



N° d'ordre : M2/GC/2020

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
DE MASTER ACADEMIQUE**

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie Chimique

Thème

**Méthodes proposées expérimentales et théoriques de la récupération
et la réduction de BOG du bac de butane au niveau du complexe
GNL3/Z**

Présenté par :

M^{elle} ZENTICI Salima

M^{elle} BENNAMA Souad

Soutenu le 18/06/2020 devant le jury composé de :

Président :	M. R. GHEZZAR	Professeur	Université de Mostaganem
Examinatrice :	H. DIB-MERAD	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	S. BENDENIA	Professeur	Université de Mostaganem

Remerciements

Tout d'abord nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné la force et la patience et la volonté de réaliser ce mémoire.

C'est avec une profonde reconnaissance et une considération particulière que nous remercions notre encadreur **Mme Souhila. BENDENIA**, Professeur à l'Université de Mostaganem, qui a accepté de nous encadrer, pour son aide précieuse, ses conseils, sa patience, son soutien et ses efforts dont elle a fait preuve pendant toute la durée de ce travail.

Nos remerciements vont également à **Mr. Mouffok Redouane GHEZZAR**, Professeur à l'Université de Mostaganem, pour avoir accepté de présider ce modeste travail.

Nos sincères remerciements pour Mme **H. MERAD DIB**, Maître de conférences B à l'université de Mostaganem, pour sa disponibilité à examiner ce travail.

Nous remercions très vivement le personnel du département de production qui nous a accueillis au sein du complexe GL3/Z, pour leurs encouragements et leurs aides.

Enfin, nous remercions très chaleureusement toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.





Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à :

*Nos chers parents, Nous vous remercions
pour vos sacrifices, votre amour, votre
tendresse, votre soutien et vos prières tout
au long de nos études,*

*Nos très chers frères et sœurs,
Toutes Nos familles,
Et à tous Nos amis (es).*

Salima & Souad



LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Description générale du complexe GL3 /Z

Figure I.1 : Chaîne d'approvisionnement en gaz du projet GL/3Z.....	4
Figure I.2 : Vue générale du complexe GL3/Z	5
Figure I.3 : position de l'usine GL3/Z	5
Figure I.4 : plan général de GNL-3Z	6
Figure I.5 : Schéma fonctionnel général GNL.....	12
Figure I.6 : Procédé APCI	13
Figure I.7 : Schéma fonctionnel global.....	15

Chapitre II : Section du réfrigération et bac de stockage du butane C₄

Figure II.1 : Echangeur HP propane/butane (72-MC03) et l'échangeur BP (72-MC04) de la section de réfrigération	22
Figure II.2 : Ballon d'aspiration du compresseur HP de gaz évaporés du propane (72-MD04)	23
Figure II.3 : Ensemble du compresseur de gaz évaporés (BOG) du réservoir de stockage de propane 2ème étage (72-MJ10) de la section de réfrigération	24
Figure II.4 : Ballon d'aspiration du compresseur BP des gaz évaporés du propane (72-MD03)	25
Figure II.5 : Ensemble du compresseur de gaz évaporés (BOG) du réservoir de stockage de propane 1er étage (72-MJ09-A/B) et pompes de transfert du Propane (72-MJ06-A/B).....	26
Figure II.6 : Condenseur des vapeurs (72-MC01) et Accumulateur du propane liquide (72-MD01).....	27
Figure II.7 : Réservoir de stockage du butane (72-MF01) et celui du propane (72-MF02) de la section de stockage.....	28

Chapitre III : Problématique et les Solutions proposées

Figure III.1 : Boucle de chargement du produit GPL butane ...	37
Figure III.2 : Appareil de chromatographie au niveau du complexe GL3/Z.....	38

Figure III.3 : Boucle de contrôle de pression du réservoir C ₄ (72-PIC-5603)	44
Figure III.4 : Signaux OP pour les vannes de commande actuels.....	44
Figure III.5 : Schéma de la modification de la logique de régulation de pression schématisé par logiciel Edraw max	45
Figure III.6 : Signaux OP pour les vannes de commande modifiés	46
Figure III.7 : Catégories principales de compresseurs	47
Figure III.8 : Plages d'application des différents types de compresseurs	48
Figure III.9 : Compresseur rotatif à vis	48
Figure III.10 : Composition d'un échangeur à plaques	50
Figure III.11 : Principe de l'échangeur tubulaire	51
Figure III.12 : Exemple de pompe centrifuge	53
Chapitre IV : Etude de faisabilité de récupération du BOG	
Figure IV.1 : Schéma de simulation de la section de réfrigération par Hysys	56
Figure IV.2 : Schéma de simulation de la boucle de réfrigération avec les équipements de la deuxième option	57
Figure IV.3 : Schéma de simulation détaille A.....	58
Figure IV.4 : Simulation de la boucle de réfrigération avec les équipements de la troisième solution... ..	60
Figure IV.5 : Schéma de simulation détaille B	61
Figure IV.6 : Simulation de la boucle de réfrigération avec les équipements de la quatrième solution	64
Figure IV.7 : Schéma de simulation détaille C	65
Figure IV.8 : Schéma de simulation qui présente l'influence d'injection de BOG C ₄ dans l'aspiration des compresseurs BOG C ₃	70

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Description générale du complexe GL3 /Z

Tableau I.1 : Compositions du GNL commercialisé	8
Tableau I.2 : Conditions du gaz d'alimentation	9
Tableau I.3 : Composition du gaz d'alimentation	9

Chapitre II : Section du réfrigération et bac de stockage du butane C₄

Tableau II.1 : liste des équipements de l'unité 72	30
Tableau II.2 : Données principales du réservoir de stockage du butane	31
Tableau II.3 : Caractéristiques du bac de stockage GPL butane 72-MF01	32
Tableau II.4 : Données de conception	33

Chapitre III : Problématique et les Solutions proposées

Tableau III.1 : Résultats des analyses chromatographiques du BOG butane	39
Tableau III.2 : Résultats de l'estimation de la quantité torchée	40
Tableau III.3 : Pertes d'énergie sur le plan économique.....	42

Chapitre IV : Etude de faisabilité de récupération du BOG

Tableau IV.1 : Représentation des résultats de la simulation de la deuxième option	58
Tableau IV.2 : Représentation des résultats de la simulation de la troisième option	61
Tableau IV.3 : Suite des résultats de la simulation de la troisième solution	62
Tableau IV.4 : Représentation des résultats de la simulation de la quatrième option	65
Tableau IV.5 : Suite des résultats de la simulation de la quatrième option	66
Tableau IV.6 : Comparaison entre les quatre options.....	68
Tableau IV.7 : Résultats d'analyses du BOG butane	69

Tableau IV.8 : Représentation des résultats de l'influence d'injection de BOG C4 dans
l'aspiration des compresseur BOG C₃.....71

Tableau IV.9 : Comparaison des compositions obtenues avec les exigences commerciales....75

LISTE DES ABREVIATIONS

- GNV** : gaz naturel pour véhicules.
- GTL** : gaz transformé en liquide (gas to liquid).
- CDN** : contribution déterminée au niveau national.
- CCNUC** : convention-cadre des nations unies sur le changement climatiques.
- GNL** : Gaz Naturel Liquéfié.
- GPL** : Gaz de Pétrole Liquéfié
- HHV** : Pouvoir Calorifique Supérieur PCS (higher heating value).
- APCI** : Air Product Chemical Incorporation (incorporation de produits chimiques dans l'air)
- MCR** : Multi Composant Réfrigérant.
- MR** : Réfrigérant Mixte.
- LP** : Low Pressure (basse pression).
- MP** : Moyenne Pression.
- HP** : Haute Pression.
- HHP** : Haute Haute Pression.
- MCHE** : Main Cryogenic Heat Exchanger (échangeur cryogénique principal).
- JT** : Joule Tompson.
- MMPA** : Million de Tonnes Métriques Par An.
- ppm** : partie par million.
- EGZIA** : Entreprise de Gestion de la Zone Industrielle d'Arzew.
- COV** : Composés Organiques Volatils
- HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
- BOG** : Boil-Off Gas (gaz évaporés).
- ID** : inner diameter (diamètre intérieure).
- TL** : total length (longueur totale).
- BP** : Basse Pression
- CPG** : la Chromatographie en Phase Gazeuse.

CV : Caractère de la Vanne.

PV : control valve pressure (Pression de la vanne de régulation).

PIC: pressure indicator & control (régulateur indicateur de pression).

OP : out put (pourcentage d'ouverture).

PT : Pressure Transmitter (transmetteur de pression).

PY : sélecteur de plage fractionnée.

PDF : schéma de procédé (Process Flow Diagramme).

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION GENERAL.....	01

CHAPITRE I

DESCRIPTION GENERALE DU COMPLEXE GL3 /Z

I.1.	INTRODUCTION	03
I.2.	PRESENTATION DU COMPLEXE GL3/Z	03
I.2.1.	Situation géographique.....	05
I.2.2.	Disposition de l'usine.....	05
I.2.3.	Fiche technique du complexe GL3/Z	06
I.2.4.	Capacité de l'usine	08
I.2.5.	Technologie du GNL	10
I.2.5.1.	Procédé type du GNL	11
I.2.5.2.	Procédé APCI	13
I.2.6.	Description générale des unités et des installation.....	14
I.2.7.	Le torchage dans l'industrie du pétrole et du gaz	18
I.2.7.1.	Les produits du torchage	18
I.2.7.2.	Impact des gaz torchés.....	18
I.3.	CONCLUSION	19

CHAPITRE II

SECTION DU REFRIGERATION ET BAC DE STOCKAGE DU BUTANE C₄

II.1.	INTRODUCTION.....	21
II.2.	DESCRIPTION DU PROCEDE DE L'UNITE 72.....	21
II.2.1.	Section de Réfrigération du GPL	21
II.2.2.	Système de stockage et chargement du GPL	27

II.2.2.1.	Mode de rétention	28
II.2.2.2.	Mode de chargeme	28
II.2.2.3.	Réservoirs de stockage	29
II.2.3.	Liste des équipements	29
II.3.	BAC DE STOCKAGE DU BUTANE C ₄	30
II.3.1.	Bases de conception des équipements	30
II.3.1.1.	Réservoir de stockage du butane (72-MF01).....	30
II.3.1.2.	Données géométriques principales	32
II.3.2.	Critères et hypothèses de conception	33
II.3.2.1.	Données de conception.....	33
II.3.2.2.	Conditions de conception	33
II.4.	CONCLUSION	34

CHAPITRE III

PROBLEMATIQUE ET LES SOLUTIONS PROPOSEES

III.1.	PROBLEMATIQUE	35
III.1.1.	Le but du travail	35
III.1.2.	Solutions proposées	35
III.2.	ANALUSE ET ESTIMATION QUNTITATIVE DES GAZ BOG DU BAC DE BUTANE	36
III.2.1.	Boil off gaz (BOG)	36
III.2.2.	Sources de BOG dans le bac de stockage du butane 72- MF01 au niveau du complexe GL3/Z	36
III.2.2.1.	Dégagement naturel des vapeurs C ₄	36
III.2.2.2.	Chargement des produits GPL	36
III.2.2.3.	Section de réfrigération hors service	37

III.2.2.4. Perturbation dans les échangeurs HP (72-MC03) et BP (72-MC04) au niveau de la section de réfrigération	38
III.2.3. Analyse qualitative	38
III.2.3.1. Analyses chromatographiques	38
III.2.4. Estimation quantitative et économique des gaz BOG du bac butane	39
III.2.4.1. Estimation quantitative du BOG C ₄	39
III.2.4.2. Estimation économique des gaz torchés du butane	42
III.3. PROPOSITION DES OPTIONS POUR LA RECUPERATION DU BOG C ₄	43
III.3.1. Première option.....	43
III.3.1.1. Philosophie de régulation actuelle	43
III.3.1.2. Philosophie de régulation modifiée	45
III.3.2. Deuxième option	46
III.3.2.1. Choix des équipements de la deuxième option	47
III.3.3. Troisième option	49
III.3.3.1. Choix des équipements de la troisième option	50
III.3.4. Quatrième option	53
III.4. CONCLUSION.....	53

CHAPITRE IV

ETUDE DE FAISABILITE DE RECUPERATION DU BOG BUTANE

IV.1. INTRODUCTION.....	54
IV.2. LA SIMULATION.....	54
IV.2.1. Logiciel Hysys.....	54
IV.2.2. Équation d'état.....	55
IV.3. SIMULATION DES OPTIONS PROPOSEES PAR HYSYS.....	55
IV.3.1. Simulation de la deuxième option.....	55
IV.3.1.1. Résultats de simulation de la deuxième option.....	58

IV.3.1.2. Discussion des résultats de la deuxième option.....	59
IV.3.2. Simulation de la troisième option.....	59
IV.3.2.1. Résultats de simulation de la troisième option.....	61
IV.3.2.2. Discussion des résultats de la troisième option.....	63
IV.3.3. Simulation de la quatrième option.....	63
IV.3.3.1. Résultats de simulation de la quatrième option.....	65
IV.3.3.2. Discussion des résultats de la quatrième option.....	67
IV.4. COMPARAISON ENTRE LES QUATRE OPTIONS PROPSEES.....	67
IV.5. CHOIX DE L'OPTION OPTIMALE.....	69
IV.6. INFLUENCE DE LA QUANTITE DE BOG C4 INJECTE DANS LA SECTION DE REFRIGERATION.....	69
IV.6.1. Simulation de l'influence d'injection de BOG C4 dans l'aspiration des compresseurs BOG C3.....	69
IV.6.2. Résultats de simulation.....	70
IV.6.3. Discussion des résultats de simulation de l'influence d'injection de BOG C4 dans l'aspiration des compresseurs BOG C3.....	72
IV.7. CONCLUSION.....	73
CONCLUSION GENERAL.....	74

REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

ملخص

في الوقت الحاضر ، يزداد استهلاك غاز البترول المسال بشكل كبير. يمثل هذا الأخير مصدرًا مهمًا للطاقة نظرًا لمعدل التلوث المنخفض مقارنةً بالوقود التقليدي الآخر. يمكن تكثيفها وتخزينها واستخدامها بسهولة ، مما يجعلها طاقة مثالية لمجموعة واسعة من التطبيقات.

الهدف من هذا العمل هو دراسة امكانيات استرداد (BOG C₄ (Boil Off Gas butane) في قسم التبريد و التخزين والتحميل لغاز البترول المسال (الوحدة 72) على مستوى مجمع GNL3/Z.

في هذا السياق ، اقترحنا أربعة خيارات تقنية و اقتصادية لاستعادة أبخرة البوتان المحترقة في الشعلة ، لمحاكاة تشغيلها و تحديد كمية أبخرة BOG من خزان تخزين البوتان (MF01-72) بطريقة من الحساب التقريبي. استخدمنا ASPEN Hysys ، و من هذه النتائج قارنا بين الخيارات الأربعة لتشكيل أداة دعم قرار الاختيار الأمثل .

Résumé

De nos jours, la consommation du gaz de pétrole liquéfié (GPL) augmente de manière significative. Ce dernier représente une source importante d'énergie considérant son bas taux de pollution comparé à celui des autres combustibles classiques. Il peut être facilement condensé, stocké et utilisé, ce qui fait de lui une énergie idéale pour une large gamme d'application.

L'objectif de ce travail est d'étudier les possibilités de récupération de BOG C₄ (Boil Off Gas butane) dans la section de réfrigération, stockage et chargement de GPL (unité 72) au niveau du complexe GNL3/Z.

Dans cet ordre d'idée, nous avons proposé quatre options techniques et économiques pour récupérer les vapeurs de butane brûlées dans la torche, de simuler son fonctionnement et de quantifier les vapeurs de BOG du bac de stockage butane (72-MF01) par une méthode de calcul approximative. Nous avons utilisé ASPEN Hysys, et à partir de ces résultats nous avons comparé entre les quatre options pour constituer un outil d'aide à la décision du choix optimale.

Abstract

Today, the consumption of liquefied petroleum gas (LPG) is increasing significantly. LPG is an important source of energy due to its low pollution rate compared to other conventional fuels. It can be easily condensed, stored and used, making it an ideal energy source for a wide range of applications.

The objective of this work is to study the possibilities of recovering BOG C4 (Boil Off Gas butane) in the LPG refrigeration, storage and loading section (unit 72) at the LNG3/Z complex.

Following this idea, we proposed four technical and economical options to recover the butane vapours burned in the flare, to simulate its operation and to quantify the BOG vapours from the butane storage tank (72-MF01) by a rough calculation method. We used ASPEN Hysys, and from these results we compared between the four options to form a tool to help make the optimal choice.

Mots clés

BOG C₄, réfrigération de GPL, stockage de GPL, GNL3/Z, ASPEN Hysys.

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie est considérée comme une base importante du développement économique et du bien-être. Elle est utilisée aussi bien dans les processus de production de l'industrie et de l'agriculture que dans les services. C'est pourquoi elle est souvent considérée comme le troisième facteur de production à côté du travail humain et du capital [1].

L'énergie comprend la production, le transport, la transformation, la distribution et la commercialisation des diverses sources d'énergie. La production d'énergie primaire est suivie par sa transformation éventuelle en énergie secondaire : production des produits pétroliers par raffinage, production d'électricité et de chaleur de réseau [2].

Le gaz naturel est devenu depuis quelques temps une source énergétique la plus convoitée dans le monde. En plus, quand on observe la nouvelle dimension gazière qui se traduit tout au long de ces dernières années en Algérie, nous ne pouvons qu'affirmer que le gaz est le combustible du siècle. L'Algérie réserve 4600 milliards de mètres cubes de gaz dans le monde.

L'Algérie est classé la quatrième à l'échelle mondial en terme de réserves prouvées, deuxième producteur en Afrique, troisième exportateur mondial. Elle participe à des projets gaziers au Pérou, au Venezuela, au Niger, en Libye, en Italie, au Yémen, en Afrique du Sud et en Mauritanie. Le gaz naturel est utilisée pour la production d'électricité, secteur résidentiel/tertiaire, industrie chimique et pétrochimique, carburant pour les véhicules (GNV) et la conversion chimique du gaz en carburant liquide GTL (gas to liquid) [3].

La réduction des gaz torchés est l'une des préoccupations primordiale pour tous les producteurs pétrolier et gazier, Pour cela Sonatrach veut mettre fin au torchage de gaz.

Depuis quelque années, Sonatrach a décidé d'œuvrer à développer les nouveaux champs pétroliers en intégrant la conservation du gaz associé sans recours au torchage de routine et à explorer et développer des solutions économiquement viables pour éliminer le torchage sur les sites existants, le plus rapidement possible. On sait que la «Contribution Déterminée au niveau National» (CDN) de l'Algérie auprès de la convention cadre des nations unies sur le changement climatiques (CCNUC) a inscrit des objectifs ambitieux en matière d'élimination du torchage de routine de gaz.

Le torchage de gaz, qui a pour origine des raisons de nature techniques ou économiques, n'est viable ni au plan de la gestion des ressources; ni du point de vue de la protection de l'environnement, fait remarquer Sonatrach dans un communiqué. Chaque année, le torchage est à l'origine du brûlage d'approximativement 140 milliards de mètres cubes de gaz naturel; dans des milliers de champs pétrolifères à travers le monde [4].

Notre thème a pour but d'étudier la possibilité de récupérer le BOG du bac de stockage du butane qui est actuellement torché et provoque une incidence financière et environnementale sur le complexe GL3/Z et la SONATRACH.

Dans ce mémoire nous avons partagé notre travail en deux parties :

- Une partie théorique, où nous présentons dans le premier chapitre le complexe GL3/Z, son emplacement, capacité, objectif, la technologie et les différentes unités de production du complexe. une description générale de l'unité de réfrigération, stockage et chargement de GPL et un aperçu détaillé sur le bac de stockage de butane dans le deuxième chapitre.
- Une partie pratique comprenant deux chapitres :
 - Chapitre III, qui met en évidence les sources de BOG C4 dans le bac de stockage butane au niveau du complexe GL3/Z et une analyse qualitative et estimation quantitative des gaz de BOG du bac butane. Ainsi qu'une estimation économique pour montrer l'importance des quantités du butane brûlées dans la torche, Ainsi qu'une proposition des solutions pour la récupération de BOG C₄ et le choix des équipements pour chaque installation.
 - Chapitre IV, qui présente des notions générale sur la simulation et logicielle Hysys, la simulation des options proposés pour examiner leur faisabilité, les résultats des simulations seront discutées dans ce chapitre. Ainsi qu'une comparaison entre les options proposées pour faire un choix optimale.

Nous terminerons ce travail par une conclusion qui récapitule les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE I
DESCRIPTION
GENERALE DU
COMPLEXE GL_3 / \mathbb{Z}

CHAPITRE I

DESCRIPTION GENERALE DU COMPLEXE GL3 /Z

I.1. INTRODUCTION

Les hydrocarbures ont toujours joués un rôle très intéressant dans le développement national. Ils représentent une source d'énergie qui est jusqu'à nos jours la plus utilisée et la plus indispensable soit dans la vie quotidienne ou dans l'industrie, c'est pour cela il faut veiller au bon fonctionnement et un bon traitement des hydrocarbures pour garantir un meilleur rendement.

L'Algérie est un pays traditionnellement fournisseur de gaz naturel à l'Europe depuis 1964, d'abord en Angleterre, puis en France, Italie, Espagne et Portugal à travers les flux de GNL.

La SONATRACH est classée comme étant la treizième compagnie pétrolière mondiale, deuxième producteur en GNL et GPL, troisième exportateur en gaz naturel ainsi que premier exportateur de condensat.

I.2. PRESENTATION DU COMPLEXE GL3/Z

Ce complexe est développé par Sonatrach pour l'exploitation des réserves de gaz situés dans le bassin Berkine au Sahara. Le projet GL3/Z englobe la construction d'un système de pipelines pour le transport du gaz et une nouvelle usine de production de GNL. Celle-ci, comprendra un train de GNL et un deuxième train au future pour le traitement du gaz d'entrée, fractionnement et liquéfaction du méthane et comprendra également toutes les infrastructures nécessaires: utilités, stockage, jetée pour chargements des navires, etc. Le parcours du gaz de récupération jusqu'à l'expédition est illustrée sur la figure I.1

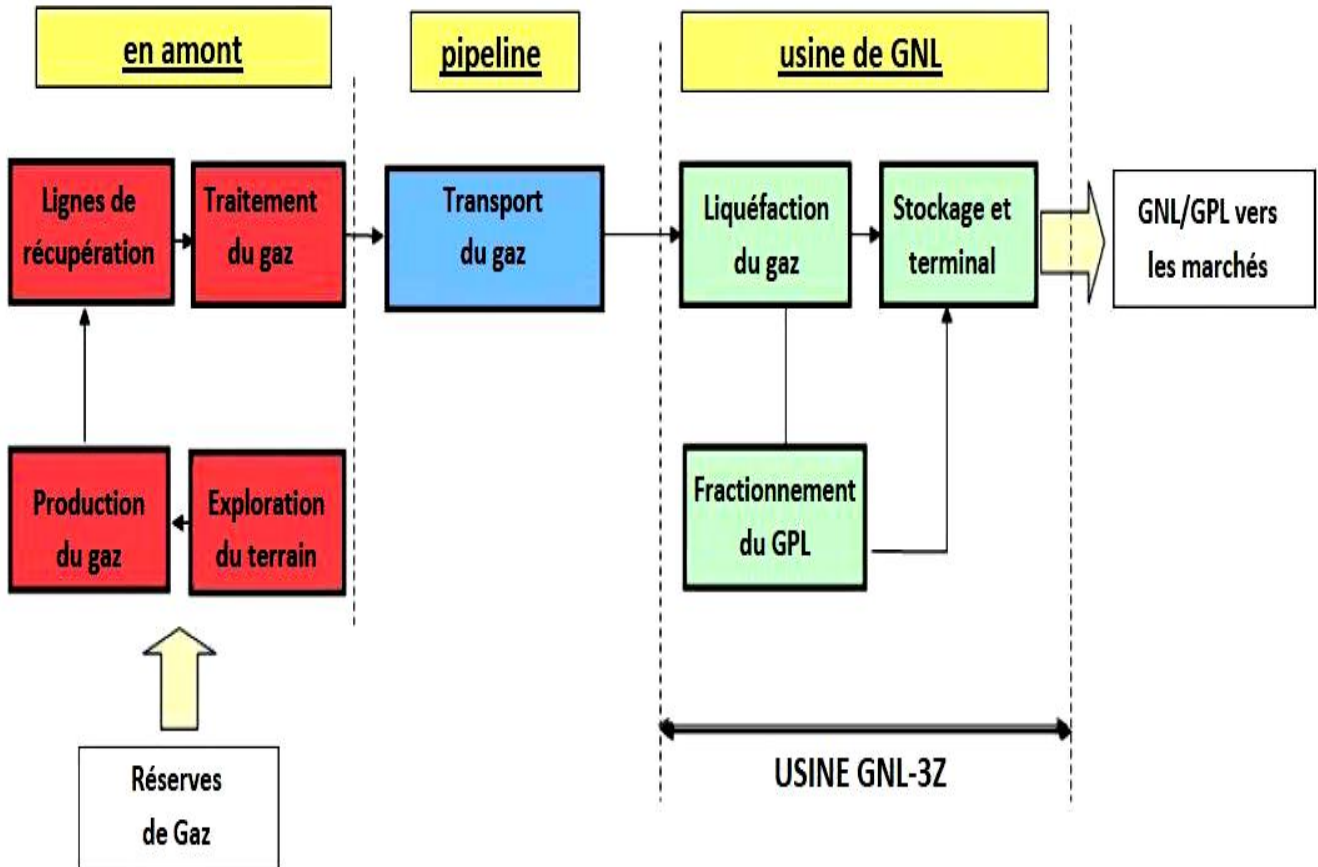


Figure I.1 : Chaîne d'approvisionnement en gaz du projet GL3/Z.

Cette usine a été conçue pour une durée de vie nominale de 30 ans. Elle est réalisée pour fonctionner au moins 330 jours par an. La disponibilité de l'usine est une partie intégrante du calcul de la production du GNL, donc la philosophie de réserve adoptée doit garantir que la disponibilité soit atteinte. L'usine GL3/Z englobe trois zones essentielles à savoir :

- Zone utilités,
- Zone de procédé,
- Zone terminal (jetée, stockage et torches).

Les zones essentielles sont illustrées sur la figure I.2



Figure I.2 : Vue générale du complexe GL3/Z

I.2.1. Situation géographique

Le Site de l'Usine se trouve sur la côte Méditerranéenne à Bethioua, à l'est d'Arzew, dans la zone du port industriel d'Arzew El Djedid ; Il s'étend sur une superficie de 54,6 hectares. La position du complexe est illustrée sur la figure I.3 [1].

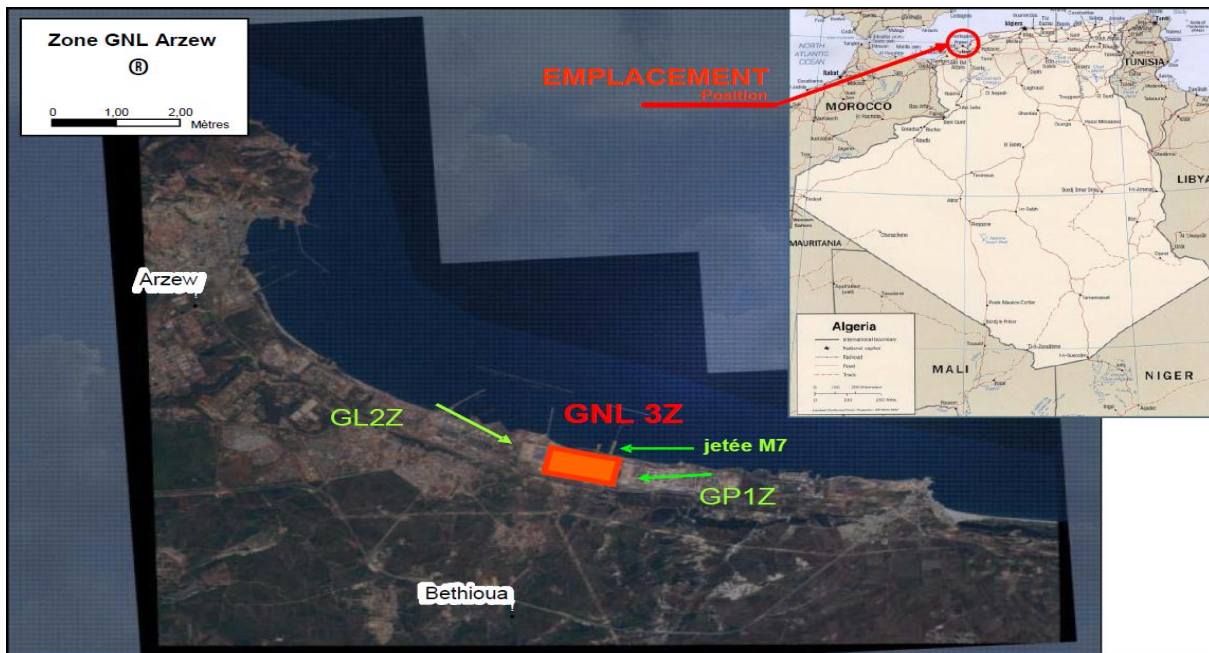


Figure I.3 : position de l'usine GL3/Z.

I.2.2. Disposition de l'usine

Les installations de l'usine GNL-3Z comprennent le train de procédé, toutes les utilités, le stockage des produits finis, les installations off-site liées, une jetée de GNL avec une plateforme

de chargement de GNL extensible, un brise-lame, la protection du bord de mer existant, tous les bâtiments et les infrastructures nécessaires.

Les installations d'entrée de l'usine se trouvent dans le côté sud-ouest de la zone d'implantation. C'est là que le gaz d'alimentation entre dans l'usine GNL-3Z.

Le côté ouest comprend la zone de génération d'énergie et les turbines à gaz frame 6.

La partie sud de l'usine est constituée des unités des utilités et de leurs dispositifs de stockage.

La section nord longe la mer et contient les installations pour le stockage des produits et des réfrigérants, la zone de la torche et la jetée. La disposition de l'usine est montrée sur la figure I.4



Figure I.4 : plan général de GNL-3Z

I.2.3. Fiche technique du complexe GL3/Z

- **Fonctionnement de l'usine** : au moins 330 jours par an pour une vie nominale de 30 ans.
- **L'objectif du complexe** : liquéfaction et séparation des composants lourds du gaz naturel.

- **La nouvelle usine GL3/Z, permettra de produire les éléments suivants:**
 - 4,7 MMTPA de GNL exporté vers les marchés internationaux.
 - Ethane pour la consommation interne (réintégration au réfrigérant mixte et injection dans le gaz combustible) et pour l'exportation.
 - Propane et butane (GPL) pour l'exportation.
 - Gazoline pour l'exportation.
 - Gaz riche en Hélium pour le complexe Hélios.
- **Capacité de stockage :**
 - Le GNL sera stocké dans deux réservoirs de rétention totale, chacun ayant une capacité de 160 000 m³.
 - Les produits du GPL seront stockés dans des réservoirs de rétention totale et séparés, d'une capacité de : 56 000 m³ pour le propane et 12 000 m³ pour le butane.
 - La gazoline produite sera stabilisée et stockée dans une sphère d'une capacité de 1800 m³.
- **La structure de la torche se situe en «off-shore» :** accessible par une route sur digue, qui doit être construite.
- **Efficacité de l'usine :** efficacité thermique de 90% seulement dans le cas de base à 21°C.
L'efficacité thermique est le rapport entre le HHV des produits et le HHV des flux d'alimentation.
- **Débit moyen de l'usine (Turndown) :** le débit moyen de l'usine est de 60%, basé sur le débit d'écoulement de la production du cas de base de GNL.
- **Installations future :**
 - 2^{ème} train de production de GNL de la même capacité que le premier à savoir 4,7 MMTPA.
 - Installation d'extraction de l'hélium :
 - Réservoir du GNL.
 - Une section de mesure (1 x 100%) pour le deuxième train.
 - Les compresseurs supplémentaires pour traiter le boil-off du GNL du deuxième train et le réservoir du GNL.
 - Boil-off supplémentaire de butane et propane pour le deuxième train.

Les caractéristiques des compositions du GNL commercialisé (tableau I.1):

Tableau I.1 : Compositions du GNL commercialisé.

COMPOSANTS	% MOLLAIRE MOYEN	
	Minimum	Maximum
N ₂	0,60	1,40
CH ₄	84,00	92,50
C ₂ H ₆	6,00	8,50
C ₃ H ₈	2,20	3,00
iC ₄ H ₁₀	0,30	0,50
nC ₄ H ₁₀	0,30	0,70
iC ₅ H ₁₂	0,00	0,02

I.2.4. Capacité de l'usine

L'usine est conçue pour fonctionner avec différentes compositions du gaz d'alimentation, trois cas ont été pris en compte pendant la phase de conception :

- 1. Cas de base :** le gaz à une masse moléculaire intermédiaire, l'usine produit 4,7 MMTPA de GNL à 21°C.
- 2. Cas riche :** le gaz à une masse moléculaire élevée, utilisé pour dimensionner le fractionnement et les unités de récupération du GPL, l'usine produit 4 MMTPA de GNL.
- 3. Cas pauvre :** le gaz à une masse moléculaire basse, utilisé pour dimensionner les parties associées à l'end-flash, l'usine produit 4 MMTPA de GNL.

Dans tous les cas, la capacité nominale est telle que la production de GPL et de gazoline soit au maximum récupérée.

Les conditions du gaz d'alimentation entant sont tabulées ci-dessous (tableau I.2):

Tableau I.2 : Conditions du gaz d'alimentation

Paramètre	Minimum	Maximum
Pression (bar)	42	49,6
Température (°C)	0	38

La spécification du gaz d'entrée vers l'usine GNL a les caractéristiques suivantes (tableau I.3):

Tableau I.3 : Composition du gaz d'alimentation

Cas (%mol)	Base	Lourd	Léger
Hélium	0,07%	0,00%	0,10%
Azote	1,18%	0,20%	5,53%
Méthane	84,19%	83,61%	85,86%
Ethane	10,19%	12,00%	6,00%
Propane	2,00%	2,73%	0,50%
Isobutane	0,14%	0,30%	0,00%
Normal-Butane	0,19%	0,51%	0,00%
Iso-Pentane	0,02%	0,11%	0,00%
Normal-Pentane	0,01%	0,12%	0,00%
Normal-Hexane+	0,00%	0,11%	0,00%
Dioxyde de Carbone	2,00%	0,30%	2,00%
Eau	50 ppm	50 ppm	50 ppm
Total	100,00%	100,00%	100,00%

De plus, trois cas de fonctionnement sont pris en compte:

- **Cas A** : production de GNL avec extraction d'éthane et de GPL.
- **Cas B** : production de GNL sans extraction d'éthane ni de GPL.
- **Cas C** : production de GNL sans extraction d'éthane mais avec extraction de GPL.

❖ **Interfaces avec tierces parties :**

La nouvelle installation GL3/Z a des interfaces vis-à-vis les installations externes déjà existantes.

- **Pipeline du gaz d'alimentation:** il arrive à l'usine, venant du sud-ouest qui a les caractéristiques suivantes :
 - Dimension : 1,0668 m.
 - Classe : 600.
 - Pression de travail maximum : 55 bars.
 - Pression de calcul du pipeline : 75 bars.
- **Jetées M₆ et D₁ :** Pour le chargement du GPL de l'usine GL3/Z.
- **Pipeline de gazoline de l'usine GL2/Z :** la nouvelle ligne de gazoline produite dans le complexe GL3/Z relie le pipeline de la gazoline déjà existant de l'usine GL2/Z.
- **Alimentation de l'azote:** une nouvelle ligne pour l'alimentation du GL3/Z en Azote est connectée au collecteur d'azote existant, l'eau potable arrive de EGZIA tandis que l'eau dessalée de KAHRAMA et future alimentation électrique par le réseau national [2].

I.2.5. Technologie du GNL

L'usine de liquéfaction est constituée de :

- D'unités d'épuration du gaz : élimination de Hg, CO₂, H₂S, H₂O, gazolines (essences naturelles).
- D'unités de liquéfaction, qui comprennent les échangeurs cryogéniques, les colonnes de distillation, le ou les compresseurs de cycle, avec leurs turbines d'entraînement à gaz ou à vapeur, des chaudières à vapeur, le cas échéant, et le circuit d'eau de mer de réfrigération (compresseur, turbine).
- De réservoirs cryogéniques pour le stockage du GNL et des GPL (gaz de pétrole liquéfié).
- D'un appontement et d'une ligne de chargement, avec ses bras articulés [3].

La sélection technologique commence à un stade précoce de la vie de la centrale de base GNL et comporte généralement une étude de faisabilité et des stades de définition de pré-alimentation. Des étapes à suivre doivent être choisies en ce qui concerne le procédé, les utilités et les unités off site de l'usine. Elles comprennent les technologies brevetées et non brevetées. Cela s'applique également à la partie en amont de la chaîne du froid, qui alimente l'usine en gaz. Il faut identifier des options potentielles et établir un critère d'évaluation.

La sélection peut se faire selon les technologies de traitement alternatives pour les unités de fonctionnement, selon le type de l'équipement principal ou les schémas des utilités.

I.2.5.1. Procédé type du GNL

L'exigence du procédé dépend des conditions du site, de la qualité du gaz d'alimentation et de la spécification du produit. Un procédé typique de traitement du gaz naturel est le suivant :

- Le gaz d'alimentation est délivré à haute pression (par exemple, 90 bars) depuis les gisements de gaz en amont à travers les gazoducs principaux.
- Les condensats associés sont éliminés.
- Le gaz est mesuré et sa pression est maintenue selon la pression de calcul de l'installation.

Le gaz est prétraité pour éliminer toutes les impuretés qui peuvent interférer avec le procédé ou qui ne sont pas souhaités dans les produits finaux : Gaz acides et composés sulfurés (CO₂, H₂S et Mercaptans), eau et mercure. Le gaz sec non corrosif est refroidit par les écoulements du réfrigérant afin de séparer les hydrocarbures lourds. Le gaz restant se compose principalement de méthane et contient une quantité inférieure à 0,1% molaire de pentane et C₅⁺. Il est encore refroidit dans la section cryogénique à environ -160°C où il est complètement liquéfié. Le GNL est stocké dans les réservoirs atmosphériques, prêt pour être exporté par voie maritime.

Les hydrocarbures les plus lourds sont fractionnés pour récupérer :

- L'éthane est généralement réinjecté dans l'écoulement de gaz pour être re-liquéfié.
- Le propane et le butane peuvent être soit réinjectés soit exportés comme produits GPL.

Les hydrocarbures restants (pentane et les composants supérieurs) sont exportés comme essence.

Les utilités nécessaires pour supporter les unités de procédé comprennent les éléments suivants :

- Gaz combustible (dérivé des écoulements de procédé) pour engendrer l'électricité.
- Agent de refroidissement (eau ou air).
- Agent chauffant (vapeur ou huile chaude).
- Autres services tels que l'air service, l'air instrument et l'azote.

Un exemple de schéma (figure I.5) fonctionnel général d'une usine GNL avec les unités de procédé principal ainsi les utilités de support.

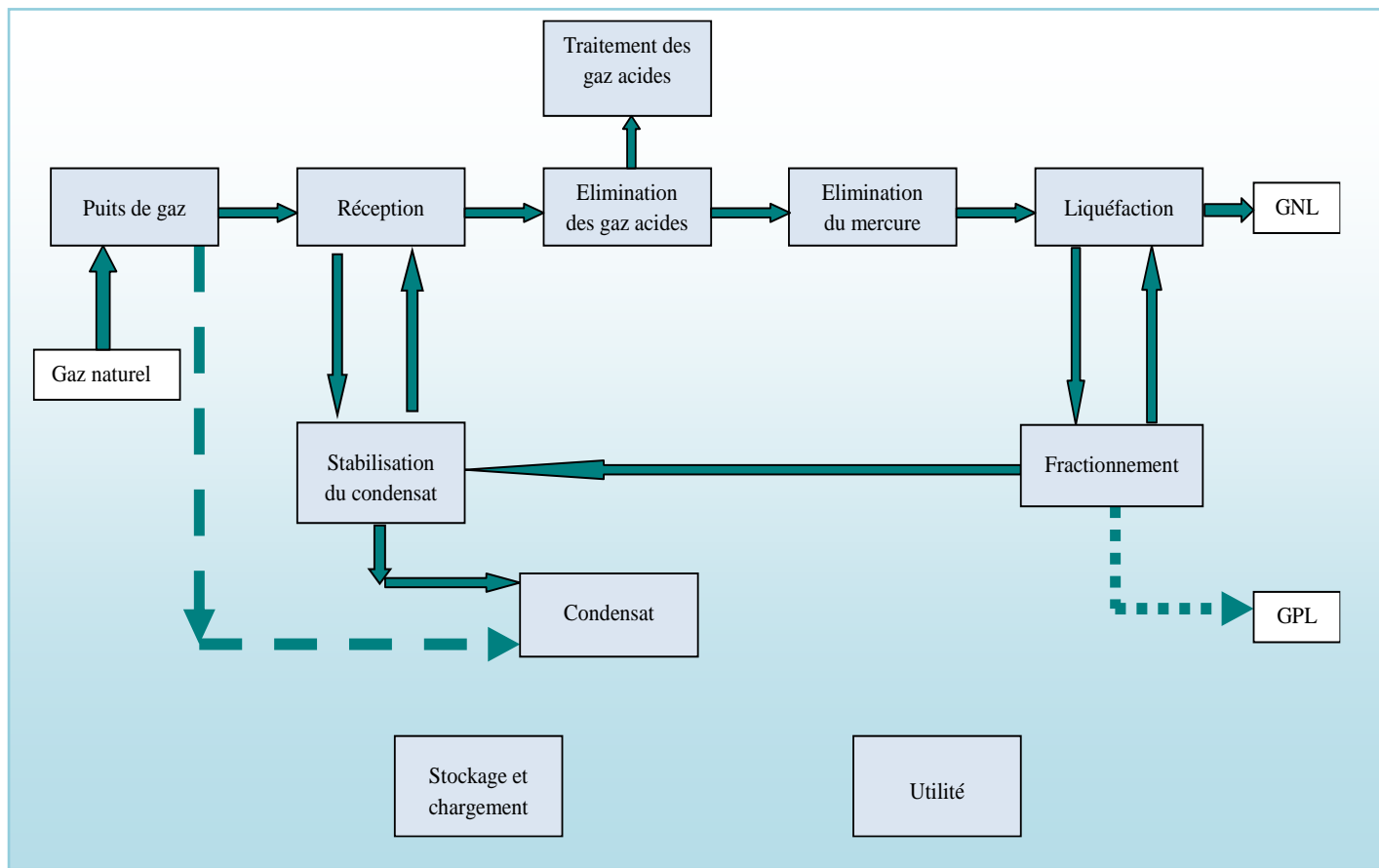


Figure I.5 : Schéma fonctionnel général GNL [1]

I.2.5.2. Procédé APCI

Le procédé APCI avec réfrigérant mixte et propane pré-réfrigérant (MCR) est utilisé dans le projet GL3/Z. Il y a deux cycles principaux de réfrigérant :

- Le cycle de pré-refroidissement qui utilise un composé pur, le propane.
- Le cycle de liquéfaction et sous-refroidissement qui utilise un réfrigérant mixte (MR) composé d'azote, de méthane, d'éthane et de propane.

Le procédé APCI est montré sur la figure I.6.

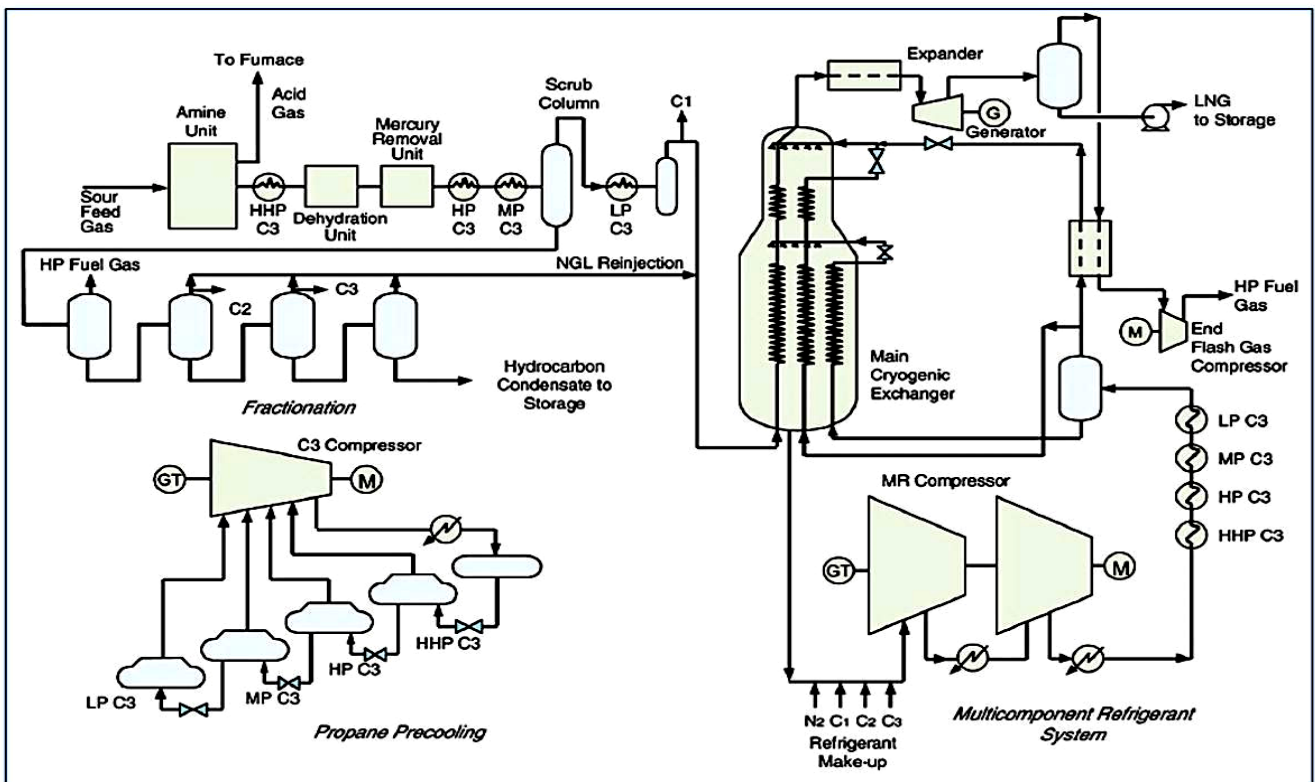


Figure I.6 : Procédé APCI.

Le cycle de pré-refroidissement, utilise le propane à trois ou quatre niveaux de pression (LP, MP, HP et HHP) pour refroidir le gaz de procédé jusqu'à - 40°C par la suite, il refroidit et liquéfie partiellement le MR. Le refroidissement est effectué dans des échangeurs du type kettle: le propane bout et s'évapore du côté calandre de l'échangeur tandis que les écoulements de procédé passent dans les tubes immergés.

Un compresseur centrifuge récupère les écoulements de C₃ évaporés et les comprime de 15 bars à 25 bars qui sont ensuite condensés et recyclés vers les échangeurs de chaleur du type kettle.

Dans le cycle MR, le réfrigérant est partiellement liquéfié et séparé (vapeur / liquide) puis utilisé pour liquéfier et sous-refroidir l'écoulement de procédé de -35 °C à -150 / -160 °C. Cela se produit dans un échangeur à spirale breveté : l'Échangeur Principal de Chaleur Cryogénique (MCHE). Le MCHE se compose de deux ou trois faisceaux de tubes disposés dans une calandre verticale, avec le gaz de procédé et les réfrigérants qui entrent du fond et circulent vers le haut sous pression. Le gaz de procédé passe à travers tous les faisceaux et sort liquéfié au sommet de l'échangeur.

Le MR liquide pénètre le faisceau chaud ou tiède puis est détendu à travers une vanne Joule Thomson ou un expander hydraulique. Il s'écoule vers le bas et s'évapore, en fournissant le refroidissement pour les faisceaux inférieurs. Le MR vapeur circule vers le sommet à travers le faisceau froid où il est liquéfié et sous-refroidi, puis détendu à travers une vanne JT du côté calandre au-dessus du faisceau froid. Il s'écoule vers le bas fournissant le refroidissement du faisceau supérieur, ensuite il se mélange avec le MR liquide, participant au refroidissement des faisceaux inférieurs. L'écoulement total du MR vaporisé provenant du fond du MCHE est récupéré et comprimé par le compresseur du MR à 45 bars - 48 bars.

Il est ensuite refroidi et partiellement liquéfié d'abord par de l'eau ou de l'air et après par le réfrigérant propane, puis recyclé au MCHE.

I.2.6. Description générale des unités et des installations

Les unités de procédé principal de l'Usine GNL-3Z sont représentées dans le schéma fonctionnel global (figure I.7).

L'illustration présente les débits du courant principal et les connexions clés entre les différentes unités de l'usine.

L'usine comprend un train de procédé, les utilités associées et les installations off-site. Le train de procédé comprend un compresseur de gaz d'alimentation, une section d'élimination du mercure, une unité d'élimination du CO₂, un système de déshydratation, une unité de récupération et de fractionnement des GNL et un cycle de réfrigération au propane, une section de liquéfaction et de réfrigération.

Les utilités et les installations off-sites comprennent le système de génération d'énergie, le stockage et le chargement sur les cargos du GNL et du GPL, l'huile chaude, l'eau de refroidissement, l'air service/instrument, l'azote, le gaz combustible, les torches, le traitement des eaux usées, l'eau de service/potable, le diesel, le stockage du réfrigérant et de la gazoline.

Le train de procédé comprend les unités suivantes :

- Unité 11 Traitement du gaz d'alimentation
- Unité 12 Elimination des gaz acides
- Unité 13 Déshydratation du gaz
- Unité 14 Système de gaz combustible du train 1
- Unité 15 Liquéfaction
- Unité 16 Réfrigération
- Unité 17 Récupération et fractionnement du GNL
- Unité 18 Système d'huile chaude
- Unité 19 Système d'eau de refroidissement

La zone des utilités comprend les unités suivantes :

- Unité 01 Installations d'entrée
- Unité 02 Stockage du solvant de l'amine
- Unité 08 Stockage de l'huile chaude
- Unité 51 Génération d'énergie électrique
- Unité 53 Système du générateur diesel de secours
- Unité 55 Système de gaz combustible commun
- Unité 56 Système de l'air de service et de l'air instrument
- Unité 57 Système de l'azote
- Unité 58 Circuit de l'eau potable
- Unité 59 Système de l'eau de service et de l'eau déminéralisée
- Unité 64 Système des eaux usées et effluents

Les off-site, la torche et la zone de la jetée comprennent les unités suivantes :

- Unité 71 Produit de stockage et chargement du GNL

- Unité 72 Produit de stockage et chargement du GPL
- Unité 73 Système de stockage du réfrigérant
- Unité 75 Système de la torche
- Unité 76 Système de stockage de la gazoline

La zone anti-incendie comprend les unités suivantes :

- Unité 63 Système d'eau anti-incendie
- Unité 77 Lutte anti-incendie [4]

L'usine est conçue pour traiter aussi bien le gaz à composition « légère » (avec une teneur faible en hydrocarbures) que le gaz à composition « lourde » (avec une teneur élevée en hydrocarbures).

Le gaz d'alimentation est en premier lieu comprimé puis traité afin d'éliminer le mercure, les gaz acides et l'eau. En aval des unités de prétraitement, le gaz est refroidi pour condenser les hydrocarbures liquides (GNL) présents dans le gaz d'alimentation. Ce courant liquide est envoyé à la section de fractionnement où sont extraits l'éthane, le propane, le butane et la gazoline. Ces produits sont considérés comme des produits à grande valeur ajoutée.

Le courant de vapeur, composé principalement de méthane, est quant à lui refroidi par un fluide de réfrigération, d'abord du propane puis du MR, jusqu'à atteindre l'état liquide (GNL) à la sortie de l'unité de liquéfaction. Le GNL produit par le train de procédé est acheminé vers deux réservoirs de stockage de GNL, puis exporté sur cargo au moyen d'un système de chargement dédié. Les gaz évaporés durant les activités de stockage et de chargement sont récupérés et comprimés avant d'être envoyés vers le système de gaz combustible de l'usine.

Le plan des utilités de l'usine est basé sur la fourniture de turbines à gaz pour les compresseurs du réfrigérant, du gaz d'alimentation et du gaz résiduel ainsi que de quatre turbines à gaz pour la génération d'énergie en cycle ouvert. Des moteurs électriques sont fournis pour les pompes et les autres compresseurs.

L'usine GNL-3Z d'Arzew est alimentée par deux systèmes de gaz combustible distincts :

- Un système de gaz combustible présent à l'intérieur de chaque train de procédé (unité 14 pour les utilisateurs du train 1 et future unité 24 pour les utilisateurs du train 2) avec son Propre réseau de distribution.
- Un système de gaz combustible commun au train 1 et au futur train 2 pour les utilisateurs off-site et communs (unité 55) avec son Propre réseau de distribution.

Quatre générateurs diesel de secours (trois en service et un de réserve) peuvent être utilisés comme source de génération d'énergie de réserve pour le démarrage.

Le réchauffement du procédé est assuré par l'huile chaude. Le train de procédé est ainsi chauffé par l'huile chaude provenant de l'unité 18. Le système de refroidissement primaire est à air.

La protection contre les incendies est fournie par les unités 63 et 77. De l'eau est stockée dans le réservoir de stockage d'eau anti-incendie, dont l'appoint est effectué au fur et à mesure à partir de l'eau douce. En cas de dysfonctionnement de l'alimentation en eau douce, des pompes d'eau de mer anti-incendie situées sur la jetée peuvent fournir l'alimentation principale de lutte contre les incendies.

I.2.7. Le torchage dans l'industrie du pétrole et du gaz

Le torchage, est habituellement considéré comme une façon à la fois sûre et efficace de se débarrasser du gaz naturel hors spécifications qui est associé à la production des GPL (gaz de pétrole liquéfié). C'est aussi la méthode habituellement utilisée pour l'élimination des gaz inflammables inutilisables, elle est utilisée pour dépressuriser un équipement ou une section de traitement des gaz pendant les activités normales d'entretien ainsi en cas d'arrêt d'urgence ou lors d'un démarrage.

I.2.7.1. 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.

I.2.7.2. Impact des gaz torchés

Le gaz torché présente un sérieux problème mondial, en effet, il affecte l'homme, l'environnement, en particulier l'atmosphère et peut causer des dégâts considérables à court et à long terme.

La quantité et la qualité des gaz torchés sont étroitement liées à plusieurs facteurs, notamment le type et l'âge des infrastructures de procédé, les caractéristiques des hydrocarbures, produits transformés ou manutentionnés, le volume de l'activité de procédé, et l'environnement réglementaire local.

a) Sur l'homme

Les polluants issus du torchage une fois libérés dans l'air peuvent provoquer une gêne notable pour le confort de la population humaine notamment: difficultés respiratoires, irritation des muqueuses, nez, yeux, gorge et toxicité.

Les oxydes de carbones et d'azote sont les constituants des gaz d'échappement les plus nocifs. 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).

b) Sur l'environnement

Le torchage qui est un gaspillage d'une source non renouvelable présente un problème environnemental, tel que la pollution atmosphérique, le bruit, les odeurs, les fumées, ce qui produit une nuisance à la qualité de vie. Cela influe sur l'échauffement planétaire dû aux émissions des produits de combustion qui contribuent à la hausse de la concentration des gaz à effet de serre.

Par ailleurs, le torchage est à l'origine d'une pollution lumineuse qui désoriente les insectes et oiseaux nocturnes. Le bruit lié aux opérations peut également perturber l'écosystème environnant sur les sites d'extraction de pétrole.

c) Sur l'économie

Les gaz torchés représentent une perte économique énorme vu que ces gaz sont brûlés dans l'atmosphère sans que l'on puisse les traiter et les revendre par la suite afin de générer des profits.

I.3. CONCLUSION

Dans ce premier chapitre, nous avons fait abordé tout ce qui générale et théorique. Dans cet ordre d'idée, une description générale du complexe GL3/Z et les unités de procédé sont présentés.

L'exploitation du gaz naturel comporte des risques directs, pour l'homme et indirects, dû à son impact environnemental.

La réduction ainsi que la récupération des gaz torchés font l'objet de nombreuses entreprises pétrolières nationales et surtout internationales vu qu'ils présentent de nombreux dangers. En revanche, l'Installation de Stockage et de Chargement de GPL permet de stocker et d'exporter

les produits propane (C₃) et butane (C₄).

Nous intervenons plus particulièrement par BOG de bac de butane, car ces BOG est envoyé vers la torche. Il faut donc trouver des possibilités de récupération de ces gaz.

CHAPITRE II

SECTION DU REFRIGERATION ET BAC DE STOCKAGE DU BUTANE C₄

CHAPITRE II

SECTION DU REFRIGERATION ET BAC DE STOCKAGE DU BUTANE C₄

II.1. INTRODUCTION

L'unité de Réfrigération, Stockage et Chargement de Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL) (Unité 72) se compose de deux parties : l'installation de Stockage et de Chargement de GPL et la section de Réfrigération de GPL.

L'installation de stockage et de chargement de GPL permet de stocker et d'exporter les produits propane (C₃) et butane (C₄). Cette installation est conçue pour recevoir le produit GPL traité par les deux trains de procédé de récupération et de fractionnement des GNL.

Le rôle de la section de réfrigération de GPL est de récupérer les gaz évaporés BOG (Boil Off Gas) du propane par compression, et de refroidir les produits propane et butane provenant du train de procédé. Ils sont refroidis dans la section de réfrigération de GPL sont envoyés aux réservoirs de stockage de GPL. La section de réfrigération de GPL est conçue pour un train de procédé. Une deuxième section de réfrigération de GPL à savoir une section de récupération et de fractionnement des NGL sera installée pour le future Train 2.

De plus, le système de réfrigération, stockage et chargement de GPL (unité 72) comprend les systèmes de pompage, comptage et tuyauterie qui acheminent le produit GPL depuis l'installation de stockage vers les collecteurs principaux existants pour le chargement des navires aux jetées M₆ ou D₁ existantes. Le propane et le butane ne peuvent être chargés simultanément vers la même jetée mais en revanche ils peuvent être chargés simultanément vers des jetées différentes. Le système de réfrigération, stockage et chargement de GPL est situé dans la partie nord-ouest de l'usine, à gauche de l'unité 71 de stockage et chargement de GNL [5].

II.2. DESCRIPTION DU PROCEDE DE L'UNITE 72

La description du procédé de l'unité 72 se divise en deux sections principales :

II.2.1. Section de Réfrigération du GPL

Les produits butane et propane provenant des collecteurs d'écoulement respectifs sont refroidis dans le système de réfrigération du GPL.

Dans ce système toute la quantité de butane provenant du train de procédé est envoyé vers l'échangeur HP propane/butane (72-MC03) côté tube où il est refroidit. Puis il est envoyé vers l'échangeur BP propane/butane (72-MC04) côté tube où il est sous-refroidi.

Le produit butane chaud d'une part, et le liquide de circulation froid des lignes de chargement/circulation de butane d'autre part sont refroidis dans l'échangeur BP propane/butane (72-MC04). Le butane Liquide sous-refroidi provenant de l'échangeur BP propane/butane (72-MC04) est transféré vers le réservoir de stockage de butane (72-MF01).est illustré sur la figure II.1.

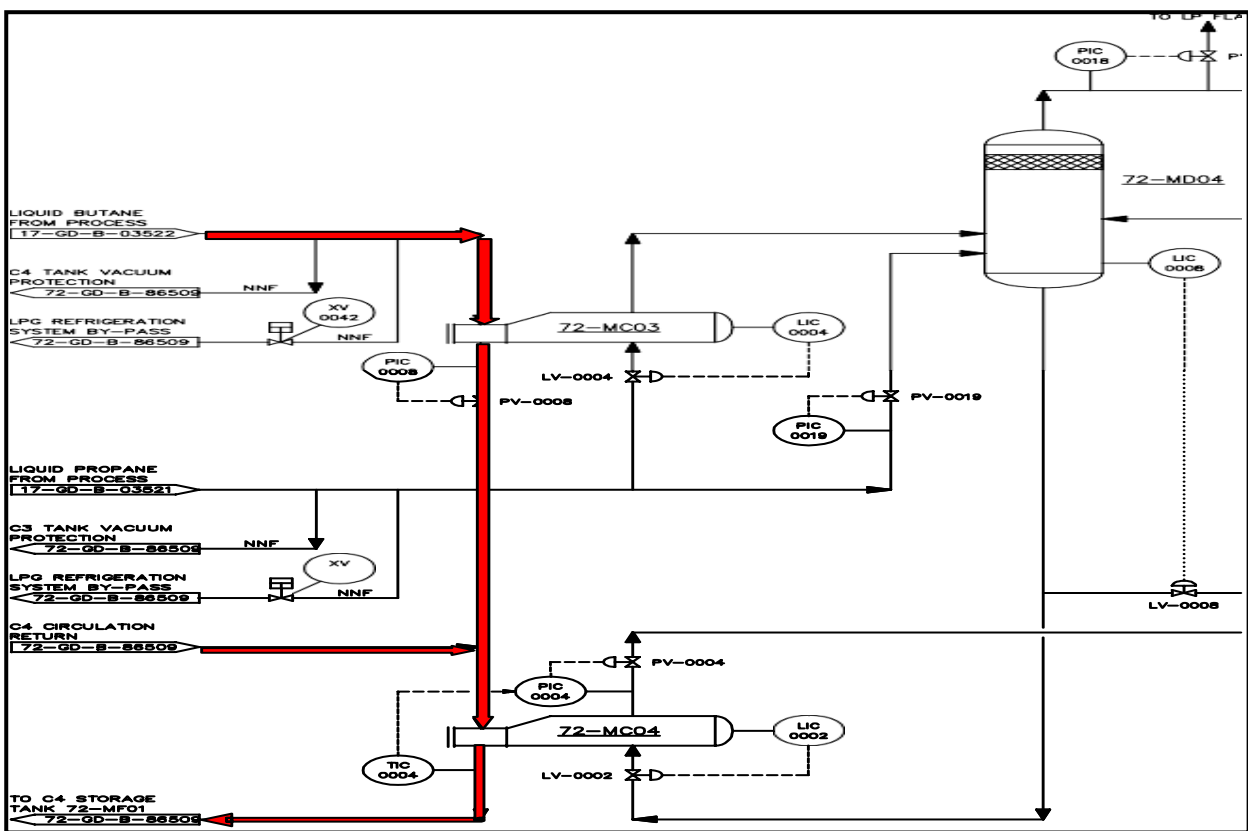


Figure II.1 : Echangeur HP propane/butane (72-MC03) et l'échangeur BP (72-MC04) de la section de réfrigération.

Une partie du propane liquide provenant du train de procédé est envoyé vers l'échangeur HP propane/butane (72-MC03) côté calandre où il est utilisé comme réfrigérant pour le refroidissement du butane. Le reste du propane liquide provenant du train de procédé alimente le ballon d'aspiration du compresseur de gaz évaporés de propane HP (72-MD04) pour produire ainsi des vapeurs de propane détendu. Le Ballon d'aspiration du compresseur HP est montré sur la figure II.2

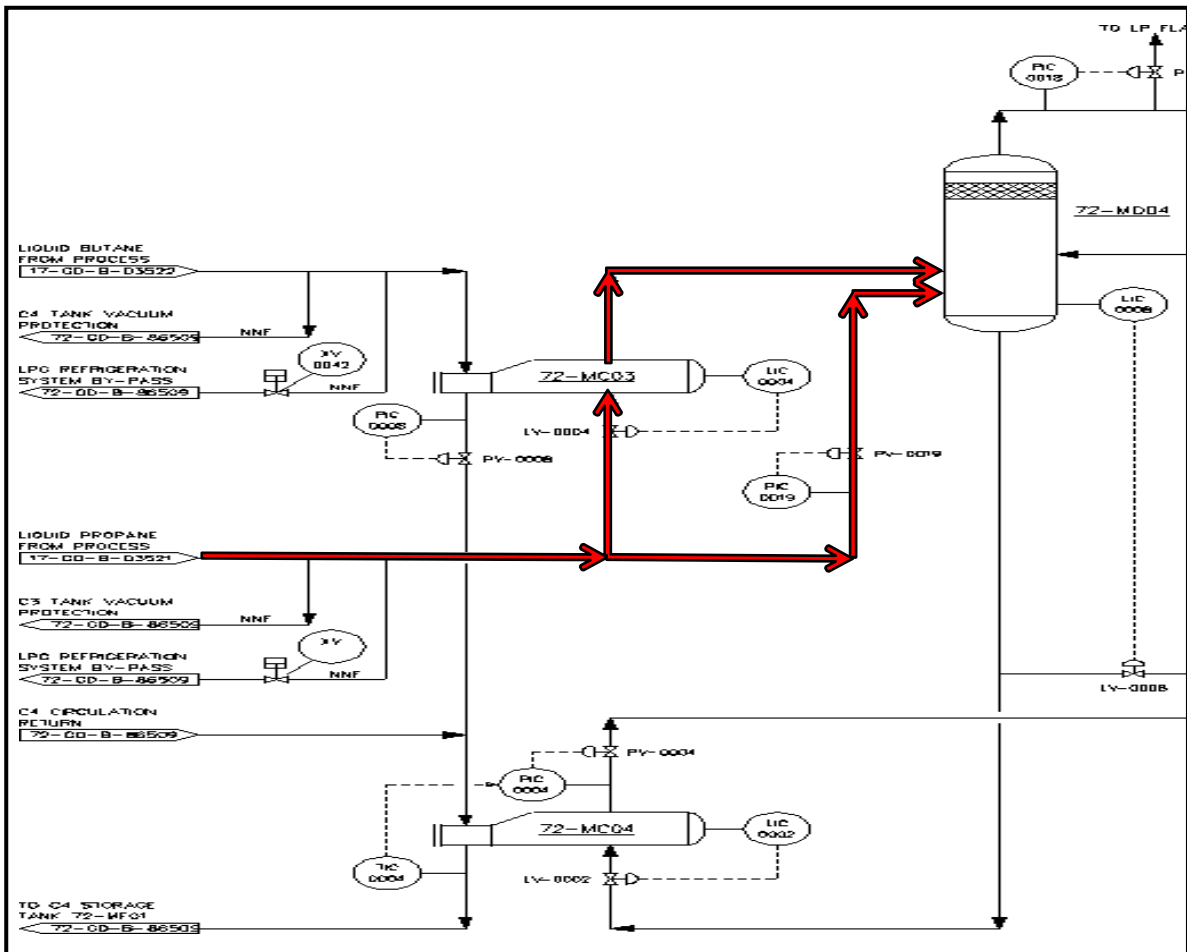


Figure II.2 : Ballon d'aspiration du compresseur HP de gaz évaporés du propane (72-MD04).

Les vapeurs de propane générées par le refroidissement du butane, sont également envoyées vers le ballon d'aspiration du compresseur des gaz évaporés de propane HP (72-MD04), mélangés avec les vapeurs de propane générées par la détente. Le propane vapeur est acheminé vers l'ensemble du compresseur de gaz évaporés (BOG) du réservoir de stockage de propane 2^{ème} étage (72-MJ10). Est illustré sur la figure II.3.

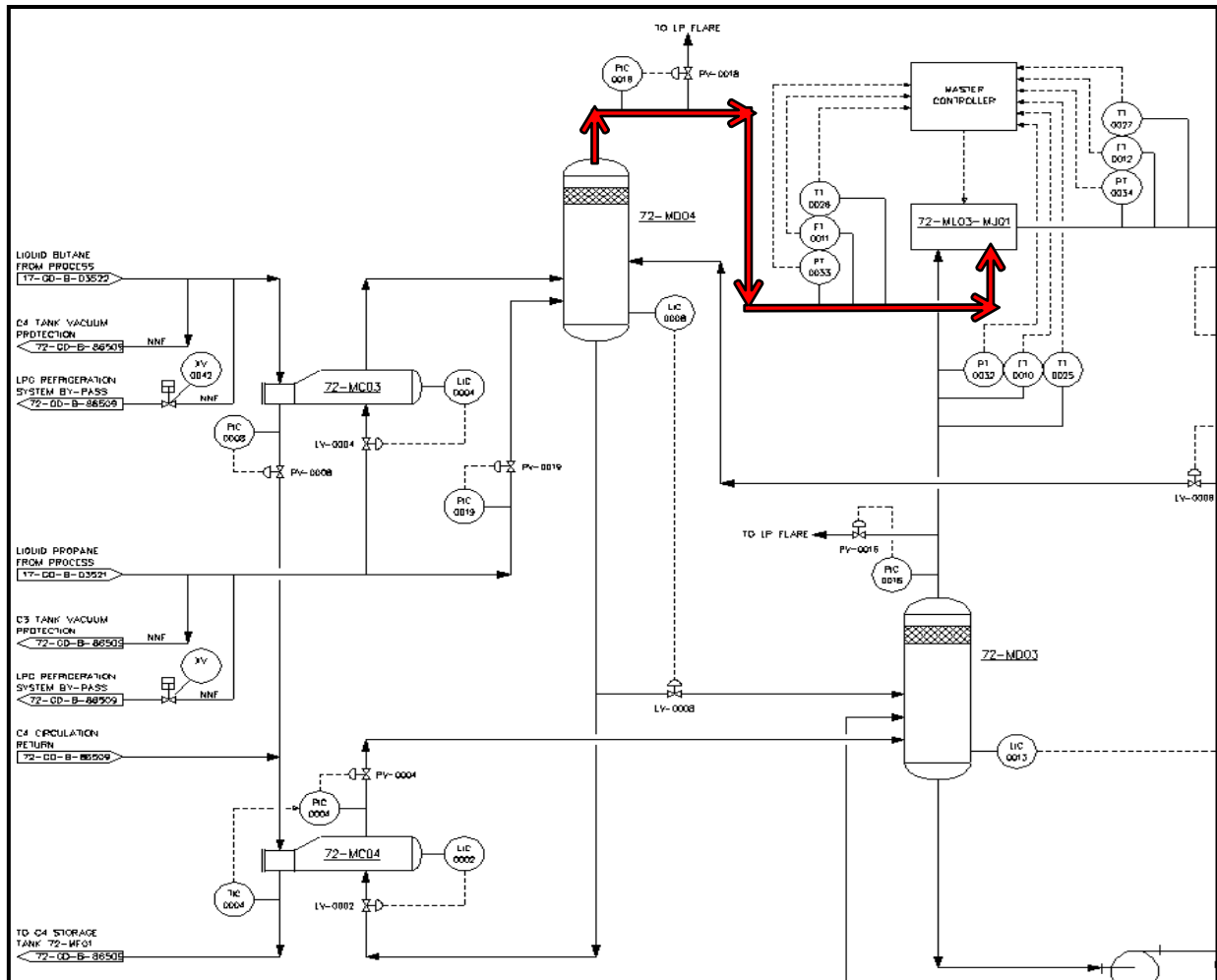


Figure II.3 : Ensemble du compresseur de gaz évaporés (BOG) du réservoir de stockage de propane 2^{ème} étage (72-MJ10) de la section de réfrigération.

Le propane liquide est envoyé vers :

- Le ballon d'aspiration du compresseur de gaz évaporés de propane BP (72-MD03) où il est détendu et produit des vapeurs de propane détendu.
- L'échangeur BP propane / butane (72-MC04) côté calandre, où il est utilisé comme réfrigérant pour le sous-refroidissement du butane. Le ballon d'aspiration du compresseur BP est montré sur la figure II.4.

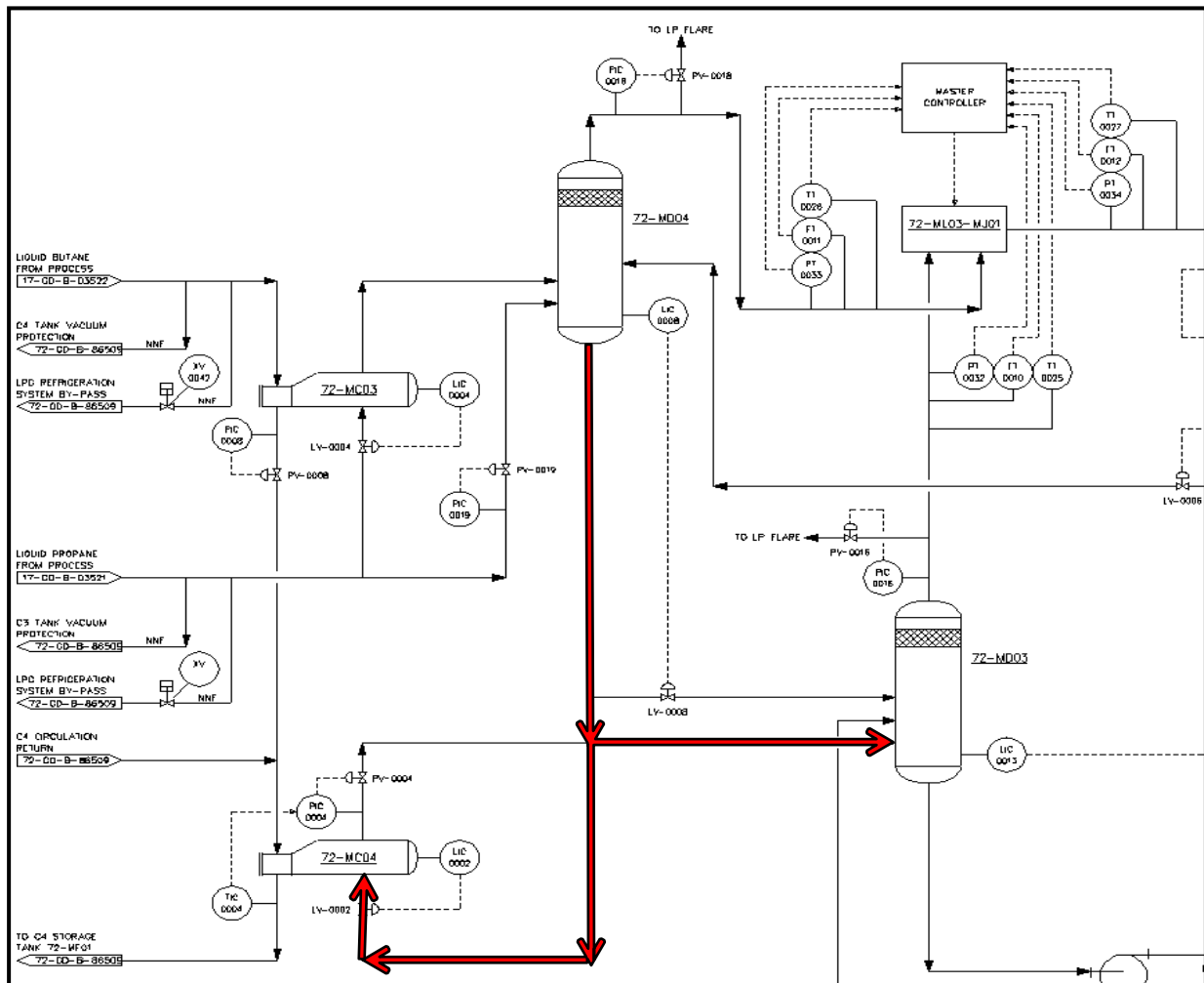


Figure II.4 : Ballon d'aspiration du compresseur BP des gaz évaporés du propane (72-MD03).

Les vapeurs de propane générées par le sous-refroidissement du butane provenant de l'échangeur (72-MC04) sont également envoyées vers le ballon d'aspiration du compresseur de gaz évaporés de propane BP (72-MD03), mélangées avec les vapeurs de propane générée par la détente, puis acheminées vers les ensembles du compresseur de gaz évaporés (BOG) du réservoir de stockage de propane 1^{er} étage (72-MJ09-A/B).

Les BOG de propane généré lors du mode « attente » provenant du réservoir de stockage de propane (72-MF02) sont également envoyés vers le ballon d'aspiration du compresseur (72-MD03). Le propane liquide séparé dans le ballon d'aspiration du compresseur de gaz évaporés de propane BP (72-MD03) est transféré au réservoir de stockage de propane (72-MF02) au moyen des pompes de transfert de propane (72-MJ06-A/B, l'une en fonction et l'autre en attente). Sont montré sur la figure II.5 [5].

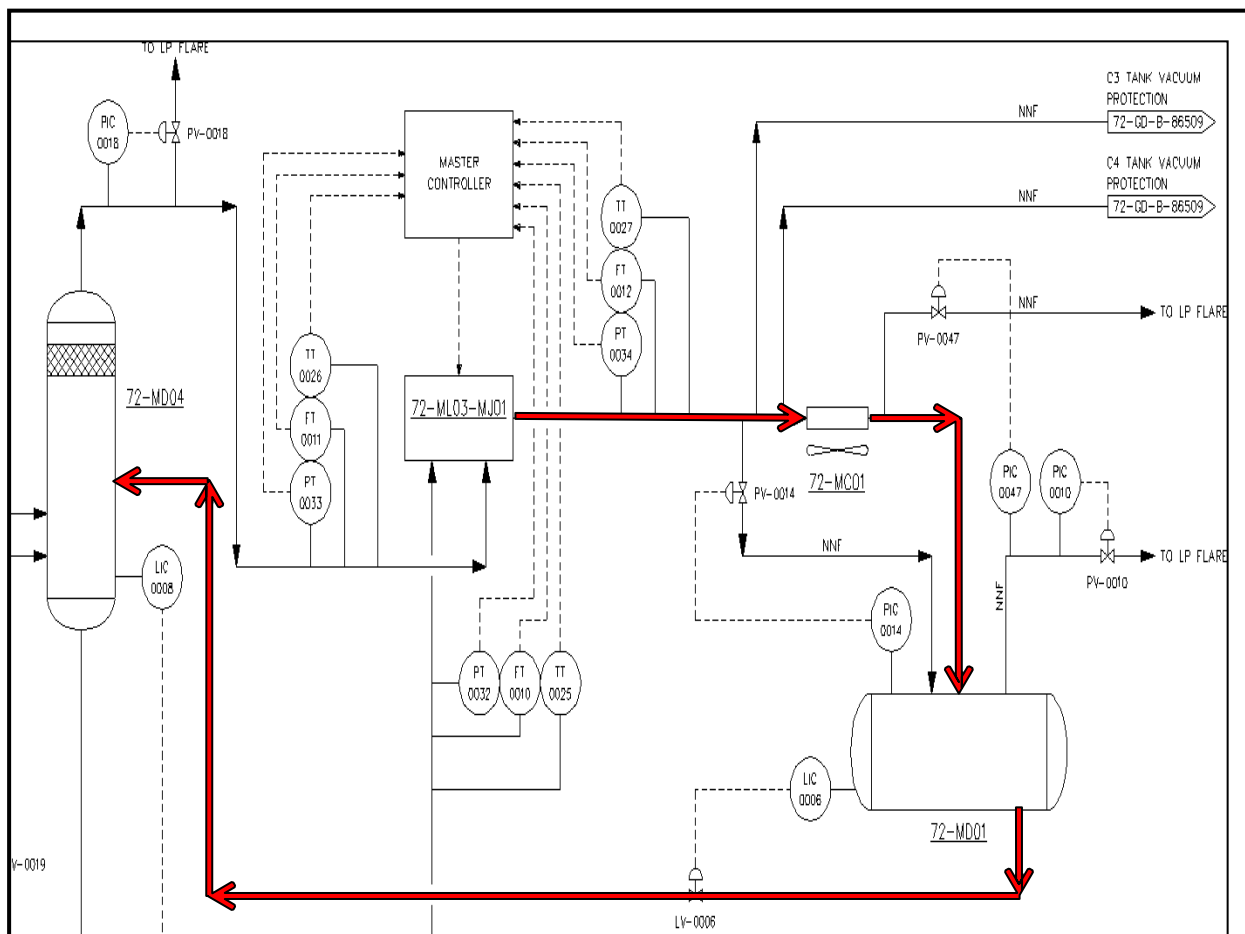


Figure II.6 : Condenseur des vapeurs (72-MC01) et Accumulateur du propane liquide (72- MD01).

II.2.2. Système de stockage et chargement du GPL

Aussi bien le produit butane liquide que le propane liquide provenant du système de réfrigération du GPL est détendu légèrement au-dessus de la pression atmosphérique dans le réservoir de stockage du butane (72-MF01) et dans le réservoir de stockage de propane (72-MF02). Le C₄ et le C₃ sont stockés jusqu'à ce qu'un navire soit prêt à recevoir les produits pour le transport. Sont montré sur la figure II.7.

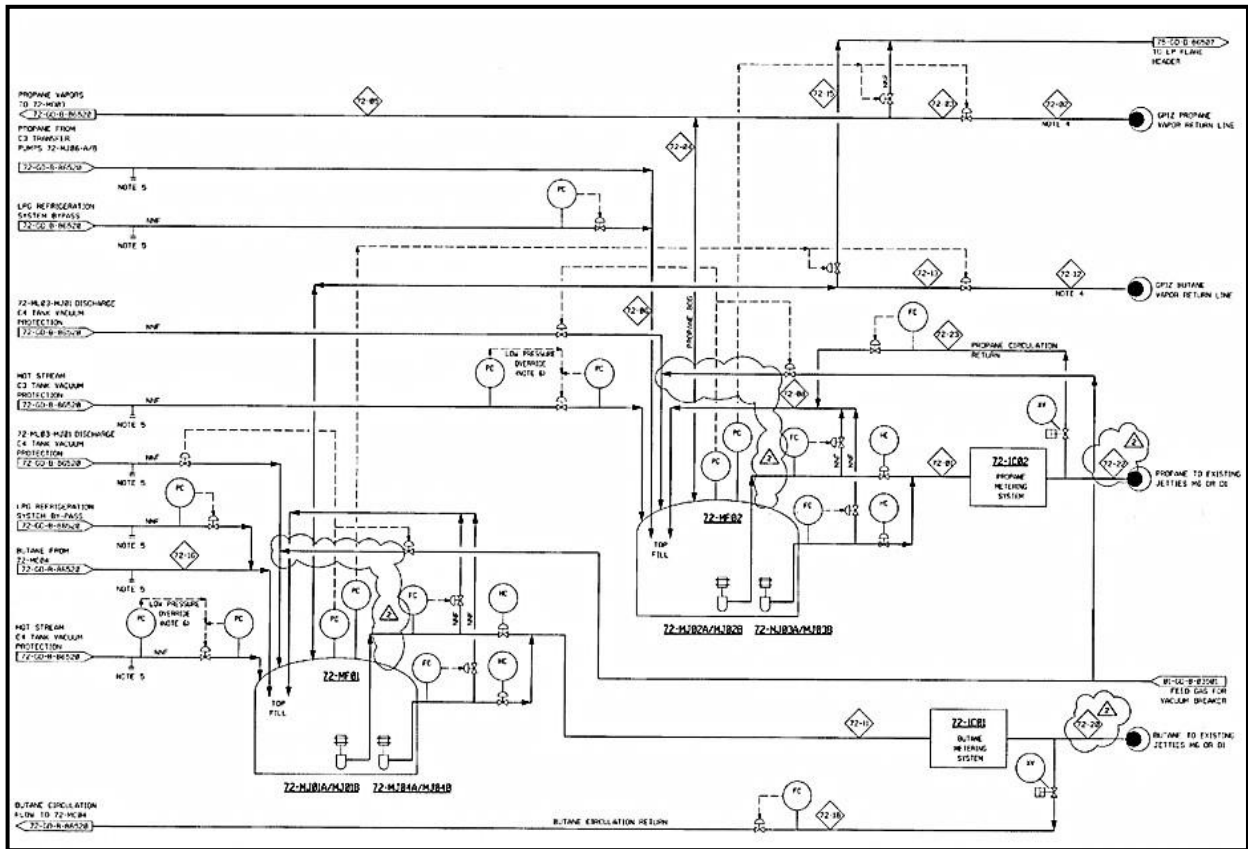


Figure II.7 : Réservoir de stockage du butane (72-MF01) et celui du propane (72-MF02) de la section de stockage.

II.2.2.1. Mode de rétention

C'est la période entre les transferts du cargo au cours de laquelle le système de chargement est maintenu froid par le GPL en circulation afin d'éviter les changements de température de façon à ce que la température soit toujours froide. Cela permet d'éviter :

- Les phénomènes de dilatation ou de contraction thermique, susceptibles de déformer les collecteurs.
- La présence de vapeur.

II.2.2.2. Mode de chargement

C'est la période au cours de laquelle un cargo de GPL est amarré aux jetées de ces derniers à l'usine GP1Z (M₆ ou D₁), le GPL est transféré à partir des réservoirs de stockage de GPL (72-MF01/02) vers le cargo de GPL par l'intermédiaire des pompes de transfert du GPL (72-MJ01-A/B pour le butane et 72-MJ02-A/B pour le propane). Les deux jetées ont une capacité opératoire de 1340 m³/h (jetée D₁) et de 3340 m³/h (jetée M₆). A l'arrivée, chaque

réservoir du navire de GPL contient généralement une quantité résiduelle de GPL pour maintenir les conditions de température cryogénique. La vapeur produite dans le navire de GPL sera réacheminée vers le collecteur de gaz évaporés (BOG).

II.2.2.3. Réservoirs de stockage

- Le réservoir de stockage est doté d'une ligne de refroidissement avec des tubulures de pulvérisation pour le refroidissement du réservoir.

Le produit est introduit au moyen de la ligne de remplissage supérieure avec une tôle anti-éclaboussures afin de:

- Permettre au liquide de se répandre et de relâcher le gaz détendu et la vapeur (l'excès de vapeur est évacué à l'atmosphère).
 - Garantir que les gouttelettes de liquide se mélangent de manière efficace avec le produit précédemment chargé.
- Un système de protection de mise sous vide (à trois niveaux) est prévu pour protéger les réservoirs contre de trop basse pression [6].

II.2.3. Liste des équipements

Le système de stockage et chargement de GNL (unité 72) comprend les équipements énumérés dans le tableau (II.1) ci-dessous.

Tableau II.1 : liste des équipements de l'unité 72.

REPERE	SERVICE
72-MF01	Réservoir de stockage de butane
72-MF02	Réservoir de stockage de propane
72-MD01	Accumulateur de propane liquide
72-MD03	Ballon d'aspiration du compresseur de gaz évaporés de propane BP
72-MD04	Ballon d'aspiration du compresseur de gaz évaporés de propane HP
72-MJ01-A/B	Pompes de transfert de butane
72-MJ02-A/B	Pompes de transfert de propane
72-MJ06-A/B	Pompes de transfert de propane
72-MC01	Condenseur des vapeurs du réservoir de stockage propane
72-MC03	Echangeur HP propane/butane
72-MC04	Echangeur BP propane/butane
72-MJ09-A/B	Ensemble du compresseur de gaz évaporés (BOG) du réservoir de stockage de propane 1^{er} étage
72-MJ10	Ensemble du compresseur de gaz évaporés (BOG) du réservoir de stockage de propane 2^{ème} étage

II.3. BAC DE STOCKAGE DU BUTANE C₄

II.3.1. Bases de conception des équipements

II.3.1.1. Réservoir de stockage du butane (72-MF01)

Le butane arrive depuis la section de fractionnement (unité 17) à un débit massique compris entre 5596kg/h (Cas de Base 38°C) et 46575kg/h (CasLourd21°C). Lors du cas léger (Lean Case), le butane n'est pas produit.

Le réservoir de stockage du butane (72-MF01) fournit une capacité de stockage comprise entre 5,8 et 48,2 jours de production d'un train de procédé. Le réservoir de stockage du butane est de type à intégrité totale, il est construit de manière à ce que les réservoirs aussi bien internes qu'externe puissent indépendamment contenir le gaz liquéfié stocké.

Les données principales des équipements sont résumées dans le tableau II.2 :

Tableau II.2 : Données principales du réservoir de stockage du butane.

Réservoir de stockage du butane (72-MF01)	
Capacité opératoire (m³)	12 000
Pression de calcul (barg)	0,290 / 0,015
Température de calcul (°C)	45 / -10
Pression opératoire (barg)	0,05
Température opératoire (°C)	-4,5
ID (mm) x TL (mm)	35 000 x 16 170

a) Réservoir interne

Le réservoir interne contenant le produit liquide est un réservoir en acier vertical, cylindrique à fond plat et un pont suspendu est situé dans sa partie supérieure.

b) Réservoir externe

Le réservoir externe est composé de voiles post-contraints, liés de manière rigide à la dalle de béton du réservoir externe, et d'un toit en béton armé. Le voile en béton peut contenir le liquide produit en cas de fuite du réservoir interne. Le réservoir externe et le dôme sont en béton.

Le réservoir de stockage est doté d'une ligne de refroidissement avec des tubulures de pulvérisation pour le refroidissement du réservoir. Un système de détection de fuite est installé dans l'espace annulaire entre les parois des réservoirs interne et externe, afin de surveiller de manière continue l'espace annulaire pour l'accumulation du butane [7].

II.3.1.2. Données géométriques principales

Les caractéristiques principales du réservoir sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.3 : Caractéristiques du bac de stockage GPL butane 72-MF01.

Réservoir extérieur	Diamètre intérieur	37,0 m
	Epaisseur du mur	0,55 m
	Rayon de courbure interne du toit	38,85 m
Réservoir intérieur	Volume minimum utile	12 000 m³
	Diamètre intérieur	35 ,0 m
	Hauteur de robe	16,170 m
	Surépaisseur de corrosion	0 mm
Pression et Température	Température de calcul du produit	-10°C
	Masse volumique du produit	601 kg/m³
	Pression maximale de calcul	290 mbarg
	Pression minimale de calcul	-15 mbarg
Niveaux	Niveau maximum de calcul produit	15,660 m
	Niveau d'opération	15,601 m
	Niveau minimum d'opération	2,880 m
	Niveau d'épreuve	16,660 m
Capacité de travail normale		12 000 m³

II.3.2. Critères et hypothèses de conception

II.3.2.1. Données de conception

Les données de conception sont résumées dans le tableau II.4 :

Tableau II.4 : Données de conception.

Température du produit	- 4,5 °C
Température de montage	30 °C
Température imposée à 250 mm sous le dessus de la dalle de Base	5 °C
Rayonnement solaire de jour	1040 W / m ²
Toit en dôme Température moyenne (condition diurne et nocturne moyenne)	51,4 °C
Capacité d'absorption de la surface du béton	0,65%
Emissivité de la surface du béton	0,90%

II.3.2.2. Conditions de conception

➤ Conditions de charge

Des cas thermiques différents seront pris en compte pour la conception :

Cas 1 : conditions nocturnes

- Pas de rayonnement solaire;
- Température ambiante de 45°C;
- Température du dôme de 43,3°C.

Cas 2 : conditions de jour (avec rayonnement solaire horizontal sur le mur vertical uniquement)

- Radiation rayonnement solaire horizontal sur un mur vertical (1040W/m²);
- Température ambiante de 45°C;
- Température du dôme de 59,5°C.

Pour le calcul de la buse, la température moyenne du gaz du dôme est considérée comme étant de 51,4 °C [8].

II.4. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons fait une description du procédé de l'unité 72 (réfrigération, stockage et chargement de GPL). De plus nous avons expliqué le principe de conception et de fonctionnement du bac de stockage du butane (72-MF01) et identifier les caractéristiques principales de réservoir de stockage interne et externe ans le but de savoir comment se forme les BOG butane pour les récupérer.

CHAPITRE III
PROBLEMATIQUE ET
LES SOLUTIONS
PROPOSEES

CHAPITRE III

PROBLEMATIQUE ET LES SOLUTIONS PROPOSEES

III.1. PROBLEMATIQUE

Dans le cadre de réduction des gazes torchés, SONATRACH a adopté une politique basée sur l'identification des sources de torchage et les éliminer, à des fins de les réduire. GL3/Z fait partie de ce groupe qui opte à optimiser son procédé et éliminer les sources de torchage. Le bac de stockage de butane est l'un des exemples identifiés au niveau de ce complexe.

III.1.1. Le but du travail

Le thème choisi a pour but d'étudier la possibilité de récupérer le BOG (boil off gas) générés par le produit stocké dans le bac à - 4,5°C.

La configuration actuelle ne comporte aucun moyen de récupération d'où les deux conséquences à l'économie nationale et la performance du complexe :

- Perte de produit cher (butane C₄) ;
- Pollution de l'environnement.

III.1.2. Solutions proposées

Le présent travail est réalisé pour étudier la possibilité de récupérer le BOG C₄ et le re-liquéfier en suivant les étapes ci-dessous :

- ❖ Analyse et estimation quantitative des gaz BOG du bac butane ;
- ❖ Estimation économique pour montrer l'importance des quantités du butane brûlées dans la torche ;
- ❖ Proposition des options pour récupérer ce BOG soit par :
 - Orientation vers le complexe de GP1/Z ;
 - Compression et réinjection dans le circuit de refroidissement ;
 - Liquéfaction des vapeurs de butane par échange thermique ;
 - Réinjection du BOG C₄ dans le circuit de compression et de refroidissement du BOG propane.

Ces propositions sont simulées par Hysys V.09 pour confirmer les paramètres de service des installations relatives à cette étude.

III.2. ANALUSE ET ESTIMATION QUNTITATIVE DES GAZ BOG DU BAC DE BUTANE

III.2.1. Boil off gaz (BOG)

Tout apport de chaleur dans un équipement ou une installation qui contient du GNL ou GPL conduit à sa vaporisation partielle appelée Boil Off Gas ou gaz d'évaporation [13].

Dans le réservoir de stockage, une petite quantité de GPL s'évapore en continue, cette évaporation est principalement provoquée par un apport de chaleur externe et/ou des fluctuations du niveau de liquide. Ainsi cette évaporation peut conduire à une augmentation de la pression à l'intérieur de la cuve [14].

III.2.2. Sources de BOG dans le bac de stockage du butane 72-MF01 au niveau du complexe GL3 / Z

III.2.2.1. Dégagement naturel des vapeurs C₄

Au niveau du bac de stockage du butane 72-MF01 se produisent des vapeurs (BOG) de C₄ à cause du changement climatique. Le dégagement de ces vapeurs est dû à l'isolation du bac qui n'est pas parfaite. Ainsi, la circulation du butane dans les lignes de chargement provoque des pertes thermiques. Ces vapeurs sont actuellement torchées suite à l'absence d'un système de récupération.

III.2.2.2. Chargement des produits GPL

Les produits GPL, le butane et le propane découlant des bacs de stockages 72-MF01 et 72-MF02 du complexe GL3/Z, sont expédiés vers l'usine GP1/Z à travers deux lignes C₃ et C₄ placés sur les lignes de GP1/Z dans la jetée D₁. Le complexe GL3/Z n'est doté qu'un seul quai pour le chargement du GNL, mais ne contient aucun quai spécifique pour la commercialisation de GPL propane et butane.

Au cours du chargement, il se produit un dégagement des vapeurs de C₃ et C₄ dans les cuves des navires. Les vapeurs de propane sont récupérés puis dirigés vers GL3/Z si le

chargement est unique pour GL3/Z, ces vapeurs doivent être reliquéfiées sous les conditions appropriées à 98,35% au minimum de degré de pureté du propane à fin d'éviter les interférences et la perturbation avec le système de réfrigération. Si un chargement en parallèle de propane avec le complexe GP1/Z; les vapeurs de propane générées retournent nécessairement vers GP1/Z selon le mécanisme actuellement approuvé. Au contraire, le retour vapeur de butane est envoyé vers le complexe GP1/Z, quelle que soit le mode de chargement, que ce soit du côté du complexe GP1/Z ou de GL3/Z selon la procédure actuellement convenue. Cette dernière est illustrée sur la figure III.1.

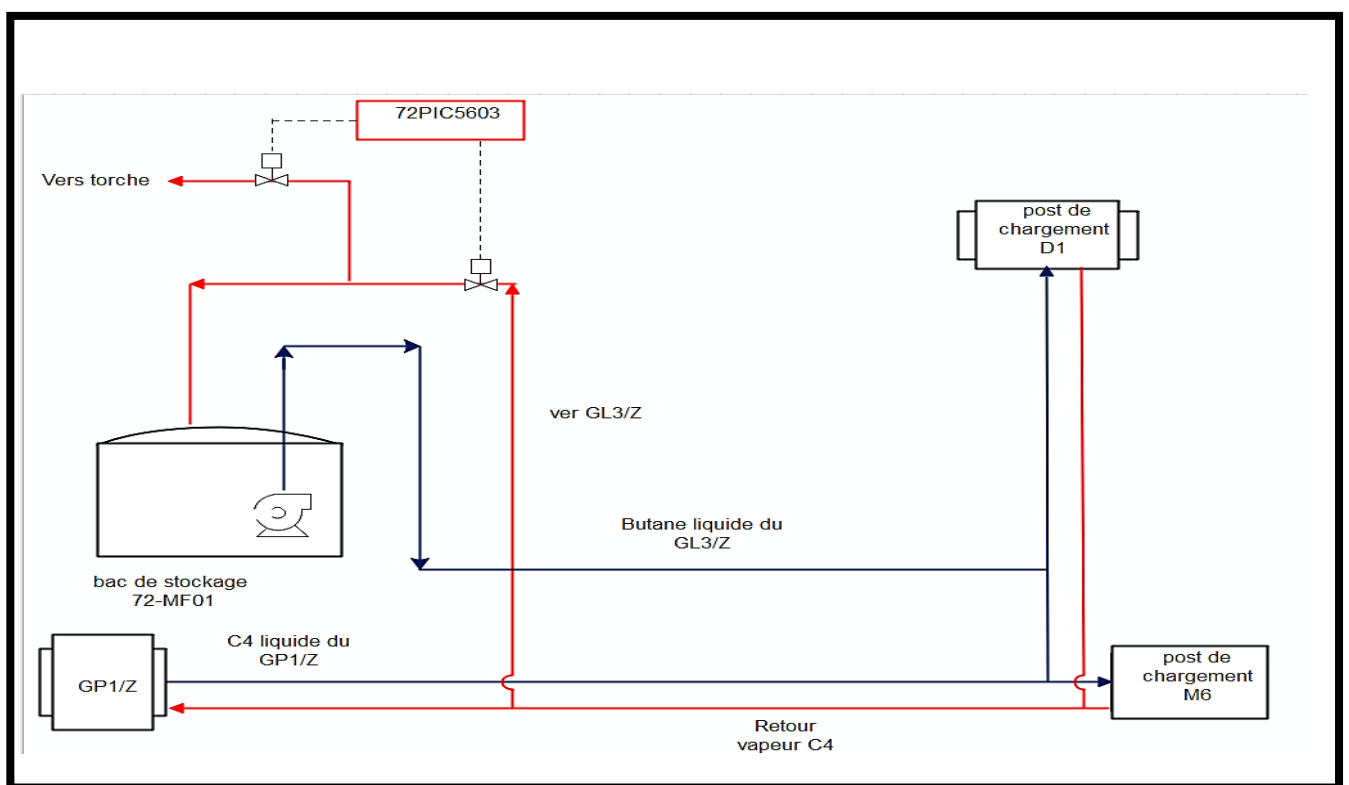


Figure III.1 : Boucle de chargement du produit GPL butane.

III.2.2.3. Section de réfrigération hors service

L'acheminement du produit C₄ chaud provenant de l'unité de fractionnement (unité17) vers le bac de stockage (72-MF01) provoque le réchauffement du produit et l'augmentation de sa pression.

III.2.2.4. Perturbation dans les échangeurs HP (72-MC03) et BP (72-MC04) au niveau de la section de réfrigération

Ces dysfonctionnements; notamment la perturbation du niveau de propane réfrigérant dans l'échangeur BP 72-MC04 qui perturbe le refroidissement du butane dans la deuxième étape et par conséquent la génération excessive de BOG.

III.2.3. Analyse qualitative

Des analyses chromatographiques de BOG du bac de stockage butane sont réalisées au niveau du laboratoire, ces dernières sont décrites ci-dessous.

III.2.3.1. Analyses chromatographiques

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est une méthode séparative parmi les plus employées car elle allie rapidité et efficacité de séparation. Elle permet d'analyser qualitativement des mélanges complexes de gaz ou composés qui peuvent être volatilisés sans être décomposé. Cette méthode permet la séparation comme les autres techniques chromatographiques par une suite d'équilibre entre une phase gazeuse (phase mobile qui entraîne les échantillons à analyser) et une phase liquide (chromatographie de partage) ou solide (chromatographie d'adsorption). L'appareil de chromatographie est montré sur la figure (III.2) [15].

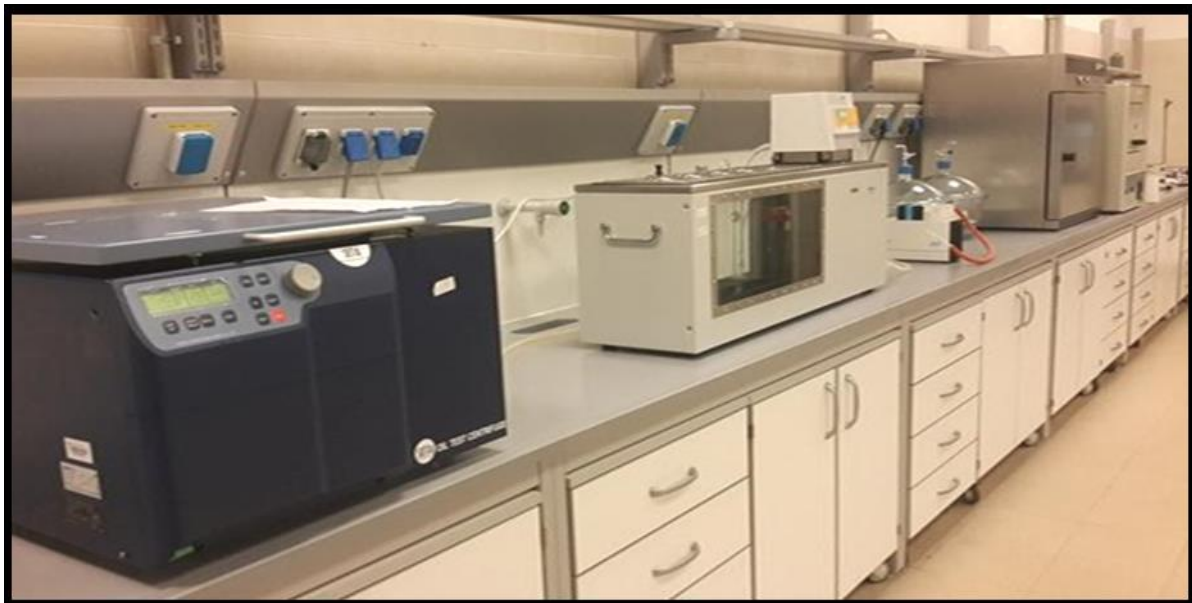


Figure III.2 : Appareil de chromatographie au niveau du complexe GL3/Z.

Ces analyses ont conduit aux résultats suivants tabulés ci-dessous (tableau III.1) :

Tableau III.1 : Résultats des analyses chromatographiques du BOG butane.

D a t e s	Compositio n	Ethane (C₂)	Propane (C₃)	i-butane (i- C₄)	n-butane (n-C₄)	i-pentane (i-C₅)	n- pentane (n-C₅)
11/03/2019		0,147	0,361	52,902	46,526	0,059	0,005
12/03/2019		0,148	0,360	52,900	46,529	0,059	0,0040
13/03/2019		0,147	0,460	52,809	46,521	0,059	0,004
14/03/2019		0,147	0,359	52,902	46,528	0,060	0,004
17/03/2019		0,147	0,359	52,903	46,528	0,059	0,004
Moyenne		0,1472	0,3798	52,8832	46,5264	0,0592	0,0042

A travers ces résultats, la composante majoritaire du mélange est : **le butane à 99,41%**.

III.2.4. Estimation quantitative et économique des gaz BOG du bac butane

III.2.4.1. Estimation quantitative du BOG C₄

Dans cette étape nous nous sommes basés sur deux méthodes d'estimation à cause de l'absence d'un débit mètre sur la ligne de sortie de BOG.

a) Première méthode

Dans la première méthode nous avons recensé le nombre d'ouverture de la vanne vers torche 72-PV-5603A et le pourcentage moyen d'ouverture à chaque jour en se basant sur le Cv de la vanne nous avons réalisé une estimation de la quantité torchée par jour après avoir calculé la moyenne sur quelques jours.

➤ Formule de calcul du débit :

Vu que la relation entre l'ouverture de la vanne et le débit est linéaire selon la fiche technique de cette dernière (Annexe N° III), la formule d'estimation du débit sera la suivante : à **100%** d'ouverture, le débit passant est de **6050 kg/h**.

Sur chaque unité de pourcentage (01%) d'ouverture représente **60,50 kg/h**. Tandis que l'ouverture s'étale sur une période déterminée suivant l'évolution de la pression du bac, on introduit le facteur du temps pour déterminer la quantité torchée à chaque période pendant chaque journée.

Nous avons pris une période de neuf (09) jours comme référence.

$$Q_t = (\%O * 60,5) * P \quad (III.1)$$

Q_t : débit de gaz torchés estimé.

$\%O$: pourcentage d'ouverture de la vanne.

P : période d'ouverture en heure.

Nous avons pris une période de neuf (09) jours comme référence.

L'estimation de la quantité torchée ont conduit aux résultats suivants :

Tableau III.2 : Résultats de l'estimation de la quantité torchée.

Jour	Période	% d'ouverture	Débit estimé Q_t Kg/h	Moyenne / jour (kg/j)
25/03/2019	20:27 – 21:05	15,62	598,5063	3157,2126
	01:29 – 01:59	22,99	695,4475	
	02:33 – 03:01	15,45	436,205	
	07:13 - 08:51	4,37	431,8288	
	15:33 -16:36	7,04	447,216	
	18:07-18:49	12,94	548,009	
27/03/2019	17:08-18:19	6,27	448,8797	3012,7889
	20:42-22:22	3,99	410,3715	
	00:53-01:17	26,93	651,706	
	05:49-07:30	8,78	460,3646	
	14:06-14:52	10,81	501,4038	
	18:07-18:46	13,39	540,0633	
31/03/2019	00:15-00.51	15,56	564,828	1539,4023
	03:40-04:24	12,23	542,6043	
	11:47-12:38	8,4	431,97	

Tableau III.2 (suite) : Résultats de l'estimation de la quantité torchée.

Jour	Période	% d'ouverture	Débit estimé Q _t Kg/h	Moyenne / jour (kg/j)
02/04/2019	14:26-15:10	10,91	484,0403	1067,23
	18:25-19:04	14,83	583,1897	
08/04/2019	03:50-04:37	11,7	530,8875	2439,0373
	13:44-14:32	9,48	458,832	
	15:42-16:23	13,12	555,632	
	19:59-21:01	7,25	453,2458	
	00:17- 01:31	5,2	440,44	
10/04/2019	16:20- 17:07	10,67	505,6690	1112,605
	21:20- 21:52	18,81	606,936	
14/04/2019	01:33- 02 :19	9,8	454,5566	2278,2181
	06:58- 06:23	25,21	635,5020	
	09:34- 10:04	19,86	600,765	
	15:28- 16:16	15,33	587,3945	
16/04/2019	16:24- 17:12	9,32	451,088	451,088
18/04/2019	01:36- 02:47	6,83	488,9710	3746,2201
	02:51- 03:54	7,1	451,0275	
	07:42- 09:19	4,94	483,1731	
	14:25- 15:36	6,89	493,2665	
	19:09- 20:01	8,35	437,8183	
	22:43- 23:35	8,53	447,2563	
	03:53- 05:04	6,95	497,5620	
	15:13- 16:02	9,05	447,1454	

➤ **Résultats:**

La moyenne estimée du débit de gaz torché du bac de butane en se basant sur l'ouverture de la vanne et son C_v est de :

$Q_t = 2089,3113 \text{ Kg/j} = 2,0893 \text{ T/j} = 0,08705 \text{ T/h}$

b) Deuxième méthode

Dans la deuxième méthode, nous nous sommes basés sur le taux d'évaporation du bac butane calculé lors des tests de performance réalisés par le constructeur du complexe de valeur **0,047% / jour** du volume (ou **0,0470 m** du niveau) du bac.

Puisque le bac de stockage 72-MF01 est un réservoir cylindrique, le volume est réduit à (équation III.2) :

$$\boxed{V = \pi r^2 * H} \quad (\text{III.2}) \quad \text{avec } r = 17,5 \text{ m} ; H = 0,047 \text{ m.}$$

$$V = \pi 17,5^2 * 0,047 = 45,1963 \text{ m}^3/\text{j}$$

Sachant que la masse volumique du butane $\rho = 2,84 \text{ Kg/m}^3 = 0,00284 \text{ T/m}^3$

$$\text{Donc : } Q = 45,1963 * 0,00284$$

Par conséquent, le débit du gaz torché du bac butane est :

$$\boxed{Q = 0,1283 \text{ T/j} = 0,00534 \text{ T/h}}$$

III.2.4.2. Estimation économique des gaz torchés du butane

A la base de la quantité estimée de BOG de butane générée moyennement par jour et le prix de vente unitaire du butane sur le marché gazier, nous avons estimé les pertes d'énergie sur le plan économique comme suite (tableau III.3):

Tableau III.3 : Pertes d'énergie sur le plan économique.

Quantité torchée par jour	T/jour	2,08931
Quantité torchée par mois	T/mois	62,6793
Quantité torché par ans	T/ans	752,1516

Le prix unitaire de la tonne de butane (selon le tableau des prix de la direction commerciale) est de **400 \$**.

- D'où une perte annuelle de **300860,64 \$/ans**

- Sur une durée de vie du complexe d'où moins de 30 ans cette perte s'élève à **9025819,2 \$**.

III.3. PROPOSITION DES OPTIONS POUR LA RECUPERATION DU BOG C₄

Pour la récupération de la vapeur du C₄, nous avons proposé quatre options jugées préalablement possibles, qui diffèrent dans cette étude selon le degré de complexité :

III.3.1. Première option

- **Acheminement de BOG butane vers le complexe GP1/Z**

Une des options proposées consiste à orienter le BOG du butane vers GP1/Z en modifiant la logique de régulation des vannes du bac de stockage du butane actuelle qui fonctionne comme suite :

En cas d'augmentation de la pression dans le bac au-delà du point de consigne (80 mbarg), la vanne 72-PV-5603B de retour vapeur de chargement vers le bac de stockage commence à se fermer dans l'intervalle de 0 à 50 % d'OP du régulateur 72-PIC-5603 et l'ouverture de la vanne 72-PV-5603A vers torche de 50 à 100% d'OP du régulateur 72-PIC- 5603.

III.3.1.1. Philosophie de régulation actuelle

Le transmetteur de pression 72-PT-5603 est installé sur le toit du réservoir 72-MF01 et la vanne 72-PV-5603B de retour vapeur est installée sur la conduite de retour de vapeur de butane à partir de la jetée. La vanne 72-PV-5603A vers torche est installée sur la ligne de commande de surpression du réservoir de stockage C₄ (72-MF01) vers la torche BP.

Le contrôleur de pression 72-PIC-5603 est un contrôleur de plage fractionnée, dont le signal est divisé comme suite par le sélecteur de plage fractionnée 72-PY-5603 :

- De 0 à 50%, le signal est envoyé à 72-PV-5603B pour fermer la vanne de retour vapeur dans le cas où le signal de pression dépasse le point de consigne.
- Et inversement de 50 à 100%, le signal est envoyé à 72-PV-5603A pour ouvrir la vanne vers torche si le signal de pression dépasse le point de consigne [16].

La boucle de contrôle de pression du réservoir C4 (72-PIC-5603) est illustrée sur la figure III.3.

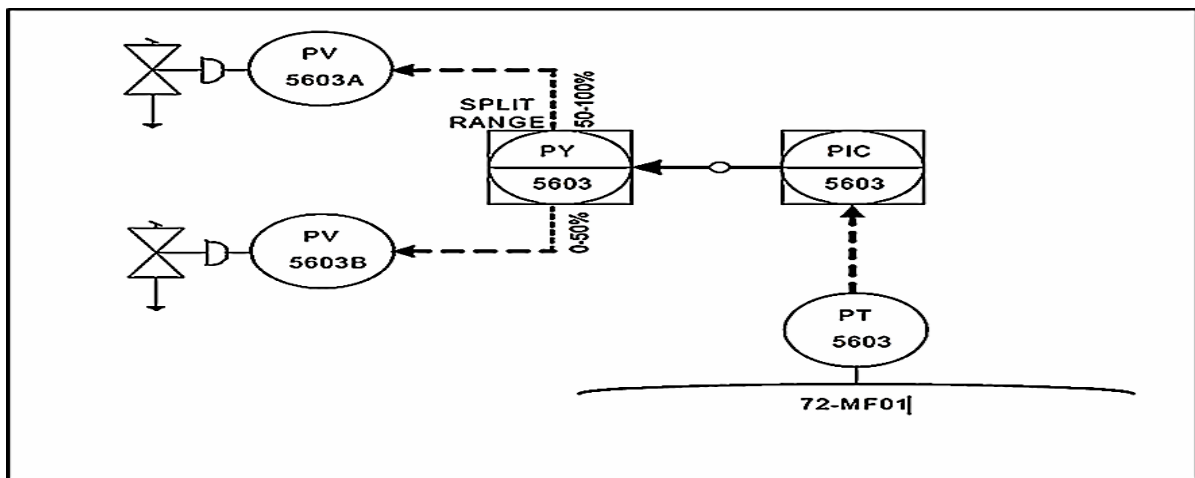


Figure III.3 : Boucle de contrôle de pression du réservoir C₄ (72-PIC-5603).

Les signaux OP pour les vannes de commande actuelle est illustrée sur la figure III.4.

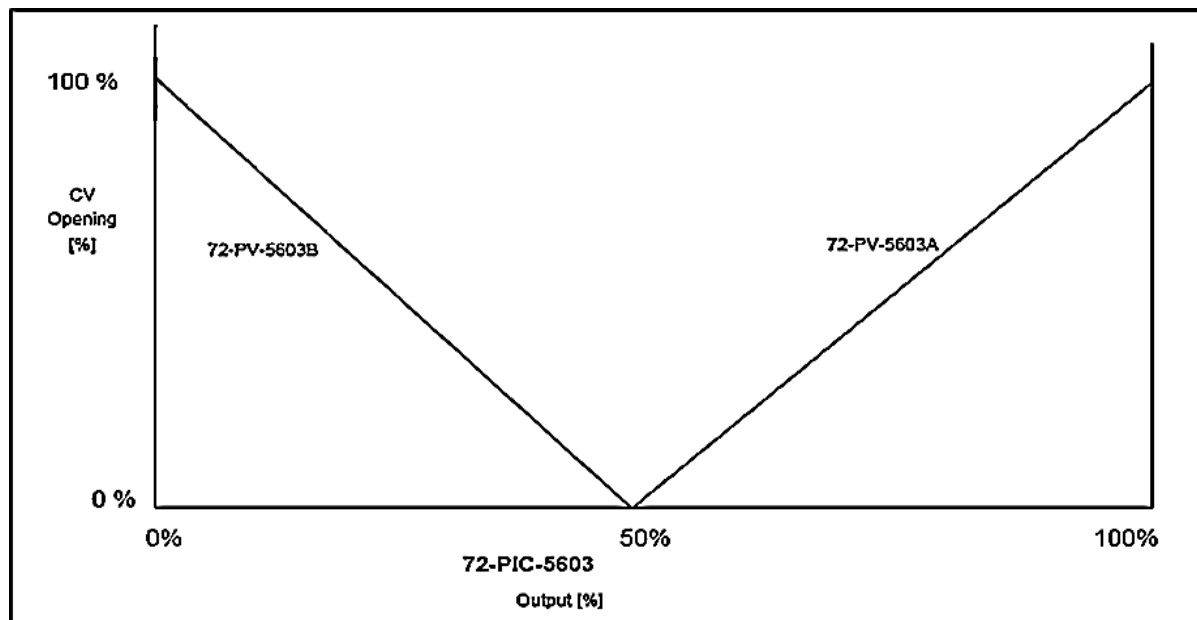


Figure III.4 : Signaux OP pour les vannes de commande actuels.

La modification de la logique de régulation des vannes consiste à l'ouverture de la vanne 72-PV-5603B vers le collecteur de retour vapeur de chargement butane de GP1/Z qui va être liquéfiées et stockées dans leurs bacs. Cette modification est montré sur la figure (III.5).

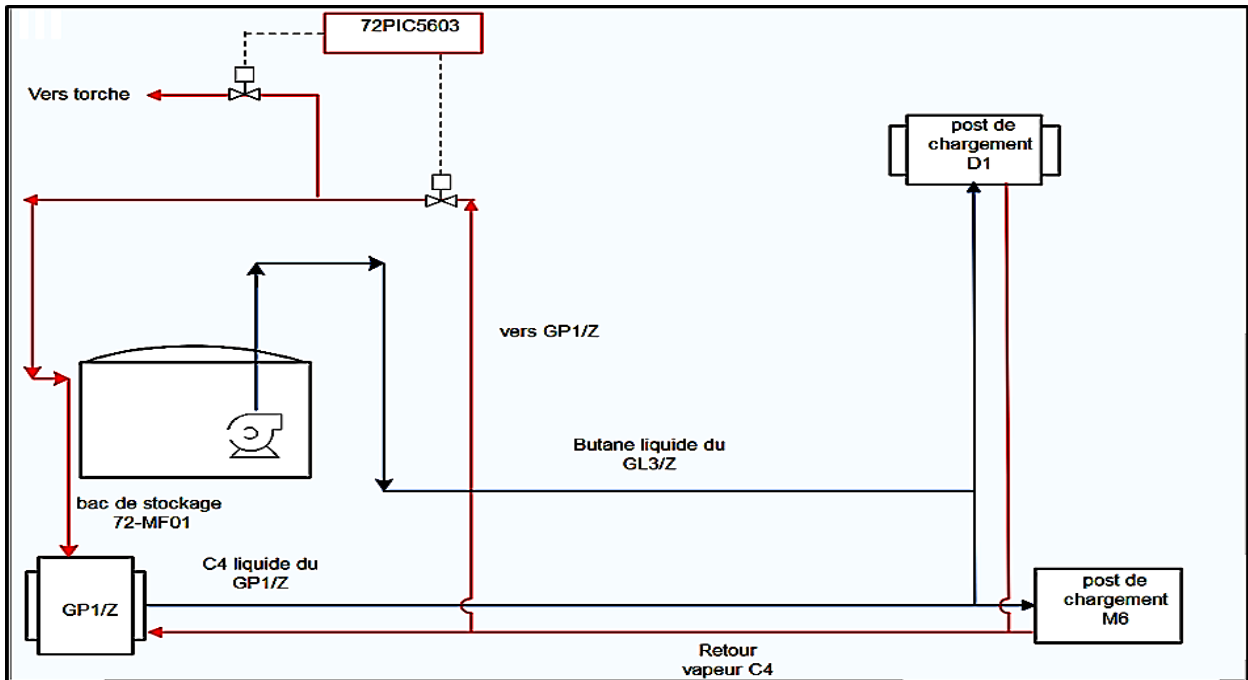


Figure III.5: Schéma de la modification de la logique de régulation de pression schématisé par logiciel Edraw max.

Dans le cas d'augmentation de pression au-delà du point de consigne, la vanne 72-PV- 5603B de retour vapeur de chargement vers le bac de stockage commence à s'ouvrir vers le collecteur BOG de GP1/Z dans la plage de 0 à 50 % d'OP du régulateur 72-PIC-5603 et la vanne 72-PV-5603A vers torche s'ouvre de 50 à 100% d'OP du régulateur 72-PIC-5603; après l'ouverture totale de la 72-PV-5603B si la pression reste supérieure au point de consigne.

III.3.1.2. Philosophie de régulation modifiée

Signaux OP pour les vannes de commande modifiée est illustré sur la figure (III.6).

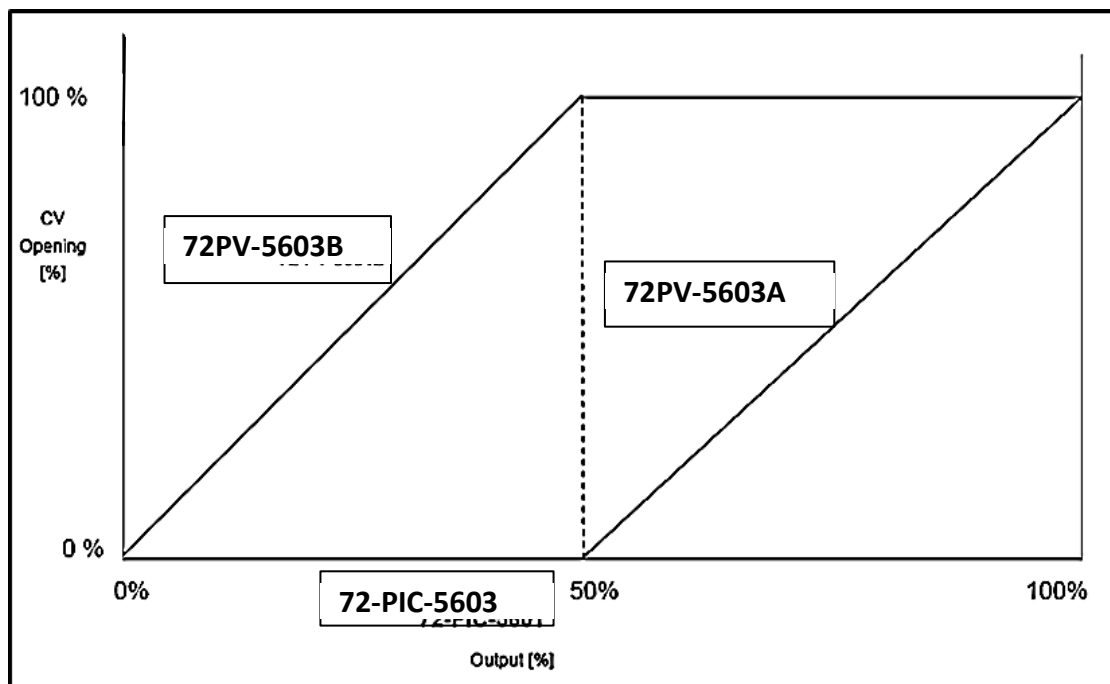


Figure III.6 : Signaux OP pour les vannes de commande modifiées.

Cette option est faisable, non coûteuse puisqu'elle ne nécessite aucune nouvelle installation ou équipements pour le recouvrement de BOG. Le seul et le majeur inconvénient de cette solution est la dépendance envers le complexe GP1/Z qui peut refuser de recevoir cette vapeur en raison de la saturation ou dérèglement process lorsque le système de compression se trouve hors service ou l'installation est en état d'arrêt, et peut également la rejeter en cas de perturbation dans les paramètres des bacs qu'elles ont, ce qui conduit à la combustion du BOG C₄ et donc à la perte de produit, par conséquent, cette solution n'est pas viable à long terme.

Afin de nous débarrasser de la dépendance de ce complexe (GP1/Z), nous devons trouver un système spéciale pour récupérer et reléguifier les vapeurs de BOG et les stocker dans le bac de stockage au niveau de GL3/Z.

III.3.2. Deuxième option

- **Compression et réinjection dans le circuit de refroidissement**

Ce système comporte une nouvelle installation constituée d'un compresseur avec ses accessoires (ballon de séparation et système de lubrification). Le butane sortant à haute pression et haute température sera refroidit par des aires-réfrigérants puis détendu par une vanne ensuite réinjecté dans le circuit de la section de réfrigération de GPL.

III.3.2.1. Choix des équipements de la deuxième option

a) Choix de compresseur

On distingue deux grandes familles des compresseurs : volumétrique et dynamique, est montré sur la figure (III.7).

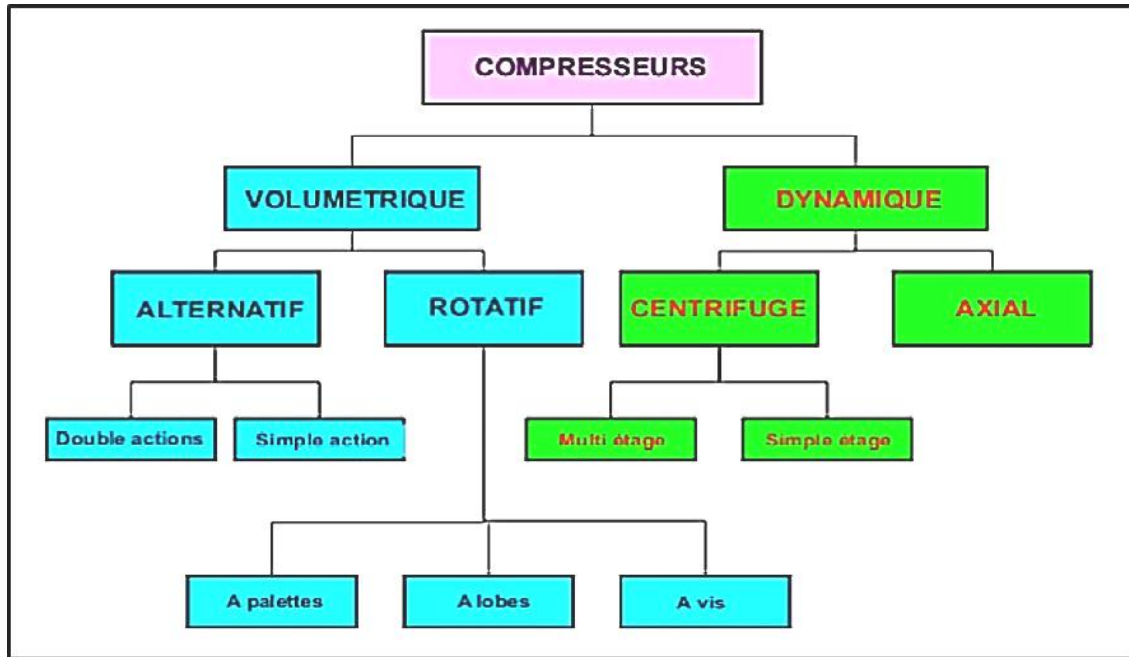


Figure III.7 : Catégories principales de compresseurs.

Le choix du type de compresseur volumétrique ou dynamique sera tributaire des débits et pressions que l'on souhaite obtenir. D'autres paramètres seront à prendre en compte pour le choix final (taille, poids, prix, etc.). Le compresseur dynamique est bien adapté aux moyens et grands débits de gaz et relativement souple à exploiter pour les compresseurs centrifuges et bien adaptés aux très grands débits et aux pressions modérées pour les compresseurs axiaux.

Les compresseurs dynamiques ne sont pas adaptés aux faibles débits avec un prix élevé. Par contre les compresseurs volumétriques sont bien adaptés aux petits débits, ils peuvent véhiculer du gaz à toutes les pressions et relativement souple à exploiter mais avec un débit pulsé et fiabilité moyenne au niveau des soupapes pour les compresseurs volumétrique alternatifs.

Pour les compresseurs volumétriques rotatifs qui peuvent véhiculer du gaz dans une large plage de débit avec un débit régulier, fiabilité satisfaisante et débit plus régulier que les compresseurs alternatifs mais ne sont pas adaptés aux hautes pressions (max 50 bars) [17].

Plages d'application des différents types de compresseurs est illustrée sur la figure III.8.

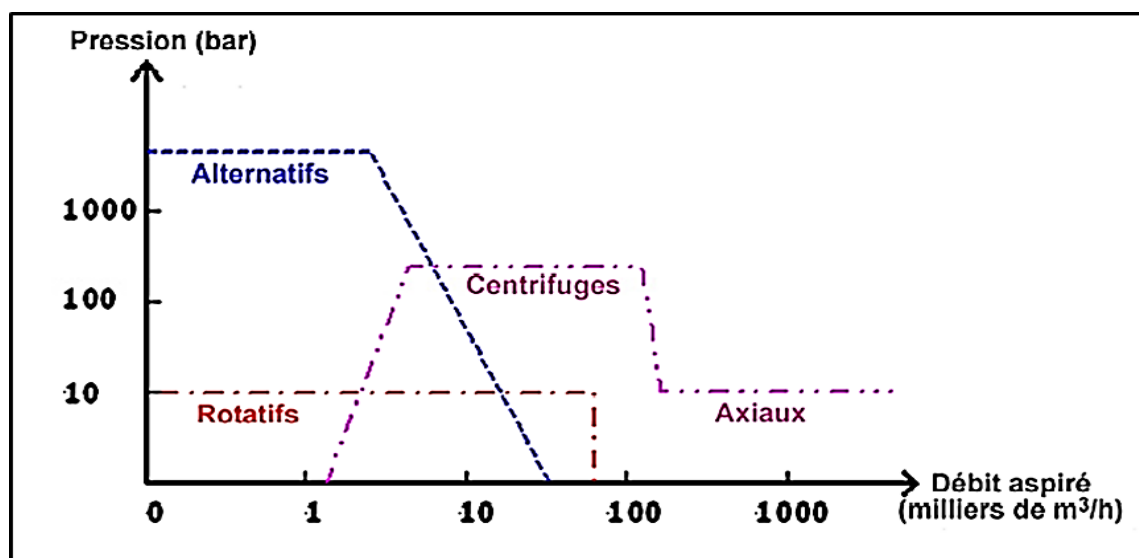


Figure III.8 : Plages d'application des différents types de compresseurs.

Dans notre cas nous avons choisi le compresseur volumétrique rotatif à vis, car la pression est de **0,9930 bars** à l'entrée de compresseur dans les perspectives d'obtenir **7,5 bars** à la sortie, avec un faible débit de BOG de **0,8532 tonne/h**, en tenant compte de l'expérience du complexe dans l'exploitation de ce type de compresseur.

➤ Principe de fonctionnement des compresseurs volumétriques rotatifs à vis

La partie mobile est composée de deux vis s'engrenant l'une dans l'autre. Ces deux vis tournent en sens contraire. Le passage du gaz s'effectue parallèlement aux axes des deux vis. La vis femelle comporte toujours un pas de plus que la vis mâle avec un profil différent est montré sur la figure III.9.



Figure III.9 : Compresseur rotatif à vis.

❖ **Première phase : aspiration**

Côté tubulure d'aspiration, une cannelure se remplit de gaz tant qu'elle est en contact avec la lumière d'aspiration.

❖ **Deuxième phase : compression**

Du fait de la rotation des rotors, la cannelure se trouve séparée de la lumière d'aspiration. Le gaz qui y est emprisonné est comprimé car le volume qui lui est offert est réduit par l'engrènement des lobes du rotor male avec le rotor femelle.

❖ **Troisième phase : refoulement**

La compression se termine lorsque la cannelure atteint le bord de la lumière de refoulement. Le gaz comprimé est alors refoulé régulièrement jusqu'à ce que la lumière de refoulement soit à nouveau obstruée.

Nous signalons que pour assurer un débit de gaz continu au refoulement, le système est conçu de telle sorte qu'il y ait toujours deux cannelures en contact avec la lumière d'aspiration et de refoulement. Une cannelure communique donc avec la lumière de refoulement avant que la précédente ne se soit complètement vidée puis passée au-delà [17].

b) Choix des aires-réfrigérants

Les aires-réfrigérants utilisent l'air ambiant comme fluide de refroidissement, cet air après aspiration (tirage forcé) par des ventilateurs axiaux traverse des faisceaux de tubes comportant des ailettes extérieures. A l'intérieure de ces tubes circule le fluide à refroidir ou à condenser [18].

Dans notre cas, nous optons pour les aires-réfrigérants car :

- Entretien facile.
- Gratuité de l'air.
- Gratuité de l'électricité comme l'usine GL3/Z produit lui-même de l'électricité.

III.3.3. Troisième option

• **Récupération de BOG C₄ par échange thermique**

Cette installation comporte un principal équipement : qu'est l'échangeur de chaleur, pour la liquéfaction de la vapeur du butane, annexé à une boucle de régulation de pression.

En traversant le BOG C₄ avec un débit de **0,8424 T/h**, la pression monte jusqu'à **0,9930 bars** et par conséquent l'ouverture de la 1^{ère} vanne. Un signal sera envoyé afin d'ouvrir la 2^{ème} vanne pour régler la pression dans le côté calandre de l'échangeur afin d'ajuster la température du réfrigérant propane par déduction de la régulation de la température de butane à refroidir côté tube.

Lorsque la vapeur de C₄ refroidit devient liquide elle se dirige vers l'accumulateur. Tandis que le niveau du liquide augmente dans l'accumulateur, les pompes interviennent et refoulent le liquide vers le bac de stockage du butane 72-MF01.

III.3.3.1. Choix des équipements de la troisième option

a) Choix de l'échangeur

➤ Echangeurs à plaques

Un échangeur à plaques (figure III.10) est constitué d'un ensemble de plaques métalliques embouties au travers desquelles s'effectue le transfert de chaleur entre deux fluides et plus.

Les plaques sont serrées entre un bâti fixe et un bâti mobile. Elles sont positionnées et guidées par deux barres support inférieure et supérieure.

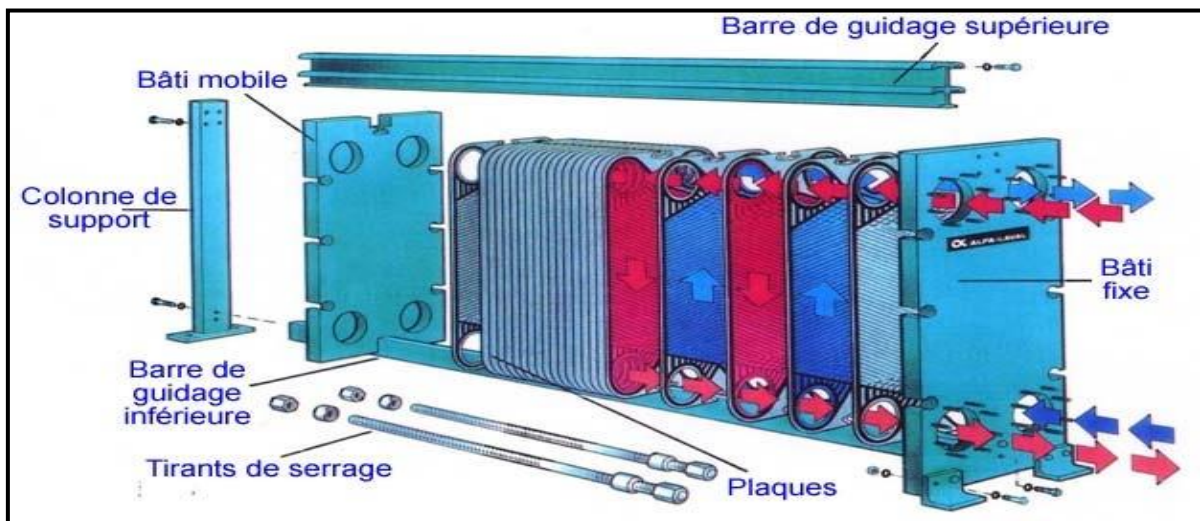


Figure III.10 : Composition d'un échangeur à plaques.

Les bâtis maintiennent les plaques serrées au moyen de tirants. Les deux barres guides sont elles même supportées par un pied support. Un joint par plaque assure l'étanchéité de l'échangeur ainsi que la répartition des fluides dans les canaux formés par deux plaques. Les avantages et les inconvénients de ce type d'équipement sont cités ci-dessous :

❖ **Avantages:**

- 5 à 10 fois moins encombrant que les échangeurs tubulaires.
- Très bon transfert de chaleur.
- Très bon prix.
- Peu de perte thermique.
- Modulable.

❖ **Inconvénients :**

- Faible écart de température à cause de choc thermique.
- Régulation difficile et nécessite plus de maintenance.
- Risque de fuite.
- Éviter l'usage de produit chimique

➤ **Echangeurs tubulaires**

Un des fluides circule dans un faisceau de tubes monté sur deux plaques tubulaires. Ce faisceau est logé dans une calandre munie de tubulures d'entrées et de sortie pour le fluide circulant à l'extérieur des tubes du faisceau. Ce fluide suit un trajet imposé entre les chicanes. Celles-ci ont pour rôle entre autres de supporter les tubes du faisceau afin d'éviter leurs déformation. Le principe de l'échangeur tubulaire est illustré sur la figure III.11.

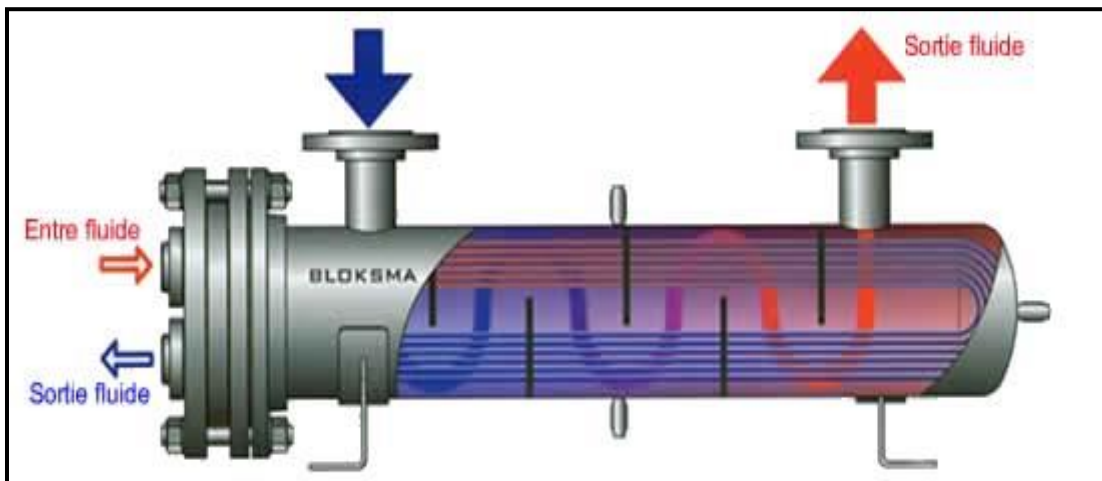


Figure III.11 : Principe de l'échangeur tubulaire.

❖ **Avantages**

- Résiste aux fortes pressions.
- Très bon coefficient de transfert.
- Faible prix de revient.

- Fiables et simples de conception.
- Entretien curatif minimum.

❖ **Inconvénients :**

- Puissance limitée.
- Risque de «claquements » si le diamètre est faible (< 50 mm) et grande longueur [18].

Pour cette solution, nous avons choisi l'échangeur tubulaire à contre-courant pour éviter plus de maintenance, de plus nous n'avons pas un tampon de propane dans l'échangeur à plaques, par contre dans l'échangeur tubulaire, nous avons toujours un certain niveau de C₃ côté calandre; de plus le débit du BOG C₄ est discontinu.

b) Choix des pompes

Les pompes sont des appareils mécaniques servant à véhiculer des liquides d'un point A, à un point B. Elles permettent notamment de prendre un liquide à la pression P₁ et de le porter à la pression supérieure P₂. Pour véhiculer un liquide d'un endroit à un autre, la pompe doit fournir une certaine pression appelée hauteur manométrique totale, celle-ci dépend des conditions d'aspiration et de refoulement. Devant la grande diversité de situations possibles, nous trouvons un grand nombre de machines que l'on peut classer en deux grands groupes :

- Les pompes centrifuges;
- Les pompes volumétriques [19].

Pompe centrifuge est montré sur la figure III.12.

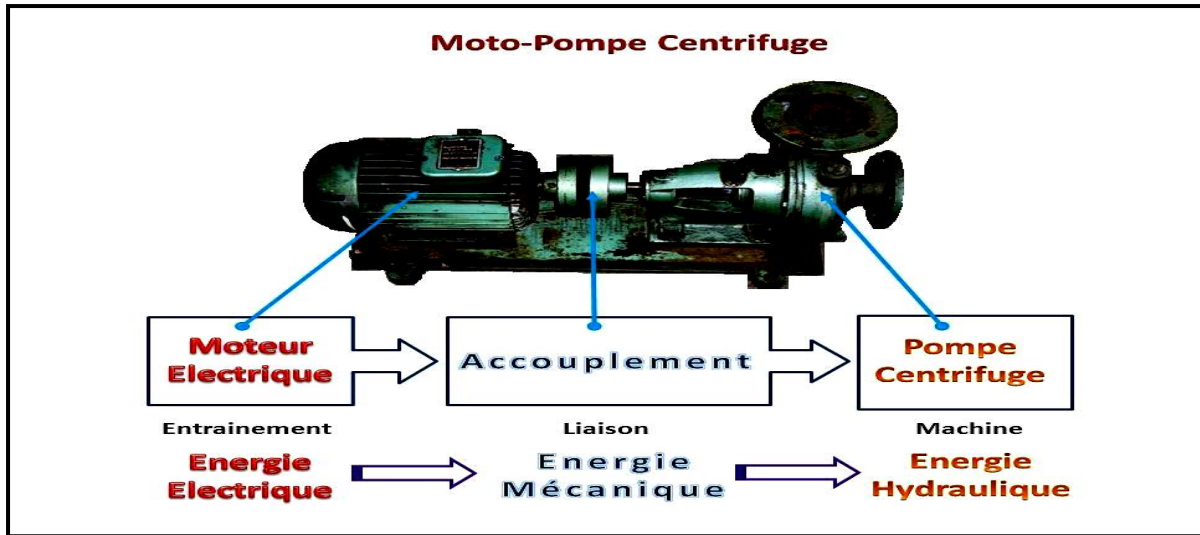


Figure III.12 : Exemple de pompe centrifuge.

Dans notre cas, nous optons pour les pompes centrifuges mono étage où le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.

III.3.4. Quatrième option

- **Réinjection du BOG C₄ dans le circuit de réfrigération du propane.**

Cette option consiste à envoyer le BOG C₄ provenant du bac de stockage 72-MF01 vers la section de réfrigération dans l'aspiration des compresseurs de BOG propane 72-MJ09 A/B (basse pression). Ces vapeurs sont accumulées et liquéfiées avec les vapeurs de propane, puis stockées dans le bac de stockage propane en respectant la composition commerciale exigée.

Pour les équipements, cette proposition ne nécessite pas des nouveaux équipements sauf une seule ligne (pipe) et une vanne de régulation associée au bac de stockage de butane 72-MF01.

III.4. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons identifié les principales sources de l'évaporation du butane dans le bac de stockage aux niveaux du complexe GL3/Z de plus nous avons quantifié les vapeurs de BOG du bac de stockage butane 72-MF 01 par une méthode de calcul approximative ainsi qu'une analyse qualitative. A partir de ces résultats obtenus, nous avons montré l'importance des quantités du butane brûlées dans la torche par un calcul économique.

En fin, nous avons discuté les quarts propositions des options techniques pour la récupération du BOG C₄ et le choix des équipements pour chaque installation.

CHAPITRE IV
ETUDE DE
FAISABILITE DE
RECUPERATION
DU BOG BUTANE

CHAPITRE IV

ETUDE DE FAISABILITE DE RECUPERATION DU BOG BUTANE

IV.1. INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objet de réaliser une étude de faisabilités de récupération du « Boil Off Gas» butane qui abordera les volets suivants :

- Vérification et confirmation de faisabilité technique et économique par la simulation des options élaborées par Hysys V.9.
- Comparaison entre les quatre options pour constituer un outil d'aide à la décision du choix optimale.

IV.2. LA SIMULATION

La simulation est l'utilisation d'un modèle ou d'un ensemble de modèles mathématiques adéquats pour étudier le comportement d'un système physique. Elle nous fournit un bon aperçu du système étudié et de ses caractéristiques les plus importantes sans intervenir sur le procédé réel.

IV.2.1. Logiciel Hysys

Hysys n'est pas le logiciel de simulation le plus flexible, ni le plus utilisé dans l'industrie, mais il a l'avantage d'être convivial et facile à utiliser une fois que les éléments de base sont compris. Hysys a été développé pour l'industrie du pétrole, bien qu'il soit utilisé pour d'autres types de procédés chimiques.

Les simulations sont accomplies en utilisant les outils des menus. Il dispose d'une interface graphique pour la construction des diagrammes du procédé (PDF– Process Flow Diagramme). On présente dans ce manuscrit les étapes nécessaires pour une simulation. C'est un programme informatique utilisé pour la simulation des procédés :

- À l'état stationnaire.
- À l'état dynamique.

Développement pour la simulation:

- Des procédés de l'industrie de gaz.
- Des procédés de raffinage et de la pétrochimie.

Le simulateur Hysys est un ensemble de modèles mathématiques des opérations unitaires (ballons, compresseurs, colonnes de distillation, échangeurs de chaleur, etc.). Ces opérations sont connectées dans un schéma de procédé PFD par le courant d'informations généré dans ces opérations. Ce même logiciel permet d'envisager le pilotage en temps réel, de fixer les limites de la marche de l'unité et de mesurer les risques en fonction de l'évolution des paramètres (P, T,...).

IV.2.2. Équation d'état

La simulation peut se faire en mode statique (steady state) ou mode dynamique, en se basant sur l'équation d'état utilisée pour les mélanges liquide vapeur et qui est recommandée pour les hydrocarbures Peng Robinson de forme :

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v(v+b)+b(v-b)} \quad (\text{IV.1})$$

D'où :

- **P** : la pression du système.
- **R** : constant des gaz parfait
- **T** : la température.
- **v** : le volume molaire du gaz [21].

IV.3. SIMULATION DES OPTIONS PROPOSEES PAR HYSYS

IV.3.1. Simulation de la deuxième option

• Compression et réinjection dans le circuit de refroidissement

En premier lieu, nous avons simulé la section de réfrigération dans la configuration actuelle ; le schéma est illustré par la figure IV.1.

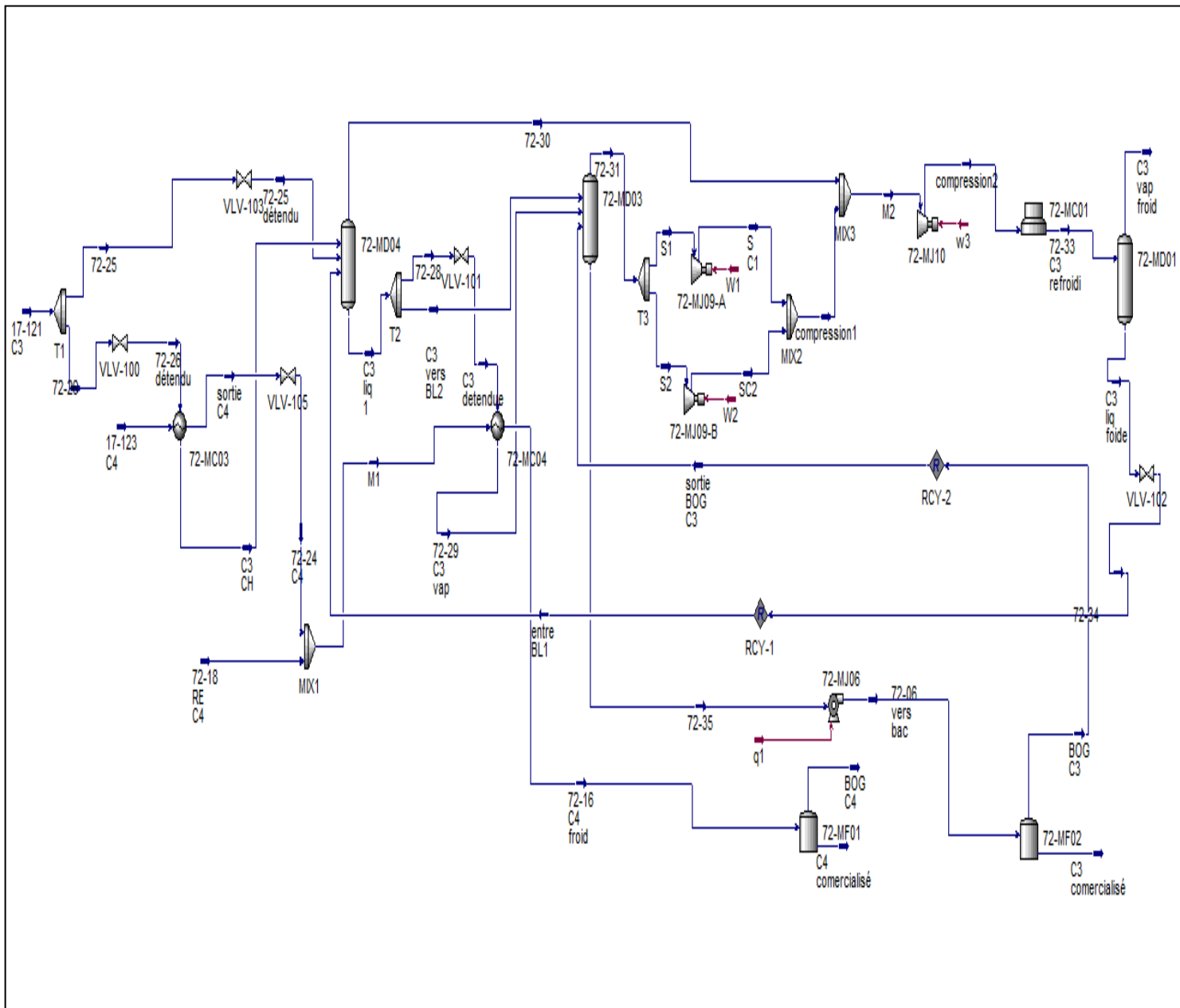


Figure IV.1: Schéma de simulation de la section de réfrigération par Hysys.

En deuxième lieu, nous avons simulé le procédé de réfrigération du propane et butane en ajoutant les équipements proposés dans cette option (figure IV.2).

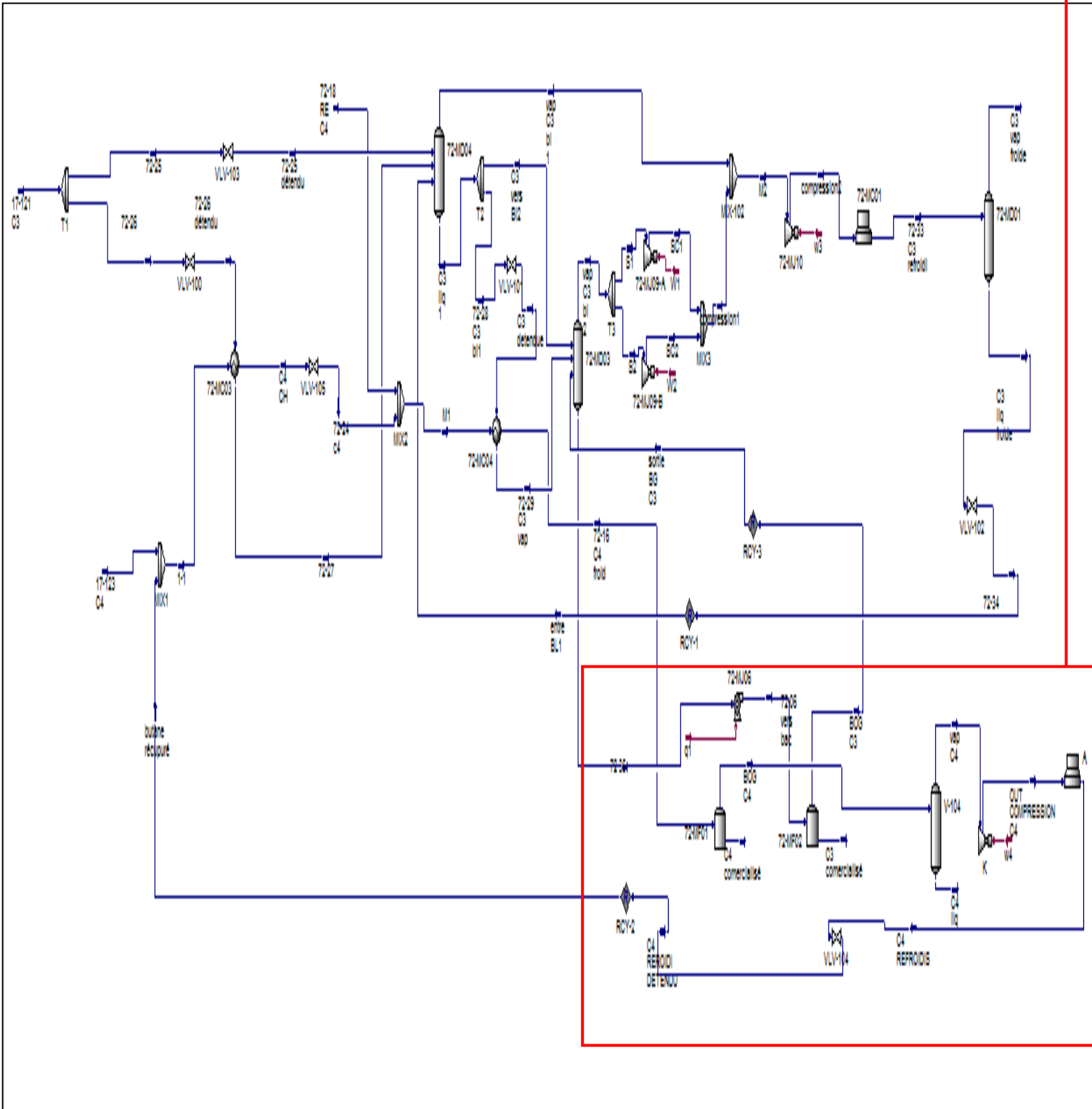


Figure IV.2 : Schéma de simulation de la boucle de réfrigération avec les équipements de la deuxième option.

Schéma de simulation détaille A; est montré sur la figure IV.3.

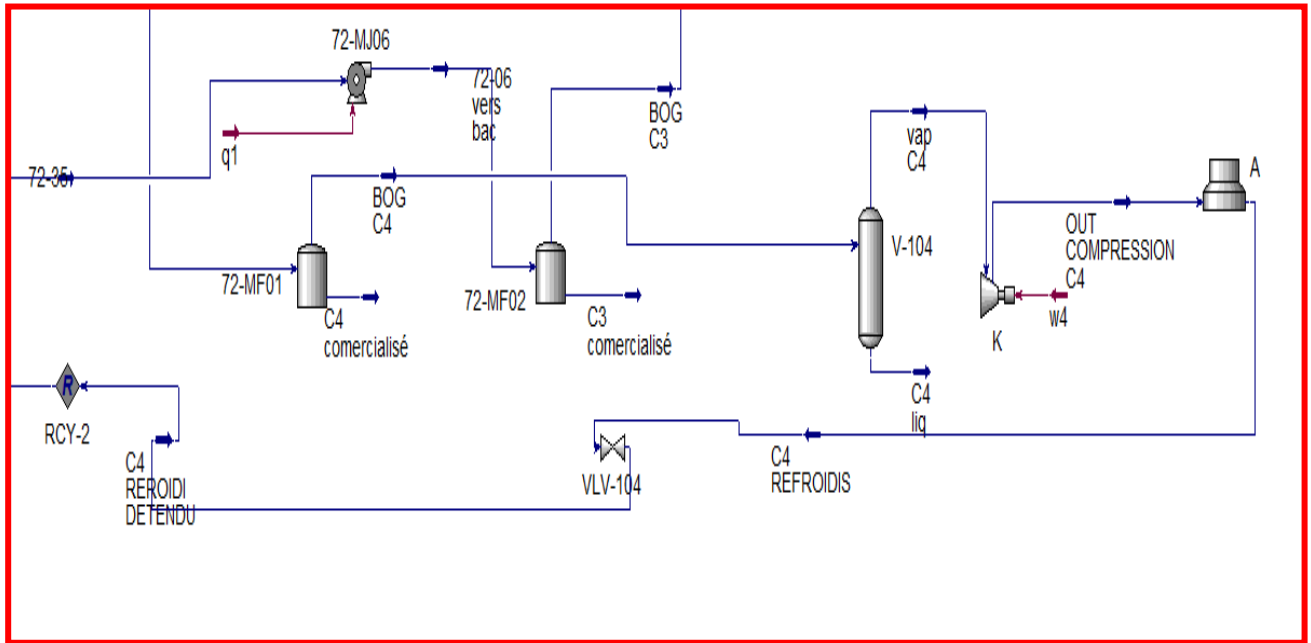


Figure IV.3 : Schéma de simulation détaillé A.

IV.3.1.1. Résultats de simulation de la deuxième option

Les résultats de simulation de la deuxième option sont présentés sur les tableaux ci-dessous :

Tableaux IV.1 : Représentation des résultats de la simulation de la deuxième option.

	Bac de stockage 72-MF01			Sortie du ballon	Compresseur K		Sortie de l'airo	Sortie de la vanne de détente
Flux	72-16 C4 Froid	C4 commer- - cialisé	BOG C4	C4 Liquid	vapeur C4	Out Compre- -ssion C4	C4 refroidi	C4 refroidi détendu
Vapeur	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
Température (°C)	-5,5	-6,199	-6,199	-6,199	-6,199	65,03	30,00	30,02
Pression (bar)	1,813	0,9932	0,9932	0,9932	0,9932	7,5	7	5,5
Débit (t/h)	198,8	198	0,8456	0,0000	0,8456	0,8456	0,8456	0,8456

Tableaux IV.1 (suit) : Représentation des résultats de la simulation de la deuxième option.

		Bac de stockage 72-MF01			Sortie du ballon	Compresseur K		Sortie de l'airo	Sortie de la vanne de détente
Composition	Méthane C ₁	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Ethane C ₂	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Propane C ₃	0,0010	0,0010	0,0037	0,0010	0,0037	0,0037	0,0037	0,0037
	i-butane i-C ₄	0,4140	0,4136	0,5158	0,4136	0,5158	0,5158	0,5158	0,5158
	n-butane n-C ₄	0,5834	0,5838	0,4800	0,5838	0,4800	0,4800	0,4800	0,4800
	i- pentane i-C ₅	0,0015	0,0015	0,0004	0,0015	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
	n-pentane n-C ₅	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

IV.3.1.2. Discussion des résultats de la deuxième option

D'après les résultats obtenus avec la simulation par Hysys, nous concluons que pour un débit de BOG C₄ de **0,8456 T/h (20,2944 tonnes journalière)** ; sous la température de **- 6,199 °C** et une pression de **0,9932 bars**, cette option permet la récupération totale du BOG liquéfié par un débit de **0,8456 T/h** avec une pureté de **99,58%** du butane.

L'énergie consommée par le nouveau compresseur pour comprimé le gaz de butane à une pression de **7,5 bars** nécessite une puissance de **2,087.10⁴ Kcal/h (24,2555 KW)**.

IV.3.2. Simulation de la troisième option

• Récupération des BOG C₄ par échange thermique

Dans cette étape d'optimisation, nous avons simulé le procédé de réfrigération (figure IV.4) du propane et butane en ajoutant les équipements proposés dans la troisième solution

Voir détaille B

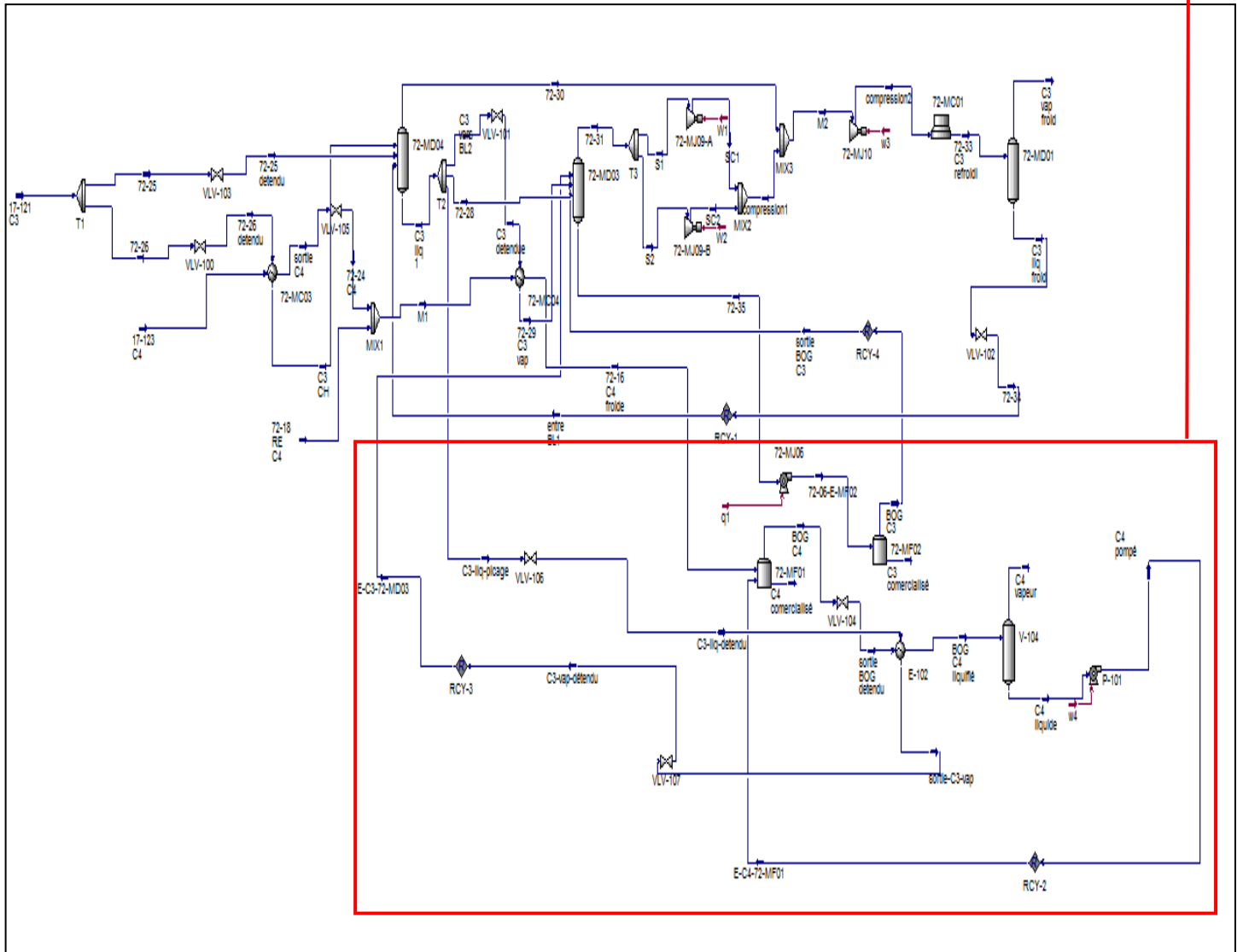


Figure IV.4 : Simulation de la boucle de réfrigération avec les équipements de la troisième solution.

Schéma de simulation détaille B ; est illustré sur la figure IV.5.

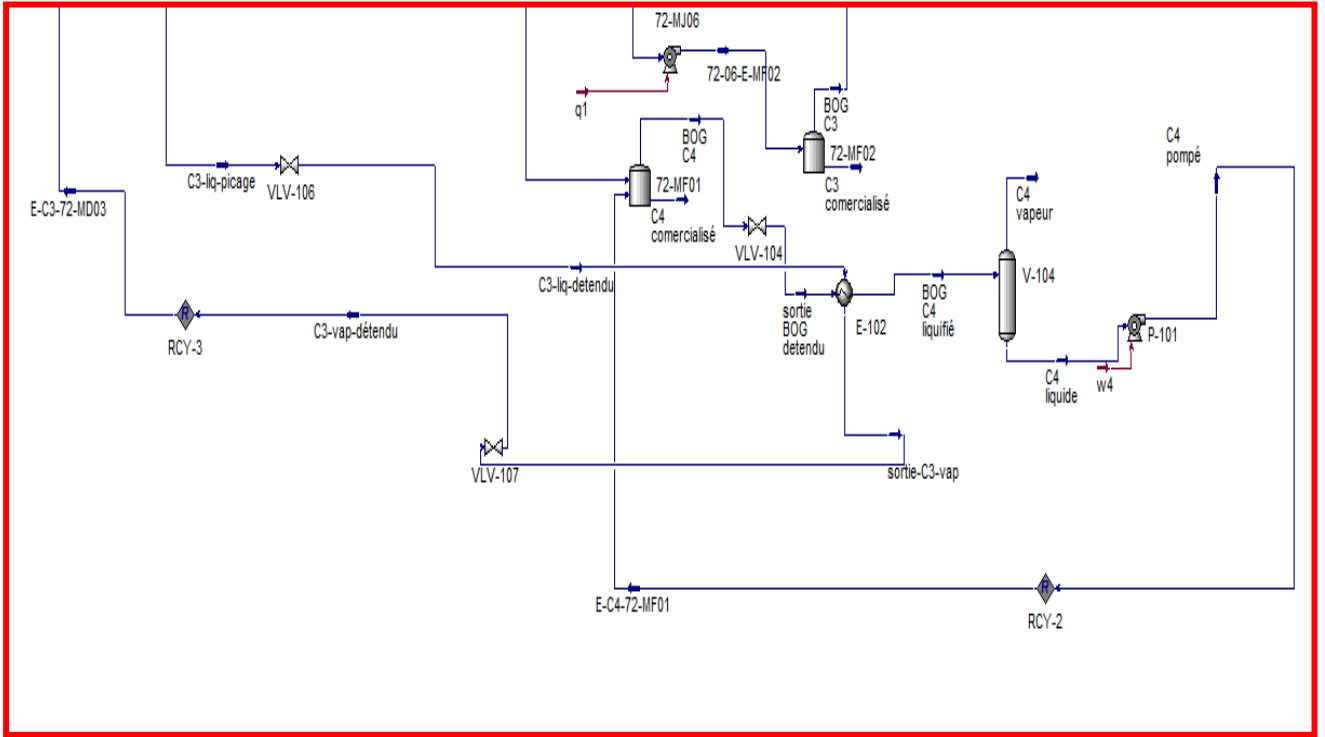


Figure IV.5 : Schéma de simulation détaille B.

IV.3.2.1. Résultats de simulation de la troisième option

Les résultats de simulation de la troisième option sont présentés dans les tableaux ci-dessous

Tableau IV.2 : Représentation des résultats de la simulation de la troisième option.

	Bac de stockage 72-MF01				Sortie de la vanne VLV-104	L'échangeur de chaleur E-102	
	72-16 C ₄ froid	C ₄ Commercialisé	BOG C ₄	Sortie BOG détendu	BOG C ₄ liquéfié	C ₃ -liq-détendu	Sortie- C ₃ -vap
Flux							
Vapeur	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0918	1,0000
Température (°C)	-5,500	-6,206	-6,206	-6,254	-8,0000	-11,30	-11,59
Pression (bar)	1,813	0,9930	0,9930	0,9730	0,9770	3,3	3,263
Débit (t/h)	198	198	0,8424	0,8424	0,8424	0,8980	0,8980

Tableau IV.2 (suit) : Représentation des résultats de la simulation de la troisième option.

		Bac de stockage 72-MF01				Sortie de la vanne VLV-104	L'échangeur de chaleur E-102	
Composition	Méthane C ₁	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Ethane C ₂	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Propane C ₃	0,0010	0,0010	0,0037	0,0037	0,0037	0,9998	0,9998
	i-butane i-C ₄	0,4136	0,4135	0,5158	0,5158	0,5158	0,0002	0,0002
	n-butane n-C ₄	0,5838	0,5838	0,4800	0,4800	0,4800	0,0000	0,0000
	i-pentane i-C ₅	0,0015	0,0015	0,0004	0,0004	0,0004	0,0000	0,0000
	n-pentane n-C ₅	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tableau IV.3 : Suite des résultats de la simulation de la troisième solution.

	L'accumulateur V-104		Sortie de la pompe P-101	Entré de C ₄ liquéfié dans le bac 72-MF01
Flux	C ₄ liquide	C ₄ vapeur	C ₄ pompé	E-C ₄ 72-MF01
Vapeur	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
Température (°C)	-8,0000	-8,0000	-7,945	-7,945
Pression (bar)	0,9770	0,9770	1,813	1,813
Débit (t/h)	0,8424	0,0000	0,8424	0,8352

Tableau IV.3 (suite) : Suite des résultats de la simulation de la troisième solution.

		L'accumulateur V-104		Sortie de la pompe P-101	Entré de C ₄ liquéfié dans le bac 72- MF01
Composition	Méthane C ₁	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Ethane C ₂	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Propane C ₃	0,0037	0,0132	0,0037	0,0037
	i-butane i-C ₄	0,5158	0,6121	0,5158	0,5153
	n-butane n-C ₄	0,4800	0,3745	0,4800	0,4805
	i-pentane i-C ₅	0,0004	0,0001	0,0004	0,0004
	-pentane n-C ₅	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

IV.3.2.2. Discussion des résultats de la troisième option

D'après les résultats de simulation présentés dans le tableau ci-dessus (Tableau IV.3), nous déduisons que pour une valeur initiale de débit de BOG C₄ **0,8424 T/h**, cette option nous aide à récupérer totalement le gaz évaporé de butane à **0,8424 T/h** de BOG C₄ liquéfié (**20,2176 tonne journalière**) avec une pureté allant jusqu'à **99,58%** à une température de **-8 °C** et une pression de **0,9770 bars**. Notons qu'il y a une légère perte de **0,0085%** du débit BOG C₄ liquéfié à l'entrée du bac de stockage.

IV.3.3. Simulation de la quatrième option

• Réinjection de BOG C₄ dans le circuit de réfrigération du Propane

A ce stade, nous avons représenté le procédé de réfrigération du propane et butane qui comprend la quatrième proposition en utilisant le logicielle Hysys comme suite :

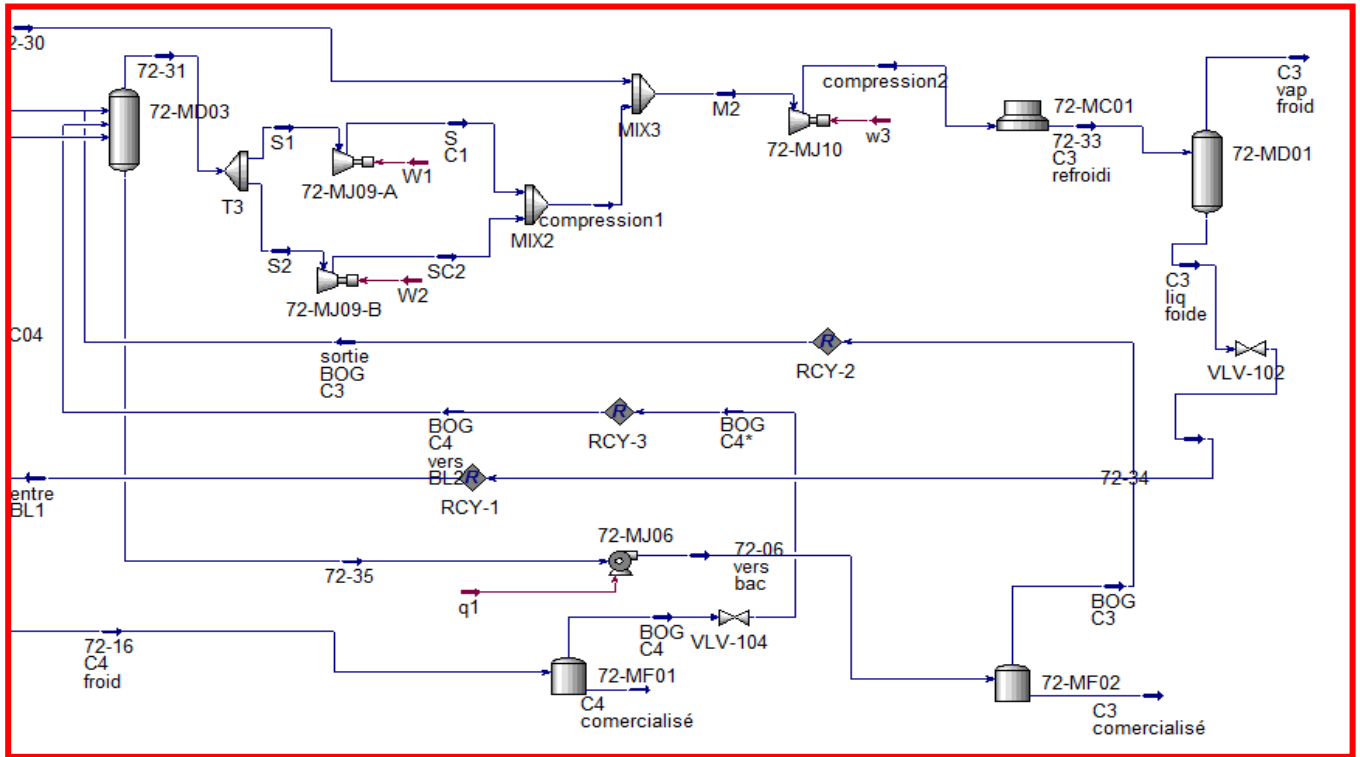


Figure IV.7 : Schéma de simulation détaillé C.

IV.3.3.1. Résultats de simulation de la quatrième option

Les résultats de simulation de la quatrième option sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Tableaux IV.4 : Représentation des résultats de la simulation de la quatrième option.

	Bac de stockage 72-MF01			Sortie de vanne VLV-104	Bac de stockage 72-MF02		
	72-16 C4 froid	BOG C4	C4 commercialisé	Sortie BOG C4	72-06 vers bac	BOG C3	C3 commercialisé
Flux	72-16 C4 froid	BOG C4	C4 commercialisé	Sortie BOG C4	72-06 vers bac	BOG C3	C3 commercialisé
Vapeur	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000
Température (°C)	-5,5	-6,193	-6,193	-6,193	-42,13	-42,21	-42,21
Pression (bar)	1,813	0,9932	0,9932	0,9932	4,5	1	1
Débit (t/h)	198	0,8352	197,2	0,8352	41,85	0,04588	41,80

Tableaux IV.4 (suit) : Représentation des résultats de la simulation de la quatrième option.

		Bac de stockage 72-MF01			Sortie de vanne VLV-104	Bac de stockage 72-MF02		
Composition	Méthane C₁	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Ethane C₂	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Propane C₃	0,0010	0,0037	0,0010	0,0037	0,9848	0,9967	0,9848
	i-butane i-C₄	0,4136	0,5153	0,4131	0,5153	0,0079	0,0022	0,0079
	n-butane n-C₄	0,5838	0,4805	0,5842	0,4805	0,0073	0,0012	0,0073
	i-pentane i-C₅	0,0015	0,0004	0,0015	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000
	n-pentane n-C₅	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tableaux IV.5 : Suite des résultats de la simulation de la quatrième option.

		Entrée du ballon 72-MD03			Sortie du ballon 72-MD03	
Flux	Sortie BOG C ₃	72-29 C ₃ vap	BOG C ₄ vers BL2	C ₃ vers BL2	72-35	72-31
Vapeur	1,0000	0,6828	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
Température (°C)	-42,22	-40,19	-6,193	3,126	-42,36	-42,36
Pression (bar)	1,000	1,103	0,9932	5,200	0,9932	0,9932
Débit (t/h)	0,04547	4,22	0,8352	54,36	41,85	17,62

Tableaux IV.5 (suit) : Suite des résultats de la simulation de la quatrième option.

		Entrée du ballon 72-MD03				Sortie du ballon 72-MD03	
Compositions	Méthane C ₁	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Ethane C ₂	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Propane C ₃	0,9968	0,9990	0,0037	0,9990	0,9848	0,9967
	i-butane i-C ₄	0,0020	0,0007	0,5153	0,0007	0,0079	0,0022
	n-butane n-C ₄	0,0011	0,0003	0,4805	0,0003	0,0073	0,0012
	i-pentane i-C ₅	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000
	n-pentane n-C ₅	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

IV.3.3.2. Discussion des résultats de la quatrième option

Les résultats obtenus par la simulation montrent que pour une valeur de **0,8352 T/h** du BOG butane, et un débit de BOG propane de **0,04588 T/h**, émis du bac de stockage 72-MF01 et 72-MF02 respectivement. Cette option permet la récupération des gaz d'évaporation (C₄ et C₃ sous forme de mélange) avec une pureté de **99,67%** de propane à une température de **-42,36°C** et une pression de **0,9932 bars** dans l'aspiration du compresseur 72-MJ09 A/B.

IV.4. COMPARAISON ENTRE LES QUATRE OPTIONS PROPOSEES

La comparaison entre les quatre options est résumée dans (tableau IV.6) :

Tableau IV.6 : Comparaison entre les quatre options.

Option	Les équipements installés	Avantages	Inconvénients
<p>Première option : Acheminement de BOG butane vers le complexe GP1/Z</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune nouvelle installation est prévue (changement dans la logique de régulation). 	<ul style="list-style-type: none"> - Faisable, - Non couteuse (puisque ne contient aucun nouveau équipement), - Non polluante 	<ul style="list-style-type: none"> - La dépendance vis à vis GP1/Z, - Envoi d'un produit fini vers une autre unité gratuitement.
<p>Deuxième option : Compression et refroidissement de BOG C₄</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Compresseur avec ses accessoires (ballon de séparation, boucles de régulation), - Les aeroréfrigérants, - Les lignes (les pipes). 	<ul style="list-style-type: none"> - Faisable, - Bénéfique (récupération totale de BOG C₄), - Degré de pureté de C₄ optimale (99.58 %). 	<ul style="list-style-type: none"> - Couteuse (toute une nouvelle installation) et un grand investissement - Surexploitation des compresseurs, vue la discontinuité de flux de BOG de C₄. - Le torchage de BOG C₄ lorsqu'un problème technique survient dans les compresseurs ou les vannes de régulations.
<p>Troisième option : Récupération de BOG C₄ par échange thermique</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Echangeur de chaleur tubulaire à contre-courant, - Les lignes (picage de C₃), - Les vannes de régulation et les transmetteurs. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faisable, - Bénéfique (récupération totale de BOG), - Pureté optimale de C₄ avec 99,58%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Couteuse, - Torchage de BOG C₄ lorsqu'un problème technique survient dans l'échangeur de chaleur ou dans les vannes.
<p>Quatrième option : Réinjection dans le circuit de réfrigération</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Une seule ligne (pipe), - Une vanne de régulation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faisable, - Bénéfique, - Non couteuse, - Pureté maximale de C₃ avec 99, 67%. 	<ul style="list-style-type: none"> -Aucune contrainte remarquable.

IV.5. CHOIX DE L'OPTION OPTIMALE

Sous la lumière du tableau comparatif des quatre propositions ci-dessus, cette étude nous a permis de choisir l'option de **réinjection de BOG butane dans le circuit de réfrigération de propane** qui consiste à obtenir les meilleurs résultats sous les conditions optimales. Cette proposition est la plus rentable de point de vue technico-économique avec un degré de pureté de propane maximale qui ne cause aucune perturbation dans le système de réfrigération du propane car la quantité de celui-ci est beaucoup plus grande que celle du butane dans l'aspiration des compresseurs 72-MJ09- A/B (à vis). En outre, ce système de compression n'est pas affecté par la quantité de butane ajouté (BOG C₄) ainsi que par l'augmentation de la masse moléculaire chaque fois que le travail des compresseurs à vis 72- MJ09- A/B reste dans la plage d'exploitation du compresseur.

IV.6. INFLUENCE DE LA QUANTITE DE BOG C₄ INJECTE DANS LA SECTION DE REFRIGERATION

Selon les résultats d'analyses de BOG C₄ et les quantités de gaz évaporés du bac butane, nous avons simulé l'influence d'injection de BOG C₄ dans l'aspiration des compresseur BOG C₃ 72-MJ09- A/B sur la qualité de propane.

Les résultats d'analyses de BOG butane sont tabulés dans (tableau IV.7) :

Tableau IV.7 : Résultats d'analyses du BOG butane.

Composants	Ethane (C ₂)	Propane (C ₃)	i-butane (i-C ₄)	n-butane (n-C ₄)	i-pentane (i-C ₅)	n-pentane (n-C ₅)
Composition du BOG butane %	0,1472	0,3798	52,8832	46,5264	0,0592	0,0042

Sachant que la quantité estimée de BOG C₄ est de **0,08705 T/h**.

IV.6.1. Simulation de l'influence d'injection de BOG C₄ dans l'aspiration des compresseurs BOG C₃.

Le schéma de simulation qui présente l'influence d'injection de BOG C₄ dans l'aspiration des compresseurs BOG C₃ ; est illustré sur la figure IV.8.

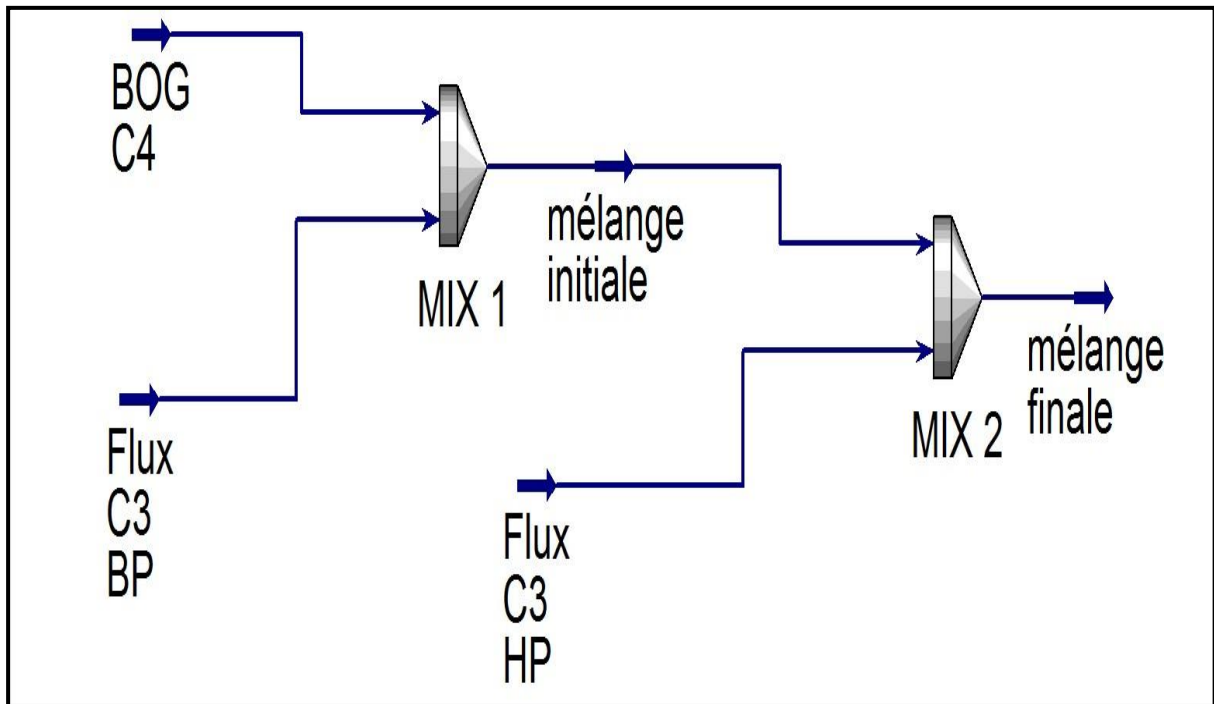


Figure IV.8 : Schéma de simulation qui présente l'influence d'injection de BOG C4 dans l'aspiration des compresseurs BOG C3.

IV.6.2. Résultats de simulation

Les résultats de l'influence d'injection de BOG C4 dans l'aspiration des compresseur BOG C3 sont montrés dans (tableau IV.8) :

Tableau IV.8 : Représentation des résultats de l'influence d'injection de BOG C₄ dans l'aspiration des compresseur BOG C₃.

		Mixeur 1			Mixeur 2	
Flux		BOG C ₄	Flux C ₃ BP	Mélange initial	Flux C ₃ HP	Mélange final
Débit(t/h)		0.08705	23.35	23.44	25.43	48.86
Compositions	Ethane (C₂)	0,0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Propane (C₃)	0,0038	0.9999	0.9971	0.9999	0.9986
	i-Butane (i-C₄)	0,5288	0.0001	0.0016	0.0001	0.0008
	n-Butane (n-C₄)	0,4653	0.0000	0.0013	0.0000	0.0006
	i-pentane (i-C₅)	0,0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	n-pentane (n-C₅)	0,0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

En comparant ces résultats avec les exigences commerciales :

La comparaison des compositions obtenues avec les exigences commerciales sont résumées dans le tableau IV.9 :

Tableau IV.9 : Comparaison des compositions obtenues avec les exigences commerciales.

Composants	Ethane (C2)	Propane (C3)	i-Butane (i- C4)	n-Butane (n-C4)	i-pentane (i-C5)	n-Pentane (n-C5)
La composition du mélange finale obtenue	0,0000	0,9986	0,0008	0,0006	0,0000	0,0000
Composition du propane pour un changement effectué pour un jour	0,0002	0,9996	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000
Compositions du propane dans les exigences commerciales min/max	0,013 au maximum	0,9835 au minimum	0,35 au maximum		0,0000 au maximum	

IV.6.3. Discussion des résultats de simulation de l'influence d'injection de BOG C₄ dans l'aspiration des compresseurs BOG C₃

Nous constatons à partir du tableau comparatif de composition du mélange final obtenu avec les exigences commerciales que ces résultats sont dans les normes avec un pourcentage de propane de **99,86**.

L'injection discontinue et à très faible quantité de BOG butane (**0,08705T/h**) relativement au haut débit de propane n'a pratiquement aucune influence significative sur la qualité du produit propane. Cette injection se fait dans l'aspiration des compresseurs 72-MJ09A/B de la boucle de BOG propane.

IV.7. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons fait une étude de faisabilité de récupération du BOG C₄ et simulé les quatre options. Une comparaison entre les résultats de simulation obtenus est réalisée.

En conclusion, la quatrième option choisie « réinjection de BOG butane dans le circuit de réfrigération de propane » est la meilleure solution parmi les quatre proposées car elle est la plus rentable de point de vue technico-économique avec un degré de pureté de propane maximale

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire de master que nous avons effectué au sein du complexe de liquéfaction de gaz naturel GL3/Z, avait pour ambition d'étudier la faisabilité de récupération du Boil Off Gas butane dans le bac de stockage 72-MF01.

Afin de résoudre le problème de torchage du BOG butane, il était nécessaire de connaître les paramètres de fonctionnement de la section de réfrigération pour avoir la possibilité d'appliquer les options proposées.

Et afin d'appliquer ces propositions, nous avons réalisés une étude par simulation de la section de réfrigération à l'aide du logiciel ASPEN Hysys. La première proposition (Orientation du BOG C₄ vers le complexe GP1/Z) n'est pas simulée car elle ne dépend que du changement dans la logique de régulation des vannes.

La simulation nous a permis de prévoir et comparer entre les trois propositions, ces dernières sont faisables, mais le choix de la bonne solution dépend essentiellement de l'aspect technico-économique.

Lors de notre étude, il a été montré que :

- La première proposition : acheminement du BOG C₄ vers le complexe voisinant GP1/Z est faisable, non coûteuse cependant, cette solution est toujours dépendante du complexe GP1/Z.
- La deuxième proposition : compression et refroidissement de BOG C₄ est faisable, bénéfique et permet la récupération totale du BOG butane à 99,58%, mais elle est très coûteuse et avec la probabilité d'avoir des problèmes techniques au future, comme nous l'avons mentionné au quatrième chapitre.
- La troisième proposition : récupération de BOG C₄ par échange thermique est faisable, bénéfique et permet la récupération totale du BOG C₄ à 99,58%. Cependant, elle est coûteuse avec la possibilité d'avoir une défaillance technique au niveau des équipements.
- La quatrième proposition : réinjection dans le circuit de réfrigération de BOG propane est la moins coûteuse, faisable, bénéfique, et ne pose aucun problème dans le système de réfrigération dans la boucle de BOG propane.

Nous concluons, dans le cadre de la réduction des gaz torchés (butane), que notre sujet nous a permis de choisir la solution qui consiste à réinjecter le BOG C₄ dans le circuit de réfrigération de propane de point de vue technico-économique avec un degré de pureté de

propane à 99,86%. Cette proposition n'a pas une influence significative sur la qualité du produit propane puisque cette injection est discontinue et en faible quantité par rapport au haut débit de propane.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

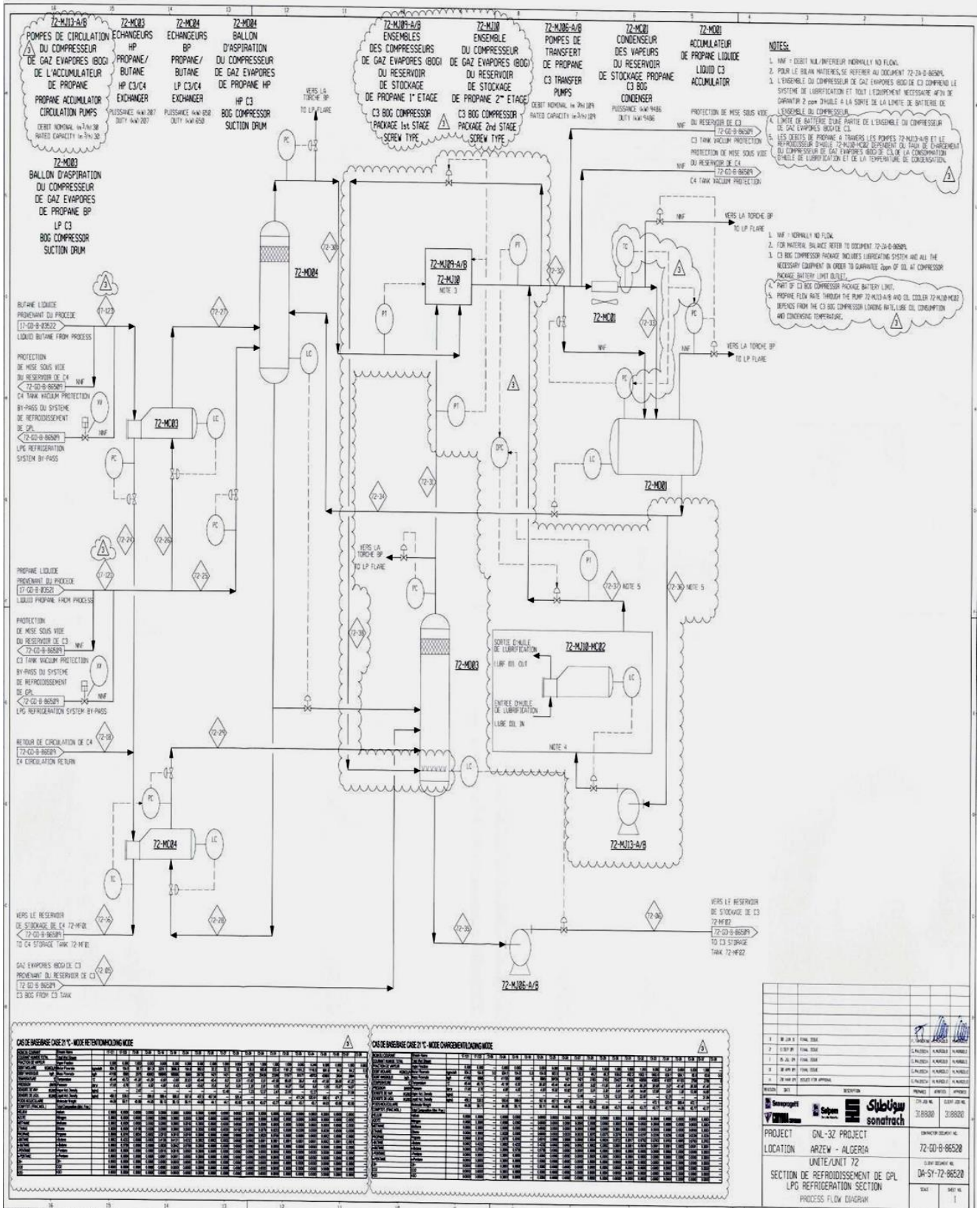
- [1] www.avenir-suisse.ch/fr/publication/energie-pour-leconomie-et-le-bien-etre/.
- [2] [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Energie- \(économie\)](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Energie-(économie)).
- [3] BENDALAMOR.N; DJELLOUT.S. Impact du changement des caractéristiques de la charge du débutaniseur sur les paramètres opératoires. Mémoire d'ingénieur; facultés de pétrochimie; université de Boumerdes; 2007.
- [4] www.aps.dz/economie/69535-reduction-des-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-plusieurs-efforts-engagés-par-l-algerie.
- [5] MENAD Y ; MESSAOUDI Z. ; Dysfonctionnement de la section de réfrigération au niveau de l'unité 72 du complexe GNL3/Z, Mémoire de fin d'études de master académique, facultés de génie chimique; université de Mostaganem, 2018.
- [6] M.BENOURRAD ; Description zone stockage /expédition « détail section BOG unité 71», projet professionnel de fin de formation-technicien supérieur en génie de gaz, Institut Algérienne du pétrole IAP, Oran, Algérie, 2015-2017.
- [7] PETIT P ; liquéfaction du gaz naturel, Techniques de l'ingénieur, traité génie des procédés, J3601, PP. 1-22, Paris, 1995.
- [8] HIBA K. ; GOUMIDI H. ; Dysfonctionnement de la Section de Réfrigération Au Niveau de l'unité 72, Mestres en industries pétrochimiques, facultés de pétrochimiques ; université de Mostaganem, 2019.
- [9] Manuel opératoire de l'unité 72, projet GNL-3Z, sec.03, rév.1, V02, N°318800-GNL3Z-MO-SY-72-86822, 224P, 2015
- [10] Module 3- description des unités off sites; projet GNL/3Z-Arzew; Algérie, 2012.
- [11] Principes fondamentaux du procédé et d'exploration, projet GNL-3Z, rév.0, 318800-GNL3Z-MU-PR-00-79009 ,1518P, 2012.
- [12] BUTAN TANK BOIL OFF RATE, CALCULATION NOTE, GNL-3Z Project, rév.0, N°318800-GNL3Z-CE-ZB-72-78583, 47P, 2009.

- [13] PETIE ENCYCLOPEDIE GAZIERE, Boil off gas, les évaporations du GNL, Gaz d'aujourd'hui, M.L.G. Source : Elengy, 2013.
- [14] INERIS -Verneuil en Halatte. Référentiels, normes et guides de bonnes pratiques pour le stockage de Gaz Naturel Liquéfié (GNL) -Installations fixes, 2011.
- [15] A. Labidi, Chromatographie en Phase Gazeuse CPG, National Institute of Applied Sciences and Technology, 2020.
- [16] Control narrative unit 72-LPG storage, loading and réfrigération système GNL-3Z Project, rév.03, N°318800-GNL3Z-TP-SY-72-86322, 2011, 78P.
- [17] Cours TOTAL - les compresseurs, manuel de formation cours EXP-PR-EQ130, Révision 0.3, 2013, 87P.
- [18] Cours TOTALE- les échangeurs, support de formation cours EXP-PR-EQ120, Révision 0.1, 2013, 58P.
- [19] Cours TOTAL-les pompes, manuel de formation cours EXP-PR EQ070, Révision 0.1, 2013, 170P.
- [20] BELGHOUL H. Logiciel du Hysys. master1, département de génie chimique, facultés de science, université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf d'Oran, 2010.
- [21] N.REBAI. Initiation au simulateur Hysys. Institut Algérienne du pétrole IAP, Boumerdes, Algérie, 2010.

ANNEXES

ANNEXE II

PFD de la section de réfrigération



OSI ENSEMBLE C3 2^{EM} C-MIXE REFRIGERATION

ITEM	DESCRIPTION	QTY	UNIT	REVISION
1	COMPRESSOR PACKAGE 2ND STAGE	1	UNIT	1
2	CONDENSER	1	UNIT	1
3	ACCUMULATOR	1	UNIT	1
4	EXCHANGER	2	UNIT	1
5	PUMP	2	UNIT	1
6	DRUM	2	UNIT	1
7	PIPE	100	M	1
8	VALVE	50	UNIT	1
9	FLANGE	100	UNIT	1
10	WELDING	100	UNIT	1

OSI ENSEMBLE C3 1^{ER} C-MIXE REFRIGERATION

ITEM	DESCRIPTION	QTY	UNIT	REVISION
1	COMPRESSOR PACKAGE 1ST STAGE	1	UNIT	1
2	CONDENSER	1	UNIT	1
3	ACCUMULATOR	1	UNIT	1
4	EXCHANGER	2	UNIT	1
5	PUMP	2	UNIT	1
6	DRUM	2	UNIT	1
7	PIPE	100	M	1
8	VALVE	50	UNIT	1
9	FLANGE	100	UNIT	1
10	WELDING	100	UNIT	1

PROJECT DATA

PROJECT: GNL-32 PROJECT
LOCATION: ARZEW - ALGERIA
UNITE/LINET: 72
SECTION: REFRIGERATION SECTION
PROCESS FLOW DIAGRAM

REVISIONS

NO.	DATE	DESCRIPTION
1	15/08/2023	ISSUED FOR CONSTRUCTION

COMPANIES

SONATRACH, ARZEW, GNL-32 PROJECT

ANNEXE III

Data sheet de la vanne 72-PV-5603A vers torche du bac de stockage 72- MF01



JOB 318800	UNIT 72
SPC. 72-SA-E-52928	
Sh. 55 Of 59	Rev. 2

Control Valves and Regulators

Tag : 72-PV -5603A		Service : 72-MF01		P&ID N° : DC-SY-72-86670		Run :	
1 Line Data		INLET		OUTLET		44 Body	
2	Line No.	B-72021		45	Valve Type	Butterfly	
3	Line Size	8 in		46	Body Size	8 in	
4	Piping Class	A11A		47	Body Material	ASTM A216 WCB	
5	Line Thickness	8.18 mm		48	Port Size	Reduced	
6				49	Rating	CL150#	
7 Process Data		INLET		OUTLET		50 Inlet Connections	
8	Fluid Descr.	Butane		51	Outlet Connections	8" RF125 µin.Ra	
9	Fluid State	Gas/Vapor		52	Bonnet	Standard	
10	Operating Temp.	0.4 °C		53	Packing	Butane Service(2)	
11	Design Temp. Min. / Max.	-10 65 °C		54	Lubricator	Not Required	
12	Design Press.	3.5 bar-g		55	Nace Requirement	-	
13	Density @ Op. Cond.	kg/m³		56			
14	Vapor Press. @ Op. Cond.	bar-a		57	Trim		
15	Critical Press.	bar-a		58	Plug	Butterfly	
16	Viscosity	cP		59	Characteristic	Equal Percentage	
17	Gas Molecular Weight	58		60	Leakage Class (ANSI FC70-20)	ANSI IV (standard)	
18	Gas Compress. Factor	0.96		61	Seat Material	INCOLOY 825 HCP	
19	Biphase : % wt Vapour	100 wt %		62	Plug Material	AISI 316 SS	
20	Specific Heat Ratio (CP/CV)	1.12		63	Stem Material	17-4PH	
21	Special Services Component	Butane service		64	Cage Material	-	
22	Fugitive Emission Fluid Characteristic			65			
23 Data Related to Flow:		MIN		NOR		MAX	
24	Flow	1060 kg/h		6050		66 Actuator	
25	Inlet Press:	0.23 bar-g		0.2		67	Type
26	Outlet Pressure	0.05 bar-g		0.15		68	Size
27						69	Max Shut-Off DP
28	Calculated Data	MIN		NOR		MAX	
29	Calculated CV	56.8		571		70	Flow Action To
30	Valve Opening	15 deg		61		71	On Power Failure
31	Flow Condition					72	Signal Actuator
32	Velocity	m/s				73	Positioner Type
33	Mach Number			0.08		74	Input Signal
34	Est. Total Noise dBA @ 1mt	54		59		75	Air Supply Press.
35	Oversize Factor					76	Min. 4.1 Max. 10
36	Oversize CV					77	Accessories
37	Selected CV	1350				78	Handwheel
38	Rangeability	60:1				79	Jacket
39						80	Limit Switches
40	General Data					81	Solenoid Valve
41	Ambient Temperature	°C Min. -2.3 Max. 47				82	Position Transmitter
42	Electrical Area Classification	Cl1, Zone2 ,Gr IIB, T3 (ATEX)				83	Filter Regulator
43						84	Air Volume Tank
						85	Others
						86	
Remarks							
(1) This flow refer to flashing corresponds to turndown (60% of operating flow of base case 38°C) when 72-PV-5613 is open. (2) Live loaded double packing (PTFE) with 2x1/4" NPT-F leak-off connection. (3) Open position 72-PZSO-5603A + Close position 72-PZSC-5603A.							
Management Data							
Manufacturer METSO				Supplier Metso			
Valve Model L6CBN08PACAT2				Order 487064 1st MTO			
Actuator Model B1JAU10				Quantity 1			

Form Code: 1101

This document is the property of Snamprogetti who will safeguard its rights according to the civil and penal provisions of the law

Form Revision : 00

ANNEXE IV

Certificat de qualité du propane (analyse par un jour)

 <p> Complexe: GL3Z Département Technique Service Laboratoire </p>	<h2 style="color: red; margin: 0;">RAPPORT d'ESSAIS GPL</h2>
--	--

CHARGEMENT N°: 2019/41	NAVIRE : RHOURE EL HAMRA
DEBUT DE CHARGEMENT : 26-05-2019 15:30	CLIENT : BASF
FIN DE CHARGEMENT : 27-05-2019 08:00	PRODUIT: PROPANE
PORT: QUAI DE CHARGEMENT GPL GP1Z	DESTINATION: ESPAGNE

Analyses	Résultats	Normes
Densité 15/4	0.5077	ASTMD 2598-1657
Essai d'évaporation °C	-40	ASTMD 1837
Tension de vapeur à 37.8°C en Kg/Cm2	12.08	ASTMD 2598-1267
Essai à l'acétate de plomb	NEGATIF	ASTMD 2420
Soufre total % poids	<0.0001	ASTMD 2784
Détection de l'eau (bromure de cobalt)	PASS	NF M41-004
Corrosion à la lame de cuivre	<1A	ASTMD 1838
TEST DE MERCURE HG EN NG/M3		ISO 6978
Cos (en ppm)		
H2S (en ppm)		
Méthyle mercaptan (en ppm)		
Ethyle mercaptan (en ppm)		
DMS. (en ppm)		
Butadiène 1.3 (en ppm)		
Acétone (en ppm)		
Résidus (en ml)		ASTM D-2158
Oil Stain		ASTM D-2158
Moisture Content (ppmV)		Shaw Dew Point
Composition (ASTMD-2163-14)	% Mole	% Poids
C1	0.00	0.00
C2	0.02	0.01
C3	99.96	99.96
IC4	0.02	0.03
NC4	0.00	0.00
IC5	0.00	0.00
NC5	0.00	0.00
C6+	0.00	0.00

EXPEDITEUR
OBS: ANALYSES EFFECTUEES
SUR LA LIGNE DE CHARGEMENT
LORS DU CHARGEMENT

Complexe : GL3Z
 BP. 00 Béthioua - ORAN -
TEL. : (041) 00.00.00
 (041) 00.00.00
TELEX : TELEX1 Et TELEX2
FAX : 213.041.00.00/00

Pour SONATRACH

Nom:

Visa:

ANNEXE V

Qualité du Propane et celle du Butane dans les exigences commerciales

	Pourcentage molaire	
	Minimum	Maximum
Ethane		1,3
Propane	98,35	
Butane		0,35
Pentanes+		0

10.1.1.4. Qualité du Butane :

10.1.1.4.1 Valeurs garanties :

L'Entrepreneur garantit que la qualité du Butane produit par l'Ouvrage, déterminée dans le bac de stockage de Butane, doit répondre aux spécifications suivantes:

	Pourcentage molaire	
	Minimum	Maximum
Ethane		0,00
Propane		0,99
Butane	97,99	
Pentanes+		1,02