

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : INDUSTRIES PÉTROCHIMIQUES

Option: GÉNIE PÉTROCHIMIQUE

THÈME

Analyse de faisabilité de l'installation d'une nouvelle ligne de récupération
des liquides torchés

Présenté par

- M^{lle} Benioudren Douaa
- M^{lle} Moralent Mechria

Soutenu le 07/07/ 2025 devant le jury composé de :

Présidente :	Boubegra Naima	MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Belhouari Houria	MAA	Université de Mostaganem
Encadrante :	Ouadjenia Fatima	MCA	Université de Mostaganem

Remerciements

En préambule à ce mémoire, nous remercions Allah, Le Tout-Puissant, qui nous a accordé la patience, le courage et la force nécessaires à la réalisation de ce travail.

Nous exprimons notre gratitude profonde à nos parents, pour leur soutien inconditionnel, leurs sacrifices, leur amour et leurs prières qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours universitaire.

Nous tenons à remercier sincèrement Madame **Oudjenia Fatima**, notre encadrante académique, pour son accompagnement constant, sa disponibilité, ses conseils éclairés et l'intérêt qu'il a porté à notre projet.

Nos remerciements s'adressent aux membres du jury, Madame la présidente **Boubegra Naima** et Madame l'examinatrice **Belhouari Houria** pour l'honneur qu'elles nous font en acceptant de faire partie de notre jury et d'évaluer notre travail.

Nos remerciements les plus chaleureux vont également à l'ensemble du personnel du complexe GP1/Z, en particulier les équipes de la production, pour leur accueil, leur disponibilité et le partage de leurs compétences, qui ont fortement enrichi notre expérience de stage.

Nous remercions chaleureusement Monsieur **Satal Mourad** pour son accompagnement, ses conseils précieux et sa bienveillance tout au long de notre stage au complexe GP1/Z, qui ont grandement contribué à la réussite de ce travail.

Nous exprimons une reconnaissance particulière à **Moralent Islam**, **Benioudren Djamel** et **Benzidan Khaled**, pour leur précieuse aide dans la gestion des démarches administratives liées au stage, et leur soutien dans la préparation des documents nécessaires, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire et à la réussite de cette étape universitaire.

Liste des tableaux

Tableaux IV.1 : Coût de la tuyauterie.....

Tableaux IV.2 : Coût des accessoires.....

Liste des figures

Figure I-1:schéma représentative du complexe GP1/Z **Erreur ! Signet non défini.**

Figure I-2: organigramme du complexe GP1/Z8

Figure I-3:procédé de fabrication du GPL dans le complexe GP1/Z**Erreur ! Signet non défini.**

Figure I-4:représentation de la section stockage de la charge GPL**Erreur ! Signet non défini.**

Figure I-5: schéma représentatif de la section déshydratation18

Figure I-6:schéma représentatif de la section de separation.....13

Figure I-7: schéma représentatif de la section réfrigération.....14

Figure I-8:schéma représentatif de la section huile chaud15

Figure I-9:section de recuperation des gaz evapores B.O.G16

Figure III1 :schéma de ballon vide vite.....38

Figure III-2: schema modification et recuperation de liquide torche.....39

Résumé

Le torchage du gaz a des répercussions néfastes sur l'environnement, ce qui a contraint les compagnies pétrolières à adopter des mesures en faveur de sa protection, afin de se conformer aux normes internationales. Dans cette optique, SONATRACH s'engage activement dans tous les projets visant à améliorer la production d'énergie tout en préservant l'environnement. C'est dans ce cadre que le complexe GP1/Z a mis en service une nouvelle installation destinée à la récupération du gaz torché.

Notre étude porte sur l'analyse de la faisabilité de la récupération du gaz torché, en comparant les performances de l'ancienne et de la nouvelle installation.

Mots-clés:

Torchage de gaz ; Compagnies pétrolières ; Production d'énergie ; Gaz torché ; Exploitation du complexe GP1Z

ABSTRACT

Gas flaring has negative environmental impacts, forcing oil companies to adopt environmental protection measures to comply with international standards. With this in mind, SONATRACH is actively involved in all projects aimed at improving energy production while preserving the environment. It is within this framework that the GP1/Z complex has commissioned a new facility for the recovery of associated gas.

Our study focuses on analyzing the feasibility of flared gas recovery by comparing the performance of the old and new facilities.

Keyb Words

Torchage from gas; Petroleum components; Energy production; gas torch; Exploitation of the GP1Z complex

المخلص :

يُخلف حرق الغاز آثارًا بيئية سلبية، مما يُجبر شركات النفط على اعتماد تدابير لحماية البيئة امتثالًا للمعايير الدولية. وانطلاقًا من هذا، تُشارك سوناطراك بفعالية في جميع المشاريع الهادفة إلى تحسين إنتاج الطاقة مع الحفاظ على البيئة. وفي هذا الإطار، شغّل مجمع GP1/Z منشأة جديدة لاستخلاص الغاز المُحرق.

تركز دراستنا على تحليل جدوى استخلاص الغاز المُحرق من خلال مقارنة أداء المنشآت القديمة والجديدة.

كلمات مفتاحية:

حرق الغاز؛ شركات النفط؛ إنتاج الطاقة؛ الغاز المُحرق؛ شغل المجمع GP1/Z

Sommaire

<i>Liste des tableaux</i>	
<i>Liste des figures</i>	
<i>Liste des abréviations</i>	
Résumé	
Introduction générale	1
Chapitre I	12
I.1 Introduction :	13
I.2 présentation du coblexe Gp1Z	13
I.2.1 Historique	14
I.2.2 objectif	14
I.2.3 principe instalation du complexe GP1Z	1 Erreur ! Signet non défini.
I.2.4 Organisation du complexe	16
I.2.5 Description du système du production	17
I.3 pretraitement de la charge	19
I.4 traitement du GPL brut	24
Chapitre II	Erreur ! Signet non défini.
II.1 Introduction	27
II.2 Définition du torchage	27
II.4 Le torchage dans l'industrie du pétrole et du gaz [8]	28
II.3 Fonctionnement des torches [2]	27
II.4 Les composition chimique de gaz torche	28
II.5 Les produits du torchage	Erreur ! Signet non défini.
II.6 les type de torchage	30
II.7 Impact économique des gaz torchés	30

II.8	Impact environnement.....	31
II.9	le torchage dans le monde.....	31
ChapitreIII	33
III.1	Problématique.....	26
III.2	Analyse du problem.....	34
III.3	Solution proposée.....	Erreur ! Signet non défini.
III.4	Sphères de charge	35
III.5	Description sur le fonctionnement de système de torche	27
III.6	Les équipements de projet	27
III.7	Description de système Blow down	29
III.8	Conception d'un nouveau système de récupération du GPL	30
III.9	description du procede.....	38
III.10	procedures de vindange d'une sphere de charge	Erreur ! Signet non défini.
ChapitreIV	Erreur ! Signet non défini.
IV.1	Estimation de la quantité du GPL torchée :.....	34
IV.2	Théories de calculs :	42
IV.3	. Partie calcul.....	44
IV.4	Étude technico-économique	41
	<i>Conclusion</i>.....	50
	Références bibliographiques	51
	ANNEXES	52

Liste des abréviations

ASTM : American society for testing and materials

BD : Blow Down (BD)

BDV : Blow Down Valve

BOG : Boil Of Gas

BP : Basse Pression

COV : composés organiques volatils

GNL : Gas Naturel Liquéfié

G.O.R : Gas Oil Ration

GPL : Gas Pétrole Liquéfié

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

HP : Haute Pression

MP : Moyenne Pression

Off Spect : Ligne Hors Spécification

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

PCV : pressure control valve

PCS : Le pouvoir calorifique supérieure

Ppm : Partie Par million

Introduction générale

Introduction générale

Les sources d'énergies sont indispensables pour faire fonctionner les appareils, les moyens de transport, les usines et pour même répondre aux besoins quotidiens des humains. On distingue deux grandes catégories de sources d'énergie : des énergies renouvelables et d'autres non renouvelables, et concernant notre projet porte précisément sur les énergies non renouvelables, et particulier les hydrocarbures (ou combustibles fossiles). Les hydrocarbures demeurent la principale source d'énergie à l'échelle mondiale. Ils continueront d'occuper cette place stratégique tant que l'humanité n'aura pas découvert d'autres sources capables d'assurer la même fonction avec meilleur rentabilité et efficacité.

Le gaz pétrole liquéfié (GPL), dont l'Algérie est l'un des principaux producteurs et exportateurs en méditerranée, connaît aujourd'hui une forte croissance de consommation grâce à son faible taux de pollution par rapport aux combustibles classique. Sonatrach a adhéré à l'initiative internationale de réduction du torchage de gaz qui est le rejet des gaz associés à la production de pétrole brut, dont le volume mondial dépasse les 100 milliards de mètres cubes par an, suscitent une préoccupation croissante. Cette attention accrue s'explique par l'intérêt grandissant de la communauté internationale pour la préservation de l'énergie et la lutte contre le changement climatique à l'échelle mondiale. L'objectif principal est de réduire de manière significative, à court terme, les volumes de gaz brûlés ou rejetés dans l'atmosphère, tout en visant, à plus long terme, une amélioration continue des pratiques.

Dans ce cadre, le complexe GP1Z où nous avons effectué notre stage, s'efforce de limiter les pertes GPL vers la torche, principalement causées par les arrêts programmes. Notre objectif est de réduire le taux de torchage en révisant le circuit de récupération de GPL. La solution proposée consiste à modifier le système Blow Down en ajoutant une ligne pour récupérer les liquides (C3, C4, GPL) accumulés dans le ballon, puis les réinjecter vers les sphères de charge via la ligne hors spécification à l'aide de GNL. Cela permettrait non seulement de limiter les pertes et d'assurer un bon fonctionnement de l'unité, mais aussi générer un gain économique important. L'établissement du GPL est principalement dû à ses caractéristiques spécifiques : sa flexibilité d'utilisation comme carburant dans différentes applications, son coût raisonnable de stockage et de transport, des prix compétitifs et d'autres avantages d'un point de vue écologique.

Ce manuscrit sera organisé de la manière suivante :

- Premier chapitre présente une description du complexe GP1Z
- Deuxième chapitre expose le système de torchage et son impact sur l'économie et l'environnement
- Troisième chapitre évoque la problématique et les solutions envisagées
- Quatrième chapitre regroupe les résultats de calculs suivis d'une étude technico-économique.

Chapitre I

Description générale du complexe

I.1 Introduction

La mission dévolue à l'entreprise SONATRACH, lors de la création le 31 décembre 1963, est le transport et la commercialisation des hydrocarbures algériens compte tenu des immenses disponibilités que recèle le sous-sol algérien en gaz naturel. La SONATRACH a confié alors par contrat signé le 11 décembre 1978, le démarrage de la construction du complexe GP1/Z par la société Japonaise IHI-ITOH JAPON, à partir de novembre 1980, l'entrée en exploitation du complexe ayant débuté le 12 décembre 1983, mise en production de la phase 1 (4 trains de traitement GPL produisant au total 4.8 Mt/an).

□.2 Présentation du complexe GP1Z

□.2.1 Historique

Le complexe GP1/Z fait partie des six complexes de liquéfaction appartenant à l'activité (AVAL) de l'entreprise national SONATRACH. Il est situé entre la centrale thermoélectrique de Marsa EL Hadjaj à l'Est et les complexes de GNL à l'Ouest et qui s'étend sur une superficie de 120 hectares. Il a été construit avec le concours d'un consortium Japonais IHI -ITOCHU dans le cadre d'un contrat clé en main, en trois phases de construction. La première a été réceptionnée le 02 septembre 1984, la deuxième phase le 20 novembre 1998 et la troisième phase le 24 Février 2010. En 1983 le complexe disposait de quatre trains de traitement GPL qui lui permettait de produire 4.8 millions de tonnes par an et suite à une acquisition de deux trains supplémentaires (extension du complexe en 1998) cette production a augmenté pour atteindre 7,2 millions de tonnes par 5 ans. Après le démarrage de la troisième phase, la production est estimée à 10,8 millions de tonnes par an [1].

Le complexe GP1Z comprend neuf (9) trains dans la zone de procédés, et des moyens communs pour la charge, le sochage, le chargement et la reliquefaction des vapeurs en off-site. Chaque train dans la zone de procédés a été conçu pour une production nominale d'un million de tonnes de produits (propane et butane).

□.2.2 Objectif

Le complexe a pour objectif, le traitement d'une charge brut de gaz de pétrole liquéfié GPL(LPG en anglais), c'est un mélange d'hydrocarbures légers en proportions variables. Il est obtenu à partir du pétrole brut par distillation atmosphérique ou lors de la production de gaz naturel grâce à un procédé de fractionnement. Ce traitement a pour but de produire du propane et butane commerciaux destinés au marché national et international, il est dénommé JUMBO-GPL (mot d'origine japonais signifiant un éléphant) pour ses grandes capacités de production [2].

I.2.3 Principales installations du complexe (GP1/Z)

Le complexe GP1/Z est doté des principales installations suivantes (Figure I.1) :

- 22 Sphères de stockage de la charge d'alimentation de 1000 m³ chacune.
- 09 Trains de traitement du GPL.
- 04 Unités de liquéfaction du gaz évaporé BOG.
- 04 Bacs de stockage de propane basse température de 70000 m³ chacun.
- 04 Bacs de stockage de butane basse température de 70000 m³ chacun.
- 04 Sphères de stockage de produits à température ambiante (propane et Butane) de 500 m³ chacune.
- 01 Sphère de stockage gazoline.
- 04 Salles de contrôle + 02 salles de supervision.
- 01 Sous-station électrique alimentée par la SONELGAZ.
- 04 Générateurs assurant l'énergie de secours du complexe en cas de coupure de courant.
- 02 Quais de chargement pouvant recevoir des navires d'une capacité variante entre 4000 et 50000 tonnes.
- Une rampe de chargement de camions.
- Une station de pompage d'eau de mer pour le réseau d'incendie.
- Un système de télésurveillance.

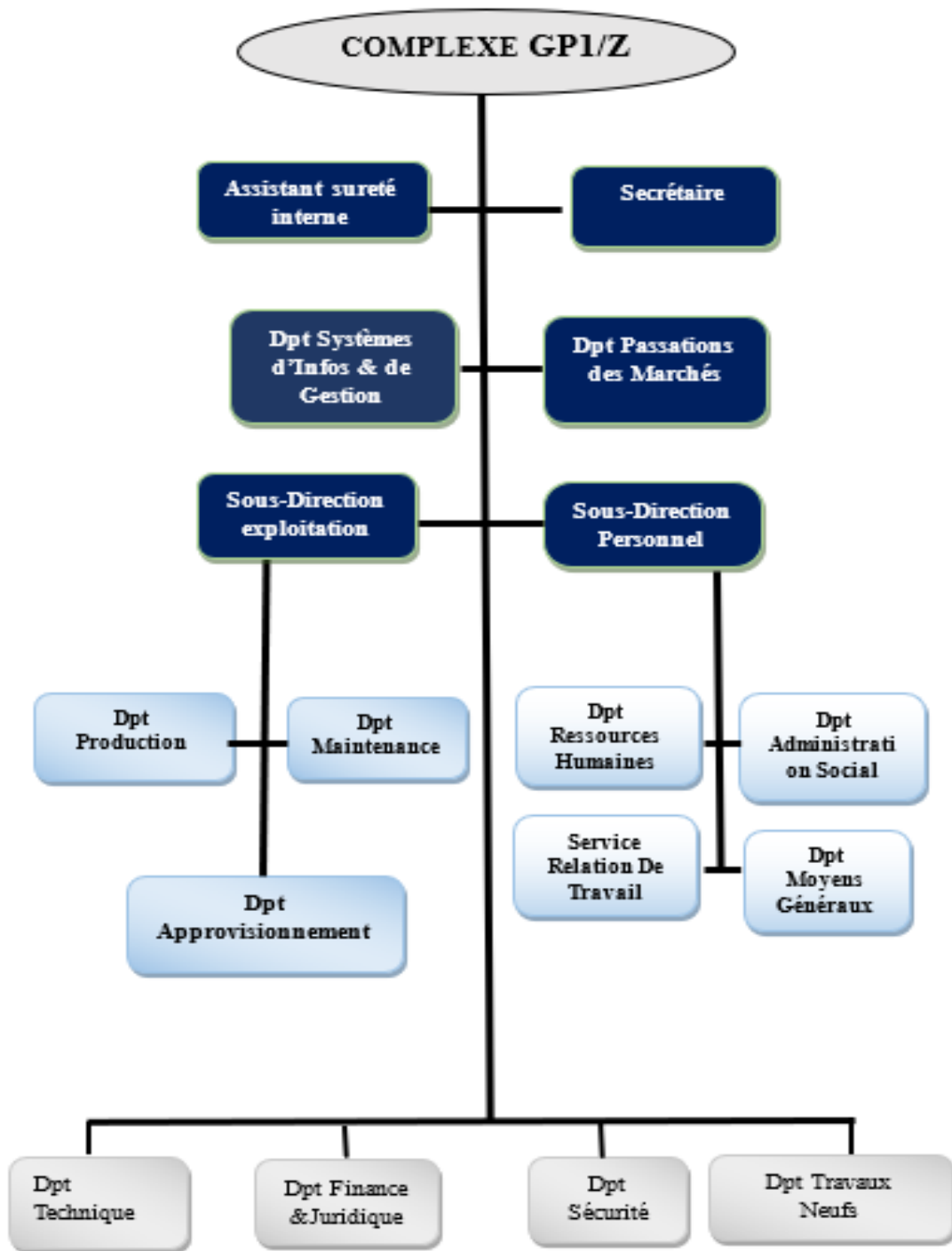


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..2.

Organigramme du complexe GP1/Z.

I.2.5 Description du système de production

L'industrie Algérienne du GPL a subi de profonds changements, ces dernières années notamment en matière de production, d'exploitation et dans les activités de transport maritime. Le programme de développement des ressources gazières a été lancé au début des années 90 qui fait bénéficier aujourd'hui des disponibilités importantes du GPL. Depuis la mise en exploitation du champ gazier de Hamra en 1996, la production du GPL en Algérie a connu un développement rapide. Le niveau de l'offre nationale du GPL est de l'ordre de 5,5 millions de tonnes en 1996, et plus de 7,3 millions de tonnes en 1998, et environ 9 millions de tonnes en 2001, et de 12,5 millions de tonnes en 2006 lorsque les projets développés ont été mis en service [1].

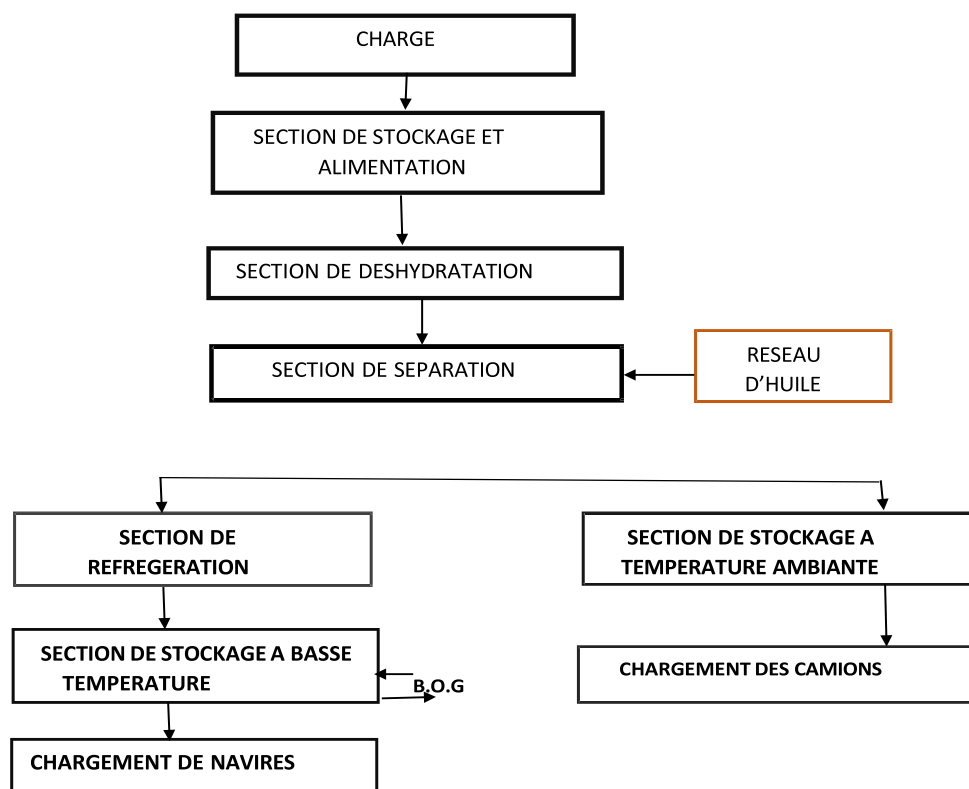


Figure I.3. Procédés de fabrication du GPL dans le complexe GP1/Z.

I.3. Prétraitement de la charge

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

a. Section demercuration :

La section démercurisation se compose de deux filtres GPL, deux coalesceurs et six démercuriseurs. Le filtres GPL, les coalesceurs et les démercuriseurs sont installés afin d'enlever les particules solides, l'eau libre et le mercure contenus dans la charge d'alimentation GPL avant les sphères de stockage de la charge d'alimentation [2].

➤ **Filtres :**

- Particules solides contenues dans la charge GPL : 0.1ppm.
- Granulométrie de solide après le filtre : inférieur à $5 \mu m$.

➤ **Coalesceur :**

- L'eau libre dans la charge GPL : au maximum 100 ppm.
- L'eau libre contenue dans la charge GPL après coalesceur : au maximum 25 ppm.

➤ **Démercuriseur :**

- Mercure contenue à l'entrée : $120\ 000 \text{ mg/Nm}^3$
- Mercure contenue à la sortie : 5 mg/Nm^3

b. Section de stockage d'alimentation :

Le GPL provenant de RTO représente l'alimentation principale des neuf trains du procédé qui fonctionnent en parallèle. Le GPL est stocké au niveau des 22 sphères d'une capacité unitaire de 1 000 mètres cubes. Ensuite, il est acheminé directement vers la zone de traitement par 09 trains au moyen des pompes, avec une pression de 30 KgF /cm^2 et une température ambiante (figure I.4) [3].

SECTION DESHYDRATATION DE CHARGE

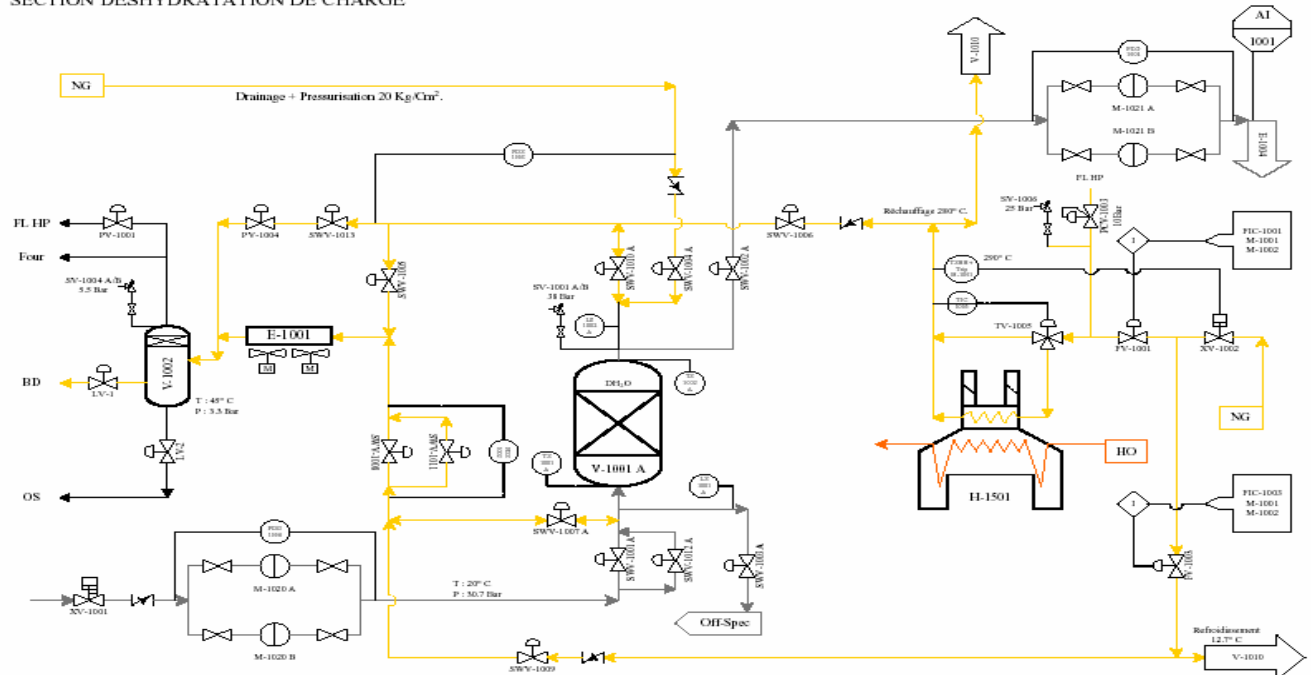


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document. **I.5.** Schéma représentatif de la section de déshydratation.

b. Section de séparation

A la sortie de la section de déshydratation, le GPL doit être porté à une température de 71°C par l'intermédiaire de trois stades de préchauffeurs avant de pénétrer dans le fractionnateur, le liquide d'alimentation est séparé en un produit de tête (propane et éthane) et un produit de fond (butane et pentane).

Le produit de tête du fractionnateur est envoyé à l'aide d'une pompe vers le dééthaniseur afin de réduire sa teneur en éthane. Le gaz riche en éthane sortant de la partie supérieure du dééthaniseur est utilisé comme combustible du four. Le propane sortant de la partie inférieure du dééthaniseur est canalisé vers la section réfrigération.

Le produit de fond du fractionnateur est envoyé vers le débutaniseur commun à l'ensemble des trains, afin de réduire sa teneur en pentane. Le butane sortant de la tête de débutaniseur, est envoyé à la section de réfrigération. Le pentane recueilli du fond du débutaniseur sera refroidi par aéroréfrigérant et envoyé vers le stockage ambiant (figure I.6) [2].

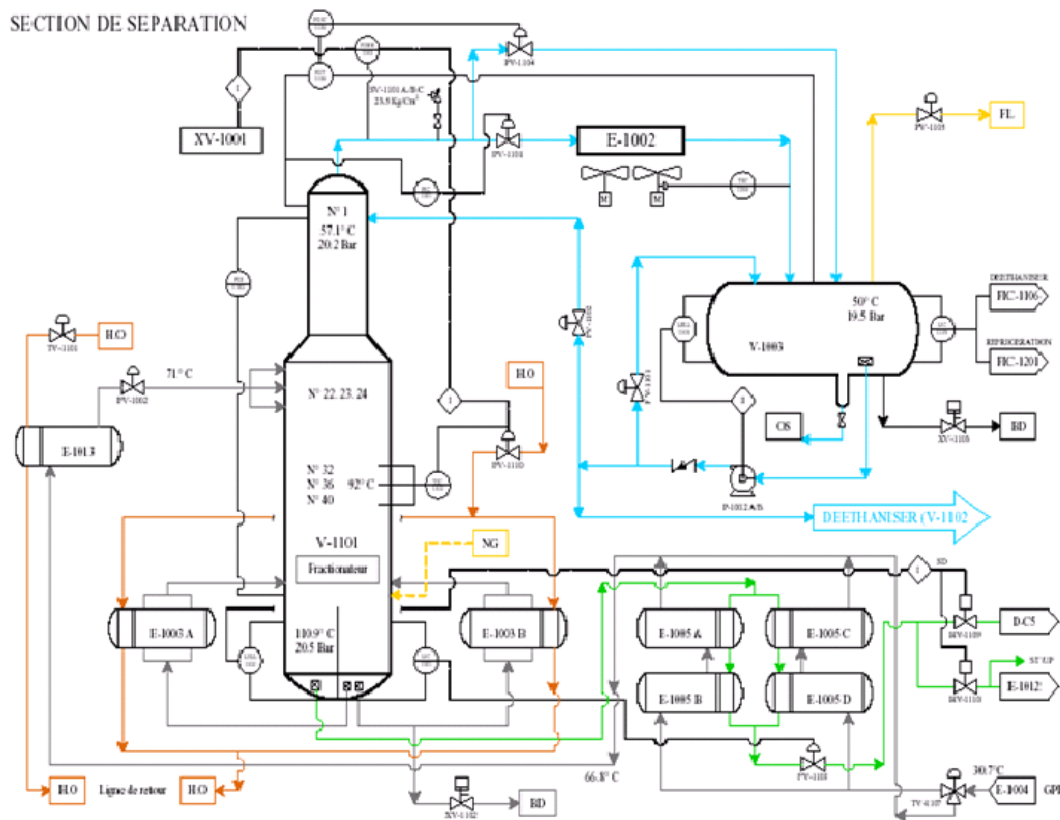


Figure I.6. Schéma représentatif de la section de séparation.

c. Section de réfrigération

Le propane et le butane provenant de la section de séparation sont refroidis à des températures correspondantes à leur point de saturation liquide soit (- 40 °C) pour le propane et (- 5 °C) pour le butane. Ils sont ensuite canalisés vers les bacs de stockage à basse température.[13]

Le refroidissement se fait par l'intermédiaire de trois schillers pour le propane et trois schillers pour le butane suivant un cycle fermé formant une boucle de réfrigération au propane pur (agent réfrigérant) fonctionnant sous trois stades de pression distinctes HP, MP et BP. Les vapeurs issues de l'évaporation du propane pur au niveau des trois stades de réfrigération sont collectées dans les trois ballons d'aspiration où elles sont aspirées par un compresseur centrifuge à trois étages entraîné par une turbine à gaz (PH I) ou un moteur électrique (PH II

et PH III) , pour être ensuite condensées dans les aérocondenseurs et accumulées dans le ballon accumulateur (figure I.7) [2].

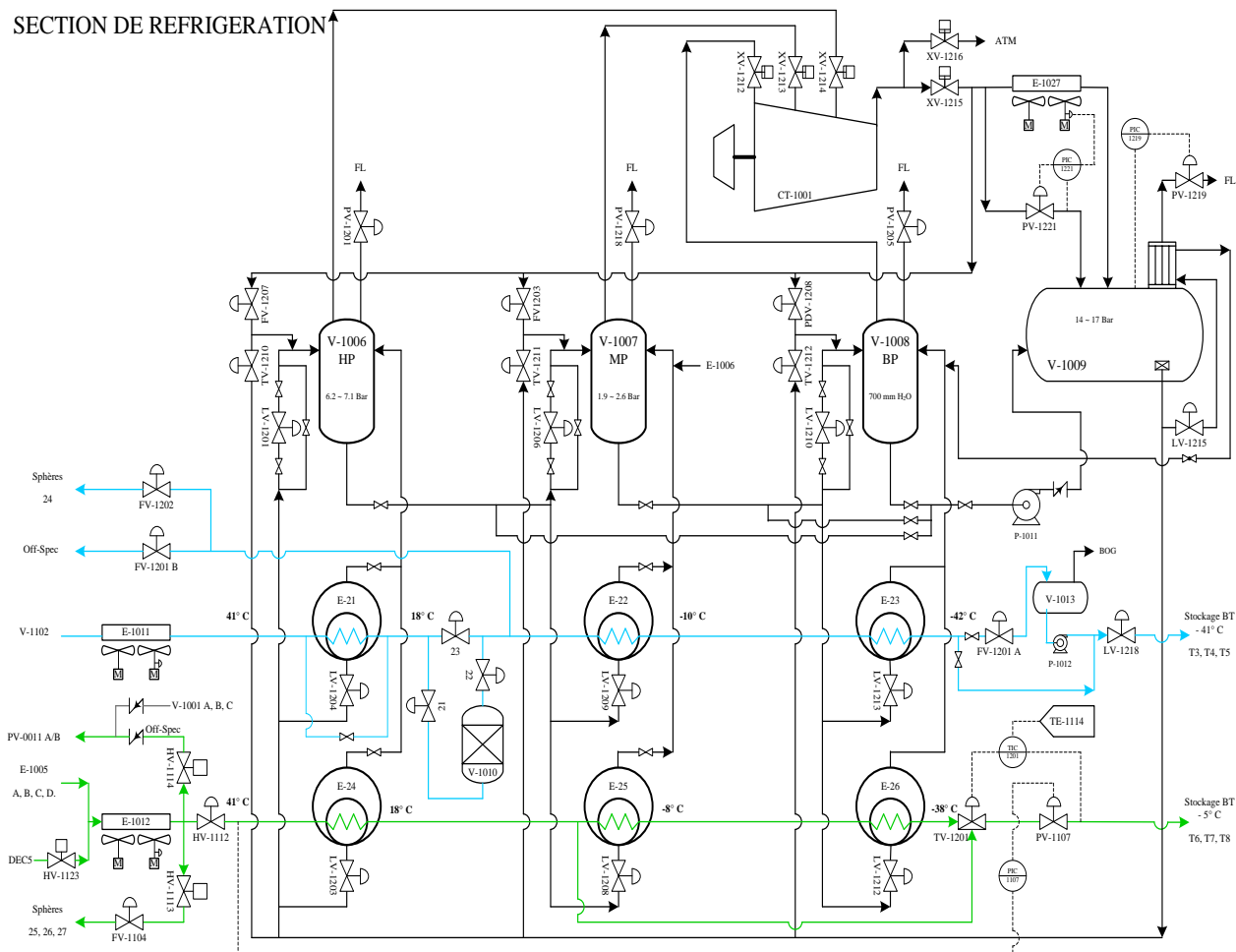


Figure I.7. Schéma représentatif de la section de réfrigération.

d. Section huile chaude

La section du fluide caloporteur (huile de réchauffage) fournit la chaleur aux rebouilleurs et au préchauffeur final de la charge GPL. Le fluide circulant dans le système est la TORADA. T.C.

La zone de convection du four du fluide caloporteur récupère la chaleur des gaz d'échappement de la turbine à gaz de la section réfrigération.

Le four sert aussi à fournir le gaz chaud de régénération nécessaire au fonctionnement de la section de déshydratation en préchauffant un courant de gaz naturel dans de un petit serpentin de la zone de convection (figure I.8) [1].

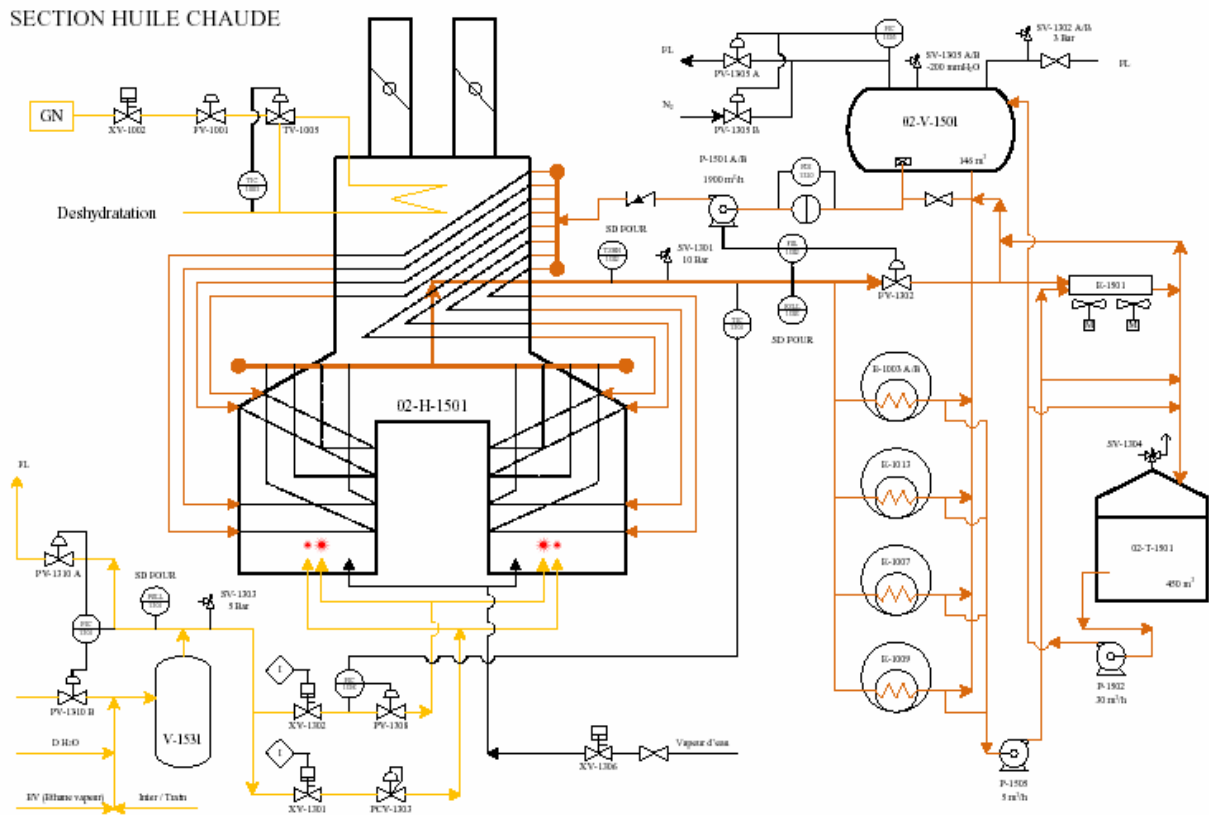


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document. I.8. Schéma représentatif de la section huile chaude.

e. Section de stockage de produit finis

Cette zone assure la manutention des produits commerciaux ; on distingue deux types de stockage de produits finis :

- Section de stockage à basse température

Propane → 4 bacs de 70.000 m³

Butane → 4 bacs de 70.000 m³

• Section de stockage à température ambiante

- Propane —> 1 sphère de 500 m³
- Butane —> 3 sphères de 500 m³
- Pentane —> 1 sphère de 500 m³

I.1.2f. Section de récupération des gaz évaporés BOG (Boil of Gas)

Les gaz d'évaporation provenant des différentes capacités de l'usine (bacs de stockage et des jetées D1 et M6 pendant le chargement navires) sont récupérés, liquéfiés par pressurisation au moyen d'un compresseur, refroidis à travers d'une batterie d'échangeurs et renvoyés vers les bacs de stockage (figure I.9) [3].

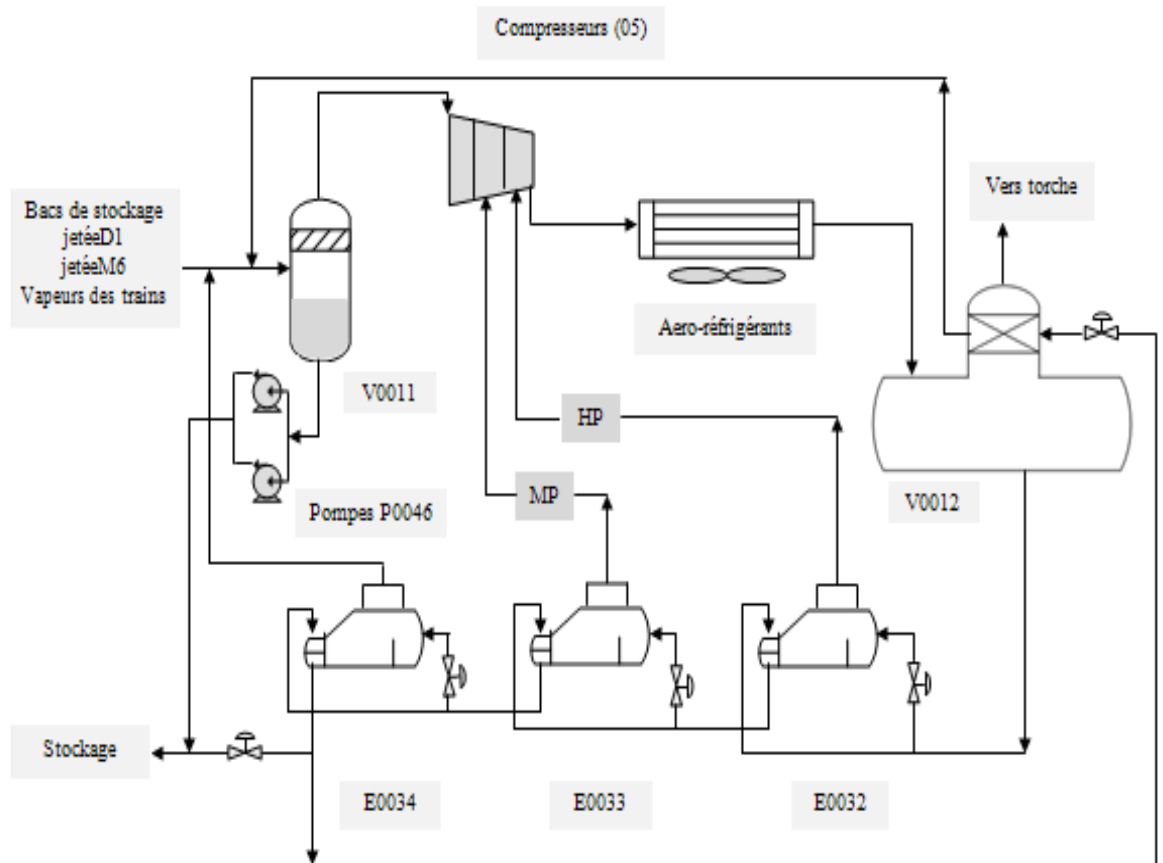


Figure I.9. Section de récupération des gaz évaporés B.O.G.

g. Section de chargement de produit finis

➤ **Chargement par navires (Produit : BT)**

L'usine dispose de deux jetées D1 et M6, pour le chargement des bateaux à basse température ayant une capacité de :

- 10.000 m³/h pour M6.

- 4.000 m³/h pour D1.

➤ **Chargement par camion citerne sous pression (Produit : TA)**

Les installations de chargement par camion sont conçues de manière à permettre le chargement simultané du propane et du butane.

Chapitre □

Systeme De Torchage

II.1 Introduction

L'image de la flamme jaillissant d'une torchère est emblématique de l'industrie pétrolière et gazière. Cette pratique, appelée torchage, consiste à brûler le gaz naturel qui remonte à la surface en même temps que le pétrole. Le torchage est souvent la solution facile pour se débarrasser du gaz naturel lorsqu'il n'y a pas d'infrastructures adéquates, comme des gazoducs ou des unités de liquéfaction, pour le transporter ou le traiter. De plus, le gaz naturel extrait peut parfois être de mauvaise qualité ou présent en quantité insuffisante pour être commercialisé. Loin d'être une solution inoffensive, le torchage du gaz naturel a des impacts néfastes sur l'environnement et l'économie. Loin d'être une simple nuisance, le torchage du gaz constitue un gaspillage flagrant d'une ressource naturelle précieuse. Ce gaz, qui pourrait être utilisé à des fins productives, telles que la génération d'électricité, ou préservé.

II.2. Définition

Le torchage ou « brûlage des gaz » est l'action de brûler, par des torchères, des rejets de gaz naturel à différentes étapes de l'exploitation du pétrole et du gaz naturel. Dans l'industrie pétrolière, le torchage concerne le gaz associé au brut qui ne peut être traité pour des raisons techniques, économiques ou sécuritaires [4].

II.3. Le torchage dans l'industrie du pétrole et de gaz :

Dans les raffineries et les industries, notamment dans les secteurs du pétrole, de la chimie et de la pétrochimie, la torche, aussi appelée torchère est un élément essentiel de la sécurité, c'est un dispositif conçu pour brûler en toute sécurité les gaz excédentaires ou non désirés provenant des processus industriels. Ces gaz, s'ils n'étaient pas évacués de cette manière, pourraient s'enflammer accidentellement, créant des risques importants pour l'environnement et la sécurité des sites. L'installation et l'utilisation des torches sont strictement réglementées par des normes et des lois spécifiques. Ces réglementations visent à garantir que les torches fonctionnent de manière efficace et sûre. La torche est souvent visible à grande distance, surtout lorsqu'elle produit une flamme vive ou un panache de fumée [5].

II.3 Fonctionnement des torches

Un gaz de balayage, ou gaz de purge, est injecté en continu afin de maintenir un flux de sécurité vers la torche, préserver la flamme des brûleurs allumée, et éviter tout retour d'air dans le système. En cas d'anomalie, comme une surpression dans une unité, la vanne de régulation s'ouvre pour rediriger davantage de gaz vers la torche. Si la surpression devient trop rapide ou incontrôlée, les soupapes de sécurité s'ouvrent automatiquement pour protéger l'équipement concerné. En situation critique ou lors d'un arrêt d'urgence, le système déclenche l'ouverture des vannes de décompression (BDV) pour soulager rapidement la pression. Pour assurer le bon fonctionnement du système de torche en toutes circonstances, plusieurs dispositifs de contrôle et de sécurité sont mis en place [6] :

- Un réseau de gaz de balayage pour les collecteurs de torche ;
- Un réseau de gaz pilote maintenant en continu une flamme au niveau de la torche (dans le cas des torches en fonctionnement permanent) ;
- Deux pilotes ou plus, en fonction du diamètre de l'installation ;
- Un système d'allumage à distance pour les pilotes ;
- Un réseau d'azote raccordable aux collecteurs de torche, utilisé pour l'inertage du système lors d'opérations de maintenance ou pour les torches dites « froides » ;
- Des caméras de surveillance permettant de contrôler la présence et l'état de la flamme.

II.4. Composition chimique de gaz torché

Les gaz naturels issus des puits de pétrole sont communément appelés « gaz associés ». Ils coexistent dans le gisement avec le pétrole, soit sous forme de gaz libres (gaz de couverture), soit dissous dans le pétrole brut. Une fois séparés du brut, ces gaz se présentent généralement sous forme de mélanges dominés par le méthane, auxquels s'ajoutent d'autres hydrocarbures légers tels que l'éthane, le propane, le butane et les pentanes. Cependant, les gaz naturels non traités contiennent également des impuretés comme l'eau, le sulfure d'hydrogène (H_2S), le dioxyde de carbone (CO_2), l'azote (N_2) et d'autres composants. Lorsque ces impuretés sont présentes, les gaz associés ne peuvent pas être valorisés dans le cadre du processus de production pétrolière [5].

En générale, la composition exacte des gaz torchés peut varier en fonction de nombreux facteurs, notamment la composition chimique du brut traité, les conditions de traitement et les

spécifications réglementaires. Les raffineries et les installations de traitement de brut utilisent des systèmes de surveillance et de contrôle pour mesurer et ajuster la composition des gaz torchés afin de se conformer aux normes environnementales et de sécurité [6]. Les principaux constituants du gaz torché sont:

❖ Oxyde de Carbone :

L'oxyde de carbone (CO) est l'un des principaux constituants des divers gaz industriels utilisés comme combustible gaz de houille, gaz à l'air ou gaz de gazogène.

A la température ordinaire, le (CO) est un composé métastable. Il se dissocie en carbone et en gaz carbonique entre 400°C et 700°C et en présence de certains catalyseurs (gel de silice, palladium dispersé).



Le (CO) brûle dans l'air ou l'oxygène avec une flamme bleue donnant du gaz carbonique et un dégagement de chaleur no



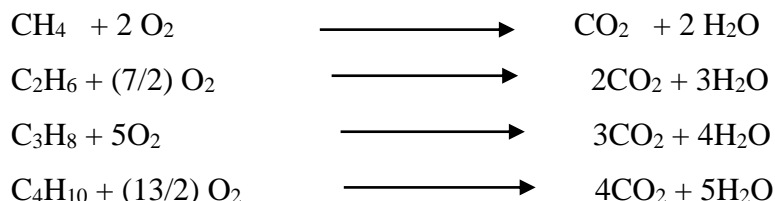
❖ Méthane (CH₄) :

Le méthane est le principal composant du gaz naturel torché environ 85% et sa non réaction avec l'air lors de la combustion incomplète, cause une éjection dans l'air de grandes quantités du méthane non brûlée.

II.5. Les produits du torchage :

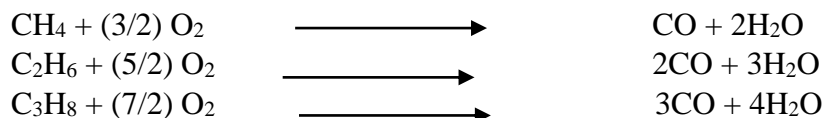
En théorie, la combustion complète d'hydrocarbures purs ne produit que de l'eau, du gaz carbonique et de l'azote. Toutefois, les modèles de torches peu efficaces ne brûlent pas tout le gaz et ils rejettent, avec le gaz carbonique, des hydrocarbures non brûlés et du monoxyde de carbone.

- **Combustion complète [8]:** Les dessus C₁, C₂, C₃, C₄.

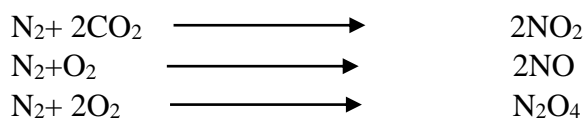


- **Combustion incomplète** : dans le cas de torchage lors des arrêts et des démarrages des unités ou pendant les déclenchements, la charge du gaz sera importante. Les réactions de combustion sont représentées ci-dessous:

- **Pour les hydrocarbures**



- **Pour l'azote**



Des conséquences sanitaires sont possibles sur l'homme puisque les gaz torchés émettent du benzène, des composés organiques volatils (COV) et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).[9]

II.6 Types de torchage

Les torches et les circuits de mise à l'air libre existent fondamentalement à tous les niveaux de l'industrie du pétrole, et du gaz et servent à l'évacuation de plusieurs types de gaz résiduels intermittent, continus et de démarrage. Ainsi, on distingue [6] :

a) **Torchage continu**

L'extraction de pétrole s'accompagne systématiquement d'émissions de gaz, issues à la fois des conduites de remontée et des installations de traitement. Une partie de ce gaz est utilisée pour alimenter la plateforme en énergie. Toutefois, le gaz résiduel, difficile à valoriser selon les caractéristiques du gisement, ne peut pas toujours être transporté par pipeline pour des raisons techniques ou économiques. Faute de solution de valorisation, il est brûlé sur place, une pratique connue sous le nom de torchage continu

b) **Torchage opérationnel**

En cas 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.

c) Torchage d'arrêt et 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.

d) Torchage d'urgence

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

II.7 Impact économique des gaz torchés

La réduction du torchage des gaz présente également un intérêt économique majeur. Depuis 1973, 32 projets de récupération des gaz torchés ont été mis en œuvre, alors même que les volumes de gaz associés produits ont été multipliés par quatre au cours des 33 dernières années. Le taux de torchage, qui s'élevait à 80 % en 1970, a chuté à 11 % en 2003, puis à 7 % en 2005. Entre 1980 et 2005, la compagnie a ainsi réussi à récupérer environ 411,32 milliards de mètres cubes de gaz. Dans cette dynamique, SONATRACH inscrit sa stratégie dans une vision tournée vers l'avenir, en anticipant dès aujourd'hui les défis de demain.

II.8 Impacts sur l'environnement

La maîtrise des émissions de méthane et de dioxyde de carbone (CO₂) contribuerait à réduire la pollution de l'air ainsi que le réchauffement climatique. Selon une étude réalisée par des chercheurs de plusieurs institutions américaines, le méthane joue un rôle direct dans la formation de l'ozone troposphérique. Or, l'ozone est non seulement le principal composant du smog, une forme de pollution de l'air de surface, mais il s'agit aussi, tout comme le méthane, d'un puissant gaz à effet de serre.

II.9 Le torchage dans le monde

Au total, près de 145 milliards de m³ de gaz seraient torchés chaque année dans le monde, En 2015, la Banque Mondiale a lancé avec plusieurs gouvernements et groupes pétroliers une initiative « Zéro Routing Flaring by 2030 » qui vise à mettre fin d'ici à 2030 aux opérations régulières de torchage de gaz sur les champs pétroliers.

➤ **Quelles sont les solutions et à quoi servirait de réduire ou même arrêter le torchage ?**

Le torchage représente une problématique environnementale majeure, d'autant plus que le gaz brûlé est perçu comme une perte économique. Plusieurs solutions ont été proposées par les institutions internationales et la communauté scientifique pour y remédier. Parmi elles, deux options concrètes et réalisables se détachent, en attendant la possibilité de commercialiser le « gaz associé » : la première consiste à réinjecter ce gaz dans le gisement pétrolier afin d'y maintenir la pression et d'améliorer le taux de récupération. Bien que cette opération puisse s'avérer techniquement complexe, notamment en raison des risques de corrosion des canalisations, elle reste une solution efficace.

Chapitre

Présentation du problème

III.1 Problématique

Depuis la nationalisation des hydrocarbures, SONATRACH a accompli des avancées notables dans la diversification et l'efficacité de ses activités, constituant ainsi une véritable fierté nationale. Face aux défis liés à une potentielle crise énergétique, le complexe GP1/Z s'engage activement dans la lutte contre toutes les formes de gaspillage énergétique. Dans ce contexte, la réduction du torchage constitue une priorité stratégique, non seulement pour la protection de l'environnement, mais également pour limiter les pertes économiques par l'adoption de solutions techniques moins coûteuses.

L'objectif principal de notre démarche est d'évaluer les quantités de propane, butane et GPL torchées lors des arrêts programmés pour la vidange des sphères de charge, et d'examiner les possibilités techniques de récupération de ces produits.

Après la quantification des gaz torchés, une étude vise essentiellement à réduire au maximum le volume de GPL liquide torché, afin d'optimiser les performances des sphères de charge tout en contribuant à la préservation de l'environnement et de la santé publique.

La mise en œuvre de la solution envisagée implique des investissements spécifiques. Ainsi, une étude technico-économique est nécessaire pour évaluer à la fois les coûts et la faisabilité de cette valorisation.

III.2 Analyse du problème

Le torchage global du complexe dépasse sa valeur de design (14,75%); cette situation est causée par les différents arrêts programmés des trains. Donc, il est indispensable de faire un drainage de liquide contenu dans tous les équipements du train jusqu'à la dernière goutte (pipes, échangeurs, ballons, colonnes ...etc.). Ces opérations sont nécessaires pour effectuer la maintenance ainsi que la vétusté des installations ou, des arrêts d'urgence en cas des fuites de gaz ou de défaillance des équipements. Alors on procède de la même manière que dans l'arrêt programmé pour résoudre le problème dans l'équipement concerné. Vu le nombre des arrêts d'urgence qui est intéressant, une quantité considérable de produit sera perdue.

III.3 Solution proposée

La solution proposée c'est modifié l'ancien système pour récupérer de la quantité de GPL liquides avant de la torcher en utilisant la nouvelle ligne, vers la ligne hors spécification qui retourne vers les sphères de charge

Cette étude apportant des modifications sur la section de système BLOW DOWN en rajoutant une ligne de 4'' à partir du ballon torchère avant que ces liquides s'évaporent pour maximiser la récupération de ces produits liquides drainés et accumulés dans le Ballon vide-vite (V-0703) en les renvoyant à la sphère de charge « hors spécifications » par injection de GNL.

III.4 Sphères de charge

Sont des réservoirs sphériques, cette section est conçue pour maintenir un fonctionnement stable et assurer une autonomie de plus de 10h pour alimenter les trains en GPL brut en cas d'arrêt de pompage est destinés aussi pour recevoir le flux de recyclage (hors spécification).

1. Rentabilité du procédé par la minimisation des pertes en GPL.
3. Réduction des frais énergétiques suite à l'utilisation partielle de l'évaporateur.
4. Création d'un nouveau issu pour le ballon vide vite qui ne contient pas dans le système de drainage en cas de bouchage [2].

III.5 Description le fonctionnement de système de torche

Le système de torche comprend toutes les tuyauteries installées entre les soupapes de décharge et la torche et une colonne montante atteignant le point de brûleur.

Il est à craindre qu'une explosion importante se déclare dans le système de torche si les pilotes sont allumés avant que tout le système soit suffisamment purgé au moyen d'un gaz non condensable. Les gaz convenant à la purge sont : gaz naturel, propane, azote, gaz inertes, oxyde de carbone, butane, GPL, leur température de service devrant être au-dessous de 0°C

Ce système est conçu pour la sécurité du personnel et les installations.[11]

III.6 Les équipements de projet[11]

a. Description de la torche

C'est une colonne montante de 130 m de haut qui guide la combustion du gaz ; elle est constituée d'un brûleur à gaz issu d'un ballon torche et représente l'allumage à base de GN

(1 kgf/cm²), d'air instrument (1 kgf/cm²) et d'étincelle (allumage par bouton d'allumage). Composé de trois pilotes.

b. Les différents types de torche

Il existe deux types de torche : Haute pression et Basse pression.

➤ **Système de torche à haute pression**

Le système de torche HP (trois torches) est conçu pour décharger un débit de 1020 tonnes/h utilisées pour des vapeurs qui ont des pressions entre 7.5 et 0.05kgf/cm². La hauteur de la torche est 130 m.

➤ **Système de torche à basse pression**

Le système de torche BP (deux torches) est conçu pour une capacité de 180T/h pouvant évacuer des vapeurs qui ont une pression entre 2.0 et 0.005 kf/cm² avec un débit de 180 tonnes/h. la hauteur de cette dernière est 90 m.

c. Ballon Vide vite

Son rôle est de recevoir tous les produits (Hydrocarbure liquide) drainés à partir des capacités, des équipements statiques ou rotatifs par des lignes de **Blow Down (BD)**. Le circuit du **(BD)** se divise en deux (2) lignes :

➤ **La ligne 4'' BD 8552 DIG :**

Cette ligne sort du ballon vide vite vert la ligne hors spécification elle contient une vanne manuelle et un clapet anti retour.

Le contenu liquide dans le **ballon vide vite** passe par le serpentin inférieur qui est immergé dans le vaporisateur, ce dernier contient l'eau industrielle à température 80°C et les gaz résultant empruntent la ligne de 6'' du sommet du ballon vide vite vers Torche pour être brûlés dans l'ancien système.

➤ **Ballon torchère [12]**

Son rôle est de prolonger le temps de séjour des produits à torcher afin de séparer le liquide associé aux gaz puis le gazéifier et l'envoyer vers torches (HP / BP) pour être brûlé.

Les ballons torchères HP sont munis de vaporisateurs remplis d'eau industrielle et chauffés par la ligne de vapeur d'eau contrôlée par une vanne pneumatique pour activer la gazéification des liquides.

- **ligne de drainage**

Cette ligne sort des sphères et entre directement dans le ballon vide vite.

- **Ligne hors spécification (off spect) [2]**

C'est une ligne de retour ou (recyclage) des produits propane et butane hors spécification vers les sphères de charge.

On utilise la ligne de recyclage en cas :

- Stock haut au niveau des bacs des produits finis.
- Niveau bas des sphères de charge (arrêt pompage de RTO),
- Un arrêt programmé d'un train, lors d'une vidange d'une sphère de charge
- Début de démarrage d'un train

III.7 Description de système Blow down

Ce système est conçu pour la sécurité du personnel et des installations en cas d'extrême urgence ou de l'arrêt normal du complexe, il peut y avoir une nécessité de procéder à un arrêt rapide tel qu'un incident majeur ou une défaillance grave pouvant provoquer des pertes considérables de GPL au niveau du complexe. Afin de faire face à de telles situations ; il existe un système de torche pour assurer la protection du personnel et de protéger les équipements contre l'endommagement.(figureIII.1).

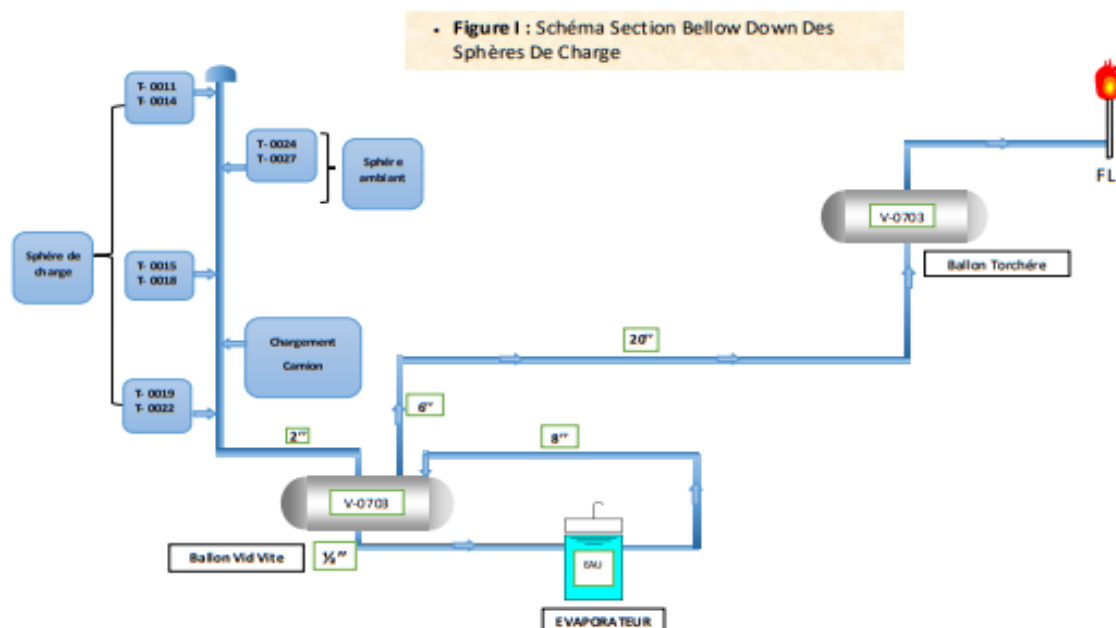


Figure III. I. Schéma de la section de bellow down.

III.8 Conception d'un nouveau système de récupération du GPL

Nous avons un ballon V-0703 contenant le produit qui vient de la ligne de drainage. Nous avons effectué une modification en ajoutant une nouvelle ligne de 4'' qui transporte le produit du ballon vers la conduite hors spécification pour récupérer le dans les sphères de charge.(figure III.2).

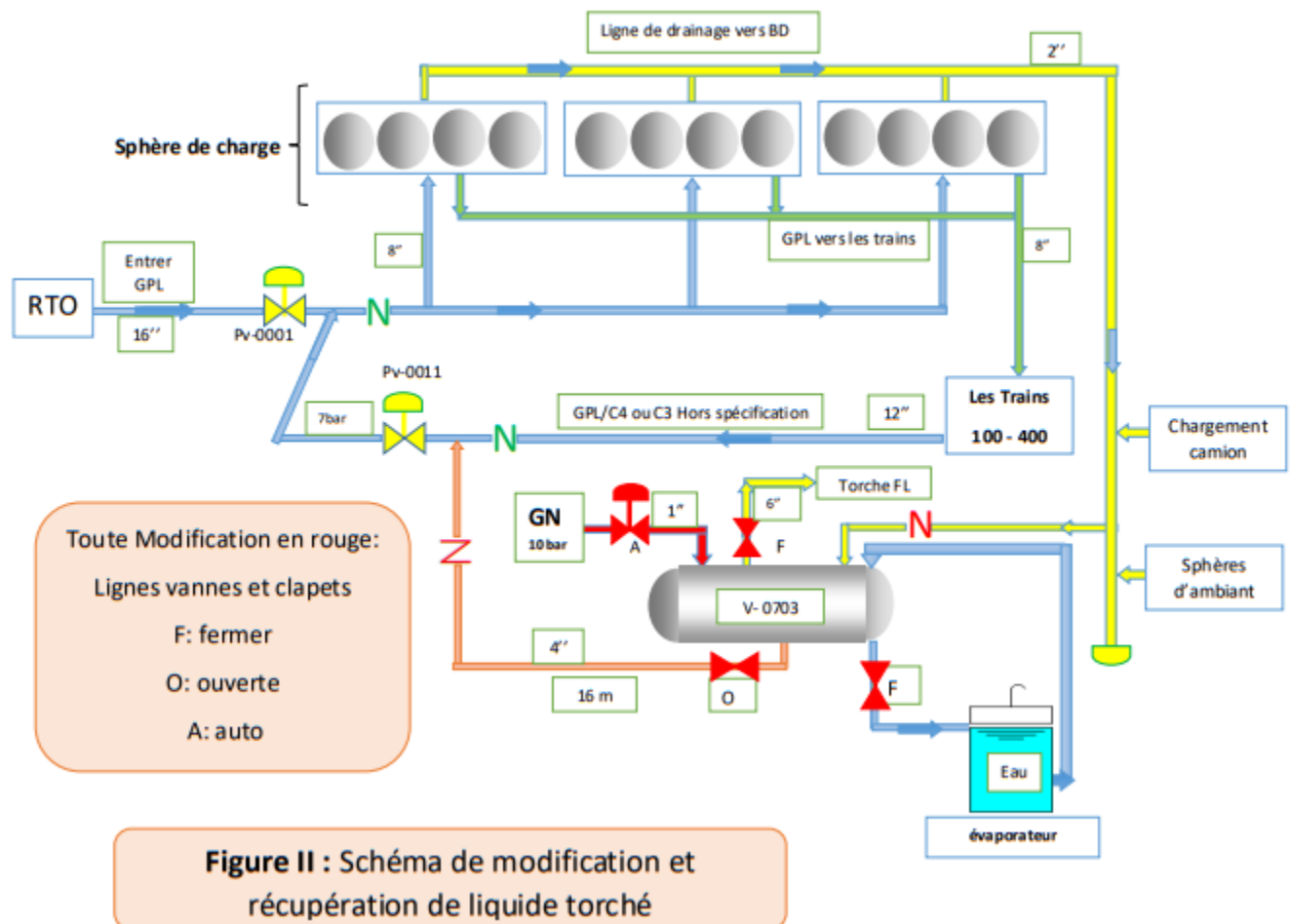


Figure. I.2. L'installation de la nouvelle ligne de récupération.

III.9 Description du procédé

En utilisant le nouveau système, les étapes suivantes sont prises en compte :

- L'opérateur doit être en position pour contourner l'évanaprateur E-703 ,en ouvrant la vanne manuelle V1 et en fermant les vannes d'entrée et sortie de l'évanaprateur (V2, V3 pour empêcher l'évanapration de liquide).

- La vanne automatique PV-10 sera mise en mode auto avec SP=6 kgf/cm² par le tableautiste à partir de la salle de contrôle.
- Ouvrir les drains des sphères pour vidanger vers ballon vide vite.
- Disposer les vannes de la nouvelle ligne cotée d'aspiration.
- Le clapet anti retour vers la ligne hors spécification et la ligne 4''
- Démarrage l'injection de GNL. Une fois la vidange de ballon vide vite vers les sphères de charge terminé, en retourne à l'ancien système. •

On arrête l'injection de GNL puis l'isolement les vannes d'aspirations et refoulement.

III.10 Procédures de vidange d'une sphère de charge :

- Fermer la vanne d'entrée du bloc concerné.
- Réduire le niveau d'entrée de la sphère cible ainsi que les vannes associées
- Fermer les vannes d'entrée de la sphère cible ainsi que les vannes associées.
- Fermer les vannes de débit minimum et d'équilibrage.
- Fermer la vanne de sortie du bloc.
- Isoler les autres sphères du groupe en fermant leurs vannes d'entrée et de sortie.
- Dépressuriser lentement la sphère concernée via les lignes de by-pass prévues.
- Pressuriser progressivement une autre sphère de réserve à l'aide du gaz inerte.
- Effectuer le transfert du produit à partir de cette sphère de réserve.
- Arrêter le transfert une fois atteint un niveau minimal.
- Mettre fin à la dépressurisation de la sphère initiale.
- Fermer les vannes de sortie de la sphère de réserve ainsi que les vannes de garde associées.
- Réouvrir les vannes d'entrée et de sortie des autres sphères selon la configuration normale.
- Alimenter à nouveau les sphères en gaz inerte par leurs vannes d'entrée respectives.
- Réouvrir les vannes d'entrée et de sortie du bloc.
- Vidanger la sphère de réserve vers le système de dégazage.
- Une fois vidée, dépressuriser la sphère de réserve vers la torche.
- Effectuer l'inertage de cette sphère lorsque la pression devient nulle.
- Isoler les soupapes de sécurité associées à cette sphère.

Chapitre

Calculs et resultats

IV.1 Description de procédé

Le complexe GP1/Z est construit sur des bases de sécurité très importantes car le produit traité (GPL, C3, C4) sont des produits de densité supérieure à celle de l'air pour cela une vigilance très grande doit être prêtée. L'ancien système de drainage (Blow down) doit être toujours prêt et l'évaporateur E_1701 doit aussi être toujours rempli par l'eau chaude $T= 80^{\circ}\text{C}$. Avant son utilisation, le nouveau système et l'ouverture des drains pour vidanger un équipement les étapes suivantes sont prises en considération:

- a- L'opérateur doit être sur place pour by passer l'évaporateur E_1701 sur la ligne 4'' BD 8553 DIZ par l'ouverture de la vanne manuelle de by passe et par la fermeture des vannes d'entrée et sortie de l'évaporateur.
- b- Fermeture de la nouvelle vanne manuelle entre le ballon vide vite et l'évaporateur pour empêcher l'évaporation de liquide.
- c- La nouvelle vanne automatique PV_1701 sera mise en mode auto avec $SP=5 \text{ kgf/cm}^2$ par le tableautiste à partir de la salle de contrôle.
- d- Ouvrir les drains des équipements pour vidanger vers ballon vide vite.
- e- Disposer les vannes de la nouvelle ligne cotée d'aspiration de la pompe P_1011.
- f- Disposer les vannes de refoulement de la pompe vers la ligne hors spécification.
- g- Démarrage la pompe P_1011.

Une fois la vidange de ballon vide vite vers les sphères de charge terminée, en retourne à l'ancien système.

- a. On arrête la pompe P_1011 puis l'isolement des vannes d'aspirations et refoulement.
- b. Disposition de l'évaporateur et isolement du by passe.
- c. Disposition de la vanne manuelle entre le ballon vide vite et l'évaporateur.
- d. Ouverture de la vanne PV-1701 jusqu'à 100% en mode manuel.

IV.2 Estimation de volume de GPL torché

Pour étudier la rentabilité économique et valoriser le projet, on passe par les étapes suivantes :

1. Estimation du coût de la quantité de Propane et Butane torché en (tonne) pendant l'arrêt d'un train.
2. Estimation du coût de l'investissement de la ligne de récupération.
3. Calcul du gain global du projet.

N.B : Après la récupération de GPL vers les sphères de chargement on va calculer la pression final (p2)

On va calculer la pression pour la sécurité d'installation de nouvelle ligne et pour circulation de produit dans les pipes.

❖ Appliquons la loi fondamentale de l'hydrostatique

$$P2 = P1 + \rho \times g \times H - \Delta p(\text{total})$$

Avec :

P2 : pression au point d'intersection avec la vanne PV-0011. (Pression de retour)

P1 : la pression de sortie de GPL vers la ligne de drainage (P1=10 Bar)

ρ : La masse volumique en (Kg/m³).

g : L'accélération de la pesanteur (m/s²).

H : La distance entre la pompe P-703 et la ligne de recyclage.

Sachant qu'il n'y a pas pompe (est substitué par l'injection directe de GN) donc ($\rho \times g \times H = 0$) donc :

$$P2 = P1 - \Delta p(\text{total})$$

IV.3 Estimation de la quantité du GPL torchée :

On veut savoir la quantité de GPL liquide torché lors d'une vidange des sphères.

Après une vidange il reste 5 % dans la sphère + volume occupée dans l'appendice et les pipes de sortie et d'entrée

- Pour une sphère de 1100m³ :

$$V = \frac{5\% \times 1100}{100\%} = 55 \text{ m}^3 + 3\text{m}^3(\text{entrée}) + 3\text{m}^3(\text{sortie}) + 1\text{m}^3(\text{appendice}) = 62\text{m}^3$$

- Pour une sphère (à température ambiante) de 500 m^3 (il n'y a pas d'appendice) :

$$V = \frac{(5\% \cdot 500)}{100\%} = 25 \text{ m}^3$$

$$V = 25 + 3 \text{ m}^3 (\text{entrée}) + 3 \text{ m}^3 (\text{sortie}) = 31 \text{ m}^3$$

$$V = 31 \cdot 3 = 93 \text{ m}^3 \text{ (3 sphères)}$$

Donc

$$V_{\text{Totale}} = 62 + 93 = 155 \text{ m}^3$$

$V = 155 \text{ m}^3$ (quantité drainée vers Blow down torchée)

IV.4 Théories de calculs :

- **Vitesse d'écoulement du gaz**

Selon la loi de la continuité nous avons : $Q_m = \rho \times V \times S$

v : vitesse d'écoulement du fluide en (m/s).

S : surface.

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \longrightarrow V = \frac{Q_m}{S \times \rho}$$

- **Nature de l'écoulement :**

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

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (\text{IV.1})$$

ρ : masse volumique en Kg/m^3

μ : viscosité dynamique en Kg/m.s

D : diamètre du collecteur en m.

v : vitesse d'écoulement en m/s.

Selon la valeur calculée de Reynolds on distingue trois régimes d'écoulement :

- Si $Re > 2300$ le régime est laminaire, il correspond à un écoulement régulier.
- Si $2300 < Re < 10^4$ le régime est transitoire (intermédiaire) correspond à un écoulement instable entre le régime laminaire et turbulent.
- Si $Re > 10^4$ le régime est turbulent indique la présence des tourbillons dans l'écoulement.

▪ Pertes de charge [7]

Les équations relatives à la chute de pression sont fondées sur le théorème de **BERNOULLI**. Un fluide réel en mouvement subit des pertes d'énergie dues aux frottements sur les parois des tuyères (pertes de charge linéaires) ou à cause des obstacles tels que les coudes, les clapets et les vannes (pertes de charge singulières).

a) Pertes de charges linéaires:

Ce type des pertes est dû généralement aux frottements résultants de contact entre le fluide et les parois internes des canalisations, il existe dans les tuyaux lisses bien que dans les tuyaux rugueux, les pertes de charge sont représentées par une diminution de pression tout au long de la canalisation.

Lorsque l'écoulement est turbulent, les pertes de charge linéaires sont déterminées par l'équation de **DARCY** :

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

Δp_L : Chute de pression en Kg_f/cm^2

λ : Coefficient de pertes de charge

D : Diamètre interne du collecteur en m.

ρ : Masse volumique en Kg/m^3

v : vitesse d'écoulement en m/s.

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

L : longueur du collecteur en m.

b) Pertes de charges locales (singulières) :

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

$$\Delta P_S = \rho \times K \times \frac{v^2}{2g} \quad (\text{IV.3})$$

K : coefficient de perte de charge locale : (**voir annexe N°1**)

ΔP_S : Chute de pression en Kg/cm²

ρ : Masse volumique en Kg/m³

v : vitesse d'écoulement en m/s.

➤ **Les coudes :**

Pour coude de 90°, K=0,50

➤ **Les vannes :**

Pour vanne :

- Vanne de contrôle : K= 3
- Vanne manuelle : K= 0.25
- Clapet anti – retour : K=0.68

IV.5 Partie calcul pour le dimensionnement de la ligne de récupération de propane

Deux critères sont retenus pour le dimensionnement d'une ligne : la vitesse et la perte de charge. Donc, pour cette partie on va calculer le débit, la vitesse, le nombre de Reynolds et les pertes de charge.

• **Données :**

- Le volume du GPL envoyé vers les lignes B.D pour un bloc de sphères est de **155 m³**.
- Le temps nécessaire pour vider la quantité restante dans les sphères est de **5h** (par chronomètre).

A. Le débit volumique du GPL

On a : $V = 155 \text{ m}^3$ et $t = 5 \text{ h} \Rightarrow Q_v = \frac{V}{t} = \frac{155}{5}$

A.N : $Q_v = \frac{155}{5} = 31 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_v = 31 \text{ m}^3/\text{h}$$

B. Débit massique : $Q_m = \rho * Q_v$

Sachant que la masse volumique du GPL est : $\rho_{GPL} = 537 \text{ Kg/m}^3$

A.N :

$$Q_m = 16647 \text{ Kg/h.}$$

C. Calcul de la vitesse d'écoulement :

On sait que :

$$Q_m = \rho * v * S \Rightarrow v = \frac{Q_m}{S * \rho}$$

On a une ligne de 4'', son diamètre est de **0.1016 m** et de longueur de **16m**.

Avec : $S = \frac{\pi * D^2}{4}$

A.N : $S = \frac{3.14 * (0.1016)^2}{4} = 8,1032 * 10^{-3} \text{ m}^2$.

Alors :

$$v = \frac{16647}{8,1032 * 10^{-3} * 537} = 3825,6491 \text{ m/h}$$

$$v = 1,0627 \text{ m/s}$$

d. Calcul de Reynolds :

- $\rho_{Gpl} = 537 \text{ Kg/m}^3$
- $\mu = 327.10^{-6} \text{ pa.s}$
- $D = 0.1016 \text{ m}$
- $v = 1.0627 \text{ m/s}$

En remplaçant ces données dans la relation (IV.1)

$$Re = \frac{537 \times 0,1016 \times 1,0627}{327 \times 10^{-6}} = 1,7 \times 10^5$$

On a trouvé une valeur de Reynolds $Re = 1,7 \times 10^5$, qui est $> 10^4$ donc l'écoulement est turbulent.

D. Calcul des pertes de charge :

La détermination du coefficient de perte de charge λ se fait par la méthode graphique à partir du diagramme de MODDY (ANNEXE N2) qui est en fonction du nombre de REYNOLDS et de la rugosité relative (ε/D).

Avec $\varepsilon = 0,0006$ pour l'acier au carbone, $D = 0,1016$ m

Alors : la rugosité relative $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0006}{0,1016} = 0,006$ à partir du diagramme on a trouvé : $\lambda = 0,037$

✚ Ligne 4 " :

a. Pertes de charge linéaire : (ΔpL)

On a:

- $\rho_{\text{gpl}} = 537 \text{ Kg/m}^3$
- $L = 16 \text{ m}$
- $D = 0,1016 \text{ m}$
- $v = 1,0627 \text{ m/s}$
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

En remplaçant ces données dans la relation (IV.2) :

$$\Delta pL = \left[0,037 \times 537 \times \frac{1,0627^2}{2 \times 9,81} \times \frac{16}{0,1016} \right] = 180,1045 \text{ kgf/m}^2$$

$$\Delta pL = 1,8010 \times 10^{-2} \text{ Kg/cm}^2$$

b. Pertes de charges singulières :

- Coudes Δp_c :

On a besoin de 1 coude de 90° pour assurer l'adaptation de la pipe à travers les installations

Pour les coudes de 90° On a $K = 0,5$ En remplaçant les données dans la relation (IV.3) :

$$\Delta p_c = \left[\frac{537 \times 0,5 \times 1,0627^2}{2 \times 9,81} \right] = 15,4549 \text{ kgf/m}^2$$

$$\Delta p_c = 1,5454 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$$

- Vannes Δp_v :

Pour cette ligne on a un clapet anti-retour et une vanne manuelle

Vanne manuelle : **K=0.25**

$$\Delta p_{v1} = \left[\frac{537 \times 0,25 \times 1,0627^2}{2 \times 9,81} \right] = 7,7275 \text{ kgf/m}^2$$

$$\Delta p_{v1} = 0,7727 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$$

- Clapet anti-retour : **K=0.68**

$$\Delta p_{v2} = \left[\frac{537 \times 0,68 \times 1,0627^2}{2 \times 9,81} \right] = 21,0187 \text{ kgf/m}^2$$

$$\Delta p_{v2} = 2,1018 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$$

Alors : $\Delta p_{s1} = \Delta p_c + \Delta p_{v1} + \Delta p_{v2}$

$$= 1,5454 \times 10^{-3} + 0,7727 \times 10^{-3} + 2,1018 \times 10^{-3}$$

$$\Delta p_{s1} = 4,4199 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$$

Donc : La perte de charge pour la 1ère ligne de 4 '' sera :

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{l1} + \Delta p_{s1} = 1,8010 \times 10^{-2} + 4,4199 \times 10^{-3}$$

$$\Delta p_{tot} = 0,0225 \text{ kgf/cm}^2$$

D'après la loi fondamentale de l'hydrostatique on aura :

$$P_2 = P_1 - \Delta p_{Tot}$$

- P1 : 10⁶ pascal
- $\Delta p_{Tot}=0,0225\text{kgf/cm}^2$

$$\Delta p_{Tot}=0,0225\text{kgf/cm}^2 \longrightarrow \Delta p_{Tot}=2206,4962 \text{ Pascal}$$

A.N:

$$P2 = 10^6 - 2206,4962 = 9,98 \times 10^6$$

P2=9,98x10⁶pascal

- On remarque que la valeur de pression à la sortie p2 est presque la même que celle d'entrée p1. Cette légère différence est due à la perte de charge au cours de l'écoulement de fluide dans le serpentin existant dans le ballon.
-

IV.6 Étude technico-économique

La décision d'investissement vise à choisir le projet capable de créer le plus de valeur pour l'entreprise. Pour cela, les outils d'aide à la décision s'appuient sur les flux financiers ainsi que sur leur répartition dans le temps. L'analyse de la rentabilité sera donc effectuée à partir des données issues du bloc des sphères de la phase 3 [2].

a. L'évaluation de la rentabilité :

La quantité de GPL non drainé qui a été récupérée en (tonne) pendant une vidange d'un seul bloc est calculée de la manière suivante :

$$\text{Masse (tonnes)} = \text{volume de GPL récupéré} \times \text{masse volumique} \quad \mathbf{1\text{kg} \longrightarrow 0,001\text{t/m}^3}$$

$$\text{La quantité du GPL récupérée en tonne} = 155 \times 0,537 \text{ tonne/m}^3 = \mathbf{83,2350 \text{ tonnes}}$$

○ Le prix actuel du GPL :

En se basant sur le prix actuel du GPL 550\$/T, donc le gain de récupération de GPL sera calculé comme suit :

- Le gain en dollars: $550\$ \times 83,2350 = \mathbf{45779,25\$}$

Sachant que le taux de change actuel est égal à : $\mathbf{1\$ = 129,79 \text{ DA}}$

- Le gain en dinar = $87396,75 \times 129,79 = 5937568,725$ DA (approximativement car il y a d'autres frais à prendre en considération pour permettre le calcul exact de cette valeur).

b. Estimation du coût de l'investissement de la ligne de récupération :

- a) Le coût de la ligne de récupération peut être déterminé en calculant le coût de la tuyauterie et des accessoires associés, tels que présentés dans les tableaux IV.1 et IV.2.

• Le coût de la tuyauterie

Tableau Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..1. Coût de la tuyauterie.

Nature de l'acier	Diamètre (Pouces)	Langueur	Coût unité	Coût totale
A53, GrA	4	16	19669	236028

•Le coût des accessoires

Tableau Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..2. Coût des accessoires.

Type	Diamètre (pouces)	Nombre	Coût unité (DA)	Coût total (DA)
Coude 90°	3"	2	9978	19956
Vanne manuelle (LCB)	4" 1"	2	155870	311740
Clapet anti retour	4"	1	36800	36800
Total	/	/	/	368496

• Le coût total:

Le coût total de la réalisation de la nouvelle ligne sera : 604524 DA

✓ **Le gain global du projet :**

5937568,725-604524= 5 333 044,725 DA

Ce projet permet au complexe de réaliser un gain de **5 333 044,725 DA** dès le premier arrêt de bloc. Ce montant est appelé à augmenter à partir du deuxième arrêt. Étant donné que le complexe compte trois blocs et plusieurs arrêts programmés, cette modification s'avère avantageuse pour l'ensemble de l'installation

Conclusion:

Il est impératif de comprendre que, dans le contexte énergétique actuel, les sources d'énergie représentent un pilier stratégique de notre économie nationale. Toute déperdition énergétique, quelle qu'en soit la forme, engendre inévitablement un impact direct sur les coûts d'exploitation ainsi que sur la rentabilité des produits finis.

Parmi les priorités majeures du complexe GP1/Z figure la réduction significative du torchage de gaz. Or, il a été constaté qu'un volume non négligeable de gaz est torché lors des arrêts programmés des sphères de charge. Face à cette réalité, une réflexion approfondie s'est imposée afin de proposer des solutions concrètes visant à limiter ces pertes.

Ainsi, la mise en place d'une ligne de récupération dédiée est apparue comme une alternative stratégique. Ce projet permettrait non seulement de valoriser une portion importante de GPL auparavant perdue, mais aussi de générer des économies substantielles estimées à environ de 5 millions de dinars algériens (MDA) par bloc de sphères — soit une récupération annuelle proche du volume total d'une sphère de charge.

Ce gain énergétique et économique positionne cette solution comme une réponse pertinente aux enjeux environnementaux et de performance industrielle du complexe.

Références bibliographiques

- [1] S. Morad, récupération des gaz torchés en état liquide, Mémoire de concours d'idées, complexe GP1/Z, 2018.
- [2] Manuel Opérateur GP1/Z, Généralités sur le complexe GP1Z
- [3] M.BENAMEUR, N.KHENAFUO, Etude de la récupération des gaz torchés dans la section BOG et la diminution des rejets des fumées. Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, (2017).
- [4] A.DIB, A. TAIBAOU, Impact environnementale du gaz torchés au niveau de la zone industrielle HASSI R'MEL, Mémoire de Master, Université de Amar Thelidji- Laghouat 2020.
- [5] <https://www.dispositifreponses.org/cles-pour-comprendre/reduire-les-emissions-de-pollution/tout-savoir-surles-torches>.
- [6] Manuel Opérateur UTBS; Sonatrach, HASSI MESSOUAD, 2010
- [7] Strasbourg :Johann Reinhold Dulsecker(1738)
- [8] CICOGNANI, Hubert phsico-chimie de la combustion. Paris : Edition Tec&Doc/ Lavoisier,2004
- [9] B. Hanaa, etude de la possibilité de la récupération des gaz torchés au niveau du champ de Haoud Berkaoui, mémoire, ouargle, Algérie, 2019.
- [11] K. M, «scribd,» [En ligne]. Available: <https://fr.scribd.com/document/489587599/TORCHE-VIDE-VITE>.
- [12] H. S, etude d'installatin des ballons de torche HP,MP et BP par hysys au niveau de Guellala, mémoire, 2018.
- [13] C. H, soft de réfrigration, complexe GP1/Z, 2010.

ANNEXES

ANNEXE N°1

Les pertes de charge dans les accessoires

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

ANNEXE N°2

Diagramme de MOOD 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 »

