1.6	2.56	12.5 %	7.11	6.22	Sch40		OK
8	219.1	SMLS	1.58	150	137.9	1.249	1.6	2.85	12.5 %	8.18	7.15	Sch40		OK
10	273.0	SMLS	1.58	150	137.9	1.557	1.6	3.16	12.5 %	9.27	8.11	Sch40		OK
12	323.8	SMLS	1.58	150	137.9	1.847	1.6	3.45	12.5 %	10.31	9.02	Sch40		OK
14	355.6	SMLS	1.58	150	137.9	2.028	1.6	3.63	12.5 %	11.13	9.73	Sch40		OK
16	406.4	SMLS	1.58	150	137.9	2.318	1.6	3.92	12.5 %	9.53	8.33	t=9.53		OK
														⚠

Annexe 05 : coefficient de perte de charge (k) dans les accessoires

accessoires	Pertes de charge moyenne
Réservoir à conduite – connexion au ras de la paroi (perte à l'entrée)	$50 \frac{V_2^2}{2g}$ 0.
-tuyau entrant	$1.00 \frac{V_2^2}{2g}$
-connexion arrondie	$0.05 \frac{V_2^2}{2g}$
Conduite à réservoir (perte à la sortie)	$1.00 \frac{V_1^2}{2g}$
Divergent brusque	$(\frac{V_1 - V_2}{2g})^2$
Divergent progressif	$k \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$
Venturis, buses et orifices	$(\frac{1}{C_v^2} - 1) \frac{V_2^2}{2g}$
Convergent brusque	$k_c \frac{V_2^2}{2g}$
Coudes, accessoires, vannes, clapets Quelques valeurs courantes de K sont : 45°, coude0.35 à 0.45 90°, coude.....0.50 à 0.75 Té,.....1.5 à 2.00 Vannes de portes (ouvertes).....aprox.0.25 Vannes de contrôle (ouvertes).....aprox.3.0 Clapet anti- retour à disque levable (4'').....0.68	$k = \frac{V^2}{2g}$

Bibliographie

- [1] Sonatrach. (2023). Rapport annuel. Alger, Algérie.
- [2] SONATRACH. (2024). *Complexe GP1Z*. Récupéré de <https://sonatrach.com/complexe-gp1z/>
- [3] McGUIRE, T. M., & WHITE, B. (2017). Liquefied Petroleum Gas Handbook. 3rd Edition. Tulsa, Oklahoma: Gulf Professional Publishing.
- [4] GPSA Engineering Data Book (12th Edition). Gas Processors Suppliers Association.
- [5] Kidnay, A. J., Parrish, W. R., & McCartney, D. G. (2019). Fundamentals of Natural Gas Processing. CRC Press.
- [6] Naftal.(s.d.). GPL. <https://www.naftal.dz/fr/index.php/produits/particuliers/gpl>.
- [7] Mokhatab, S., Poe, W. A., & Mak, J. Y. (2019). Handbook of Natural Gas Transmission and Processing (4th ed.). Gulf Professional Publishing, Elsevier.
- [8] Sonatrach. (s.d.). Activités amont et traitement du gaz naturel. <https://sonatrach.com>
- [9] U.S. Energy Information Administration (EIA). (2024). Uses of hydrocarbon gas liquids.
- [10] Kochunni, S. K., & Chowdhury, K. (2019). LNG boil-off gas reliquefaction by Brayton refrigeration system. Energy, 176, 753-764.
- [11] Querol, E., et al. (2018). Optimal design of boil-off gas reliquefaction process in LNG regasification terminals. Computers & Chemical Engineering, 117, 171-190.
- [12] Mokhatab, S., Poe, W. A., & Mak, J. Y. (2014). Handbook of Liquefied Natural Gas. Gulf Professional Publishing.

- [13] API. (2020). API Standard 2510: Design and Construction of LPG Installations. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- [14] GPSA. (2018). GPSA Engineering Data Book (14th Edition). Tulsa, Oklahoma: Gas Processors Suppliers Association.
- [15] SONATRACH. Manuel d'exploitation de l'unité de récupération des gaz évaporés (BOG) et de reliquéfaction du propane du complexe GP1/Z. Arzew, document interne.
- [16] **World Bank**. (2024). Global Gas Flaring Tracker Report. Washington, DC.
- [17] **Speight, J. G.** (2019). The Chemistry and Technology of Petroleum (6th Edition). Boca Raton: CRC Press.
- [18] **Turns, S. R.** (2012). An Introduction to Combustion: Concepts and Applications (3rd Edition). McGraw-Hill.
- [19] Sixth Assessment Report (AR6): Climate Change 2021 – The Physical Science Basis. Geneva.
- [20] SONATRACH. Étude d'optimisation de la récupération des gaz torchés au niveau du complexe GP1/Z. Rapport de stage, Direction Exploitation, Arzew, Algérie, 2026.