



جامعة مستغانم
FST

Department of Process Engineering

Ref :...../U.M/F.S.T/2025



UNIVERSITY
Abdelhakim Ben Bella
MOSTAGANEM

قسم هندسة الطرائق

رقم : / ج.م.ك.ع.ت//2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DEMASTER ACADEMIQUE

Filière : INDUSTRIES PÉTROCHIMIQUES

Option:GÉNIE PÉTROCHIMIQUE

THÈME

Analyse de la contamination du circuit de réfrigération au propane par l'éthane

Présenté par

Chiguer Cherif

Soutenu le 30/06/ 2025 devant le jury composé de :

Présidente :	Bendahma Fatima	Pr	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Mostefa Zohra	MCB	Université de Mostaganem
Encadrante :	Mehtougui Nabila	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2024/2025

Remerciement

Notre travail a été réalisé au niveau du complexe GL2/Z, ARZEW, Oran. Nous exprimons toute notre gratitude et notre profonde reconnaissance à notre encadrante Dr. Mehtougui Nabila, Maître de Conférence à l'université de Mostaganem. Nous sommes particulièrement honorées par la présence de Dr. Bendahma Fatima, Professeur à l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem qui a bien accepté de présider ce jury de mémoire. Nos vifs remerciements s'adressent au Dr. Mostefa Zohra, Maître de conférences à l'université de Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem pour avoir bien voulu faire partis du jury et d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Résumé

Ce mémoire étudie l'impact de la contamination du propane par l'éthane dans la boucle de réfrigération du complexe de liquéfaction de gaz naturel GL2/Z à Arzew. L'analyse a montré que cette contamination, provenant de fuites au niveau des échangeurs à plaques 151C et 160C, perturbe le fonctionnement du compresseur X01J, augmente la consommation de propane et engendre des pertes économiques et environnementales. La contamination a des effets significatifs sur : le rendement énergétique de la boucle, la durée de vie du compresseur et la production de propane commercialisable. Les résultats mettent en évidence l'importance de surveiller la qualité du propane réfrigérant et de maintenir les équipements en bon état pour préserver l'efficacité énergétique du procédé et limiter les pertes économiques. Des recommandations techniques ont été proposées pour prévenir ces incidents à l'avenir. Il est recommandé de traiter les problèmes de la boucle avec attention et cela dans l'objectif de faire exploiter le système dans un environnement sain et loin des différentes pertes engendrées au cas de pollution de la boucle.

Mots Clé :Contamination, Propane, Compresseur X01J

Abstract

This thesis investigates the impact of propane contamination by ethane in the refrigeration loop of the natural gas liquefaction complex GL2/Z in Arzew. The analysis revealed that this contamination, originating from leaks in plate heat exchangers 151C and 160C, disrupts the operation of compressor X01J, increases propane consumption, and leads to economic and environmental losses. The contamination significantly affects the energy efficiency of the loop, the compressor's lifespan, and the production of marketable propane. The results highlight the importance of monitoring the quality of the refrigerant propane and maintaining equipment in good condition to preserve the process's energy efficiency and minimize economic losses. Technical recommendations have been proposed to prevent such incidents in the future. It is recommended that issues related to the loop be addressed carefully, with the objective of operating the system in a healthy environment, free from the various losses caused by loop contamination.

Keywords: Contamination, propane, Compressor X01J

ملخص

تدرس هذه المذكرة تأثير تلوث البروبانباالإيثان في حلقة التبريد الخاصة بمركب تمييع الغاز الطبيعيهارزيو. ولقد اظهرت التحاليل ان هذا التلوث الناتج عن تسريبات عتي مستوى المبادلات الحرارية ذات الصفائح 151 ويزيد من استهلاك X01JGL2/Z البروبان. مما يؤدي الى خسائر اقتصادية و بيئية للتلوث آثار كبيرة على كفاءة الطاقة للحلقة، وعمر الضاغط، وإنتاج البروبان القابل للتسويق. وتُبرز النتائج أهمية مراقبة جودة البروبان المستخدم كمبرد والحفاظ على سلامة المعدات لضمان كفاءة العملية الطاقوية والحد من الخسائر الاقتصادية. كما تم اقتراح توصيات تقنية لتفادي مثل هذه الحوادث مستقبلاً. ويوصى بالتعامل مع مشاكل الحلقة بعناية بهدف تشغيل النظام في بيئة سليمة وخالية من الخسائر المختلفة التي قد تنجم عن تلوث الحلقة

الكلمات المفتاحية: الضاغطX01, البروبان, التلوث

SOMMAIRE

Introduction général.....	1
Problématique.....	2

Partie théorique

I : Description du complexe

I-Description générale du complexe GL2/Z.....	3
I-1 Zone de procédé	5
I-1-1 La Démercurisation	5
I-1-2 La Décarbonatation	5
I-1-3 La Déshydratation	6
I-1-4 La séparation	8
I-1-5 La liquéfaction.....	8
I-1-5-1 Le système de propane réfrigérant.....	9
I-1-5-2 Le système de réfrigérant mixte (MCR)	9
I-1-6 Le fractionnement	10
I-2 Zone Utilités.....	12
I-3 Zone terminal.....	13

II : Description de la boucle propane

II-1 Rôle de la section	15
II-2 Description	15
a) Réfrigérant propane 1ER niveau	15
b) Réfrigérant propane 2ème niveau.....	16
c) Réfrigérant propane 3ème niveau	16
d) Réfrigérant propane 4ème niveau	16
II-3 Rôle des équipements	17
II.4 Paramètres de fonctionnement :.....	20
II.4.1 La pression.....	20
II.4.2 Le niveau.....	21
II.4.3 Le débit	21
II.4.4 La température.....	21
II.5 Les paramètre marche	22

Partie Pratique

I : Identification et localisation du problème

I-1 Présentation du problème	24
I-2 Principe de fonctionnement de production de C3.....	24
I-3 Identification et localisation du problème.....	25
Interprétation des résultats.....	27

II: Recherche des causes

II-Introduction.....	29
II-1 Source probable de la contamination.....	29
II-2 Vérification des hypothèses	29
II-3 Interprétation des résultats.....	30
II-4 Suivi des échangeurs 151 C et 160 C.....	32
II-5 Interprétation des résultats.....	35
Conclusion général	37

Liste des tableaux

Tableau I.1 :Composition du MCR	9
Tableau I .2 Paramètres de marche du principal équipement de la boucle propane.....	22
Tableau I.3 : les quantités de propane produites en tonne métrique	26
Tableau II- 1 : Analyse des échantillons prélevés dans la boucle de propane.....	31
Tableau II.2 :Composition molaire des fluides C ₃ aux entrées et sorties 410 et 411 de l'échangeur 151C	32
Tableau II.3 : Composition molaire des fluides C ₃ aux entrées et sorties 423, 424,425 et de l'échangeur 160 C	32

Liste des figures

Figure 1 : Schéma simplifié de la boucle de propane	19
Figure I-1 : Schéma de principe de la boucle propane et de ses appoints	24
Figure I-2 : Schéma de principe des soutirages de C ₃ du depropaniseur.....	25
Figure I.3. Les quantités de propane produites par train en TM	27
Figure. II-1 Evolution de la teneur en C ₂ dans le propane produit et dans le C ₃ Réfrigérant durant le mois de juillet pour le train 100	30
Figure II.2 : Schéma simplifié de l'échangeur 151C	33
Figure II.3 : Schéma simplifié de l'échangeur 160C	34



Introduction Générale

Introduction

Le gaz naturel constitue une ressource énergétique stratégique en raison de ses importantes réserves, de sa propreté relative et de sa grande flexibilité d'utilisation. Ces caractéristiques en font un candidat sérieux pour jouer un rôle de premier plan dans la transition énergétique mondiale. De plus en plus de pays s'y intéressent, tant pour ses avantages économiques que pour ses performances environnementales.

Sur le plan technique, le gaz naturel se distingue par des propriétés avantageuses, notamment une plage d'inflammabilité relativement étroite, ce qui le rend à la fois efficace et sécuritaire dans de nombreuses applications. Il représente actuellement la deuxième source d'énergie la plus consommée à l'échelle mondiale, derrière le pétrole.

D'un point de vue environnemental, le gaz naturel présente un meilleur profil que les autres combustibles fossiles. Sa combustion génère des émissions négligeables de dioxyde de soufre (SO_2), et des quantités significativement réduites d'oxydes d'azote (NO_x) et de dioxyde de carbone (CO_2), par comparaison au charbon ou au pétrole. Une utilisation accrue de cette source énergétique permettrait de limiter plusieurs impacts environnementaux tels que les pluies acides, la destruction de la couche d'ozone et les émissions de gaz à effet de serre.

Pour en faciliter le transport sur de longues distances, notamment vers les pays importateurs d'énergie, le gaz naturel est converti à l'état liquide — on parle alors de Gaz Naturel Liquéfié (GNL). Ce processus implique une réduction drastique de volume : environ 600 Nm^3 de gaz naturel sont nécessaires pour produire 1 m^3 de GNL, soit un facteur de réduction volumique de 600.

La liquéfaction du gaz naturel repose sur l'utilisation de systèmes frigorifiques complexes. Parmi eux, la boucle de réfrigération au propane est couramment utilisée dans les procédés en cascade. Cette boucle assure le pré-refroidissement du gaz naturel et permet de rejeter la chaleur issue d'un cycle à réfrigérant multi-composants (MCR). Elle joue ainsi un rôle clé dans la séparation des constituants lourds du gaz et contribue à prévenir tout risque de blocage dans les étapes subséquentes de la chaîne de liquéfaction.

Problématique

L'objectif de cette étude vise à analyser l'impact de la contamination du propane, circulant dans la boucle de réfrigération, par l'éthane, sur les performances du composant clé de cette boucle : le compresseur X01J.

La présence d'éthane ne se limite pas à perturber le fonctionnement interne de la boucle ; elle peut également affecter la stabilité d'équipements critiques au sein du système de réfrigération. Une telle perturbation peut conduire à l'arrêt complet du train de liquéfaction concerné, avec des répercussions économiques significatives dues aux pertes de production.

Actuellement, la boucle de propane de l'unité GL2/Z est confrontée à une problématique opérationnelle notable : l'infiltration indésirable d'un hydrocarbure léger, l'éthane, dans le propane, modifiant ainsi les conditions de fonctionnement optimales du procédé de l'hydrocarbure léger (Ethane) qui diffuse dans le propane.

Cette présence est à l'origine de plusieurs perturbations, qui se manifestent par :


1-Déplacement des paramètres thermodynamiques qui peuvent occasionner des nuisances au niveau du compresseur X01J.

2-Elévation de pression dans l'accumulateur X01F.

3-La surconsommation au niveau de l'appoint en propane réfrigérant.

4-Pertes considérables des fluides frigorigènes (propane / éthane).

5-Impact négatif sur l'environnement suite à la combustion des fluides torchés.



I

Description du complexe

Le complexe GL2Z

Le complexe GL2Z est un site industriel de production de gaz naturel liquéfié (GNL) situé dans la zone industrielle d'Arzew dans le Nord-Ouest de l'Algérie.

Le complexe GL2/Z est le dernier complexe de liquéfaction en date, réalisé par la société américaine M.W. KELLOG

La construction de l'usine a débuté en 1977 et sa mise en production remonte à 1981.

Superficie : Le complexe GL2Z s'étend sur une superficie de 72 Hectares.

Objet : Traitement de 10,5 Milliards de m³ de Gaz naturel par an.

Capacité Contractuelle Installée de production :

- GNL : 17,8 Millions m³ / an
- Propane : 410 000 Tonnes / an
- Butane : 327 000 Tonnes / an
- Gazoline : 196 000 Tonnes / an

Capacité totale de stockage :

3 bacs aériens de stockage GNL : 100 000 m³ chacun
2 bacs de gazoline : 14 000 m³ chacun

Description et fonctionnement [1]

Parmi les unités de liquéfaction, le complexe GL2/Z est le plus récent. Il a été construit sur la base d'une technologie performante. Il est composé de six (06) trains de liquéfaction qui travaillent en parallèle mais reliés entre eux par des lignes de transfert. Le Gaz Naturel d'alimentation de chaque train est réalisé par des réseaux de canalisations.

L'usine est composée de trois zones :

- Une zone de procédé.
- Une zone d'utilités.
- Une zone pour le stockage et le chargement.

Le procédé A.P.C.I (Air Product and Chemicals-Incorporation) utilisé dans le complexe GL2/Z fonctionne avec deux fluides frigorigènes, le propane et le MCR (multi component réfrigérant).

La liquéfaction du Gaz Naturel nécessite quatre étapes essentielles qui seront décrites plus loin et utilise deux systèmes de réfrigérants (le propane et le réfrigérant mixte MCR).

I-1 Zone de procédé (Annexe A0)

Cette zone est composée essentiellement de six (06) trains de liquéfaction identiques. Chaque train dispose d'une section de :

- Démercurisation
- Une section de traitement pour la décarbonatation et la déshydratation du gaz naturel
- Une section de liquéfaction
- Une section de fractionnement

I-1-1 La Démercurisation

Réalisée par adsorption moléculaire. Un lit de tamis moléculaire recouvert de sulfate de cuivre (CuSO_4) est contenu dans le ballondémercuriseur 142 D. Le diamètre des billes est de 5 mm. Ce lit est maintenu par une couche de billes d'alumine (diamètre 20 mm) posée sur une grille métallique.

Le gaz traverse le lit de haut en bas. La capacité d'adsorption et la faible quantité de mercure contenue dans le GN (moins de $1\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) permettent un temps de fonctionnement relativement long et évite une régénération. Il est toutefois prévu un séchage du tamis par gaz chaud par une installation démontable.

Celui-ci peut en effet se charger d'humidité lors du remplissage ou pendant un arrêt prolongé (maximum de mercure dans le GN $100\mu\text{g}/\text{Nm}^3$).

I-1-2 La Décarbonatation(Annexe A1)

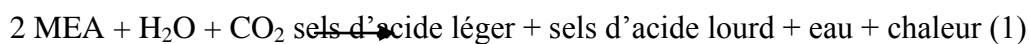
Elle est basée sur le phénomène d'absorption (réaction chimique). Dans ce cas, nous aurons une réaction de neutralisation :

Acide + base = sel + eau + chaleur

Une solution aqueuse de monoéthanolamine (MEA) entre 15 et 20 % est mise en contact dans une colonne à plateaux avec le gaz riche en CO_2 .

La solution entrant par le haut et le gaz par le bas, le contact se fera à contre-courant.

La réaction 1 sera du type :



Sa température d'amorçage est de 38 °C.

✓ Régénération de la MEA

La solution MEA pauvre en CO₂ sort de l'absorbeur riche en CO₂ et doit être régénérée pour être utilisée de nouveau. Cette opération s'effectue dans la colonne de régénération X32E.

Le MEA riche est d'abord détendu dans un ballon X37F pour séparer les hydrocarbures éventuellement dissous puis chauffé jusqu'à 102°C par échange thermique avec le MEA pauvre (régénéré) successivement dans quatre échangeurs X33C1/C2/C3/C4.

Le MEA riche est alors introduit en tête de la colonne de régénération fonctionnant à 110°C et 01 bar en fond de colonne. La solution descend dans la colonne pour y être épurée par les gaz ascendants provenant de l'évaporation du produit de fond grâce à un rebouilleur X34C utilisant de la vapeur 4.5 bars.

Les vapeurs de tête de colonne sont condensées dans un échangeur à eau de mer X35C, puis débarrassées du CO₂ dans le ballon X33F et sont réinjectées dans la colonne comme reflux au moyen des pompes de reflux X32J/JA.

Le MEA pauvre en CO₂ sort par le fond de colonne passe dans les échangeurs X33C1/C2/C3/C4 puis dans un autre échangeur à eau de mer X32C pour être refroidi à 38 °C et sera refoulé vers la colonne d'absorption au moyen des pompes X31J/JA (une partie de cette solution MEA pauvre est filtrée dans un filtre à charbon X32F en continu).

L'étape de régénération comporte également un vaporisateur X36C utilisant de la vapeur à 17 bars pour épurer en continu une partie du MEA pauvre, à la sortie du Régénérateur X32E, des résidus décomposés.

Le circuit MEA comporte également un réservoir X35F pour stockage, muni d'une pompe X33J pour le refoulement et un puisard X34F pour la préparation et les appoints de MEA dans le circuit.

I-1-3 La Déshydratation (Annexe A2)

1) Déshydratation

En sortant de l'Absorbeur, le GN se trouve saturé en eau et doit subir une déshydratation pour réduire sa teneur en humidité inférieure à 1 ppm. Pour ce faire, il entre dans un échangeur à propane X41C et en sort à une température d'environ 21°C pour condenser le

maximum d'humidité et éviter la formation d'hydrates dont la présence perturberait les sections suivantes dans le procédé. Il entre ensuite dans un ballon séparateur X41F où l'eau partiellement condensée est séparée puis évacuée par le fond du ballon.

- **Adsorption de l'eau**

Le GN entre par le haut dans les Sécheurs à gaz X41DA/DB/DC (deux en service et le troisième étant en régénération) et descend le long de ces sécheurs à travers des lits d'alumine et des tamis moléculaires superposés qui fixent les molécules d'eau par adsorption. A la sortie, le GN passe dans un filtre X41LA/LB/LC (un filtre par sécheur) pour retenir les poussières entraînées et passe vers la section suivante du processus de liquéfaction.

- **Régénération des sécheurs**

A tour de rôle et après un temps de service de 16 heures, chaque sécheur subit une régénération pour éliminer l'eau par désorption suivant un cycle de 08 heures. Ce cycle comprend trois phases :

Régénération chaude, régénération froide et attente.

- ✓ **Régénération chaude (03h30)**

Une proportion d'environ 10 % du GNT (Gaz Naturel Traité) prélevée en aval des sécheurs en service, est chauffée à 288°C dans un échangeur thermique X44C par le GNT de régénération quittant le sécheur en régénération chaude puis dans deux échangeurs X42C1/C2 par de la vapeur 62 bars. Ensuite, ce GNT chauffé entre dans le sécheur par le bas et entraîne l'humidité dans son mouvement ascendant. Il passe dans l'échangeur X44C pour être refroidi puis dans un aérateur X43C pour condenser cette humidité qui sera éliminée dans un ballon de séparation X42F.

Le GN sortant, sera aspiré par un Moto-Compresseur de régénération X41J et refoulé à l'entrée de l'échangeur à propane X41C au début de la déshydratation.

- ✓ **Régénération froide (02h30)**

Durant cette phase, le GNT emprunte le même circuit de régénération, sauf que les échangeurs X44C et X42C1/C2 sont by-passés (coté calandre) et refroidit graduellement le sécheur ainsi que l'échangeur X44C.

✓ Attente (02h00)

Le sécheur ainsi régénéré reste isolé du circuit en attendant l'entrée du sécheur suivant en phase de régénération.

✓ Remarque

Les cycles sont gérés par des minuteries de façon à avoir toujours deux sécheurs en service et un sécheur en régénération

I-1-4 La séparation(Annexe A3)

Le mélange condensats lourds/gaz venant des pré-refroidisseurs au propane, passe dans un échangeur d'alimentation où par échange avec les vapeurs de tête de la colonne de séparation appelée tour de lavage est refroidi à -47°C à 39 bars. Ce mélange est injecté au niveau du 10^{ème} plateau de la tour de lavage, les produits lourds seront séparés par distillation.

Le liquide de fond est envoyé vers le fractionnement. Les vapeurs de tête se réchaufferont, dans l'échangeur d'alimentation et passent dans le faisceau chaud de l'échangeur principal qui constitue « le condenseur de tête » de la tour de lavage. Elles seront refroidies et condensées partiellement par le MCR. Sa partie liquide riche en méthane est recueillie dans le ballon de reflux, sera acheminé vers le faisceau central de l'échangeur principal pour être liquéfié.

I-1-5 La liquéfaction

La liquéfaction d'un gaz n'est possible que si le gaz est refroidi à une température inférieure à son point de rosée, Cette température est fonction de la pression.

Pour un mélange gazeux tel que le Gaz Naturel, la condensation se fait dans un intervalle de température comprise entre le point de rosée et le point de bulle.

Le Gaz Naturel traité riche en constituants légers à -33°C et 37 bars absolus, pénètre dans le faisceau central dans lequel il circule de bas en haut.

La liquéfaction dans le faisceau central se fait en deux temps :

Le gaz est réfrigéré à -110°C par échange thermique avec le faisceau MCR liquide et vapeur, puis le gaz partiellement condensé sera liquéfié complètement par le MCR vapeur condensé.

Le GNL sortant en tête de l'échangeur principal sous forme de liquide à 24,3 bars absolus et -148°C passe dans l'échangeur de rejet et se combine à sa sortie avec la réinjection du propane et de l'éthane venant du fractionnement.

Ce mélange à -151°C sera détendu à 4,8 bars par flash dans le ballon de gaz combustible Haute Pression. Ce flash a pour effet de libérer l'azote et l'hélium dissous dans la phase liquide du GNL.

Ce liquide sera refroidi -156°C avant de pénétrer en tête de la colonne du déazoteur par échange avec le liquide de fond.

La phase liquide GNL est récupérée au fond du déazoteur et elle sera acheminée par des pompes vers les bacs de stockage à -162°C . Les vapeurs de tête passent dans l'échangeur de rejet où elles se réchauffent au contact du MCR du GNL des réinjections d'éthane et de propane et du gaz combustible venant de tête du ballon flash et déchargent dans le circuit fuel gaz.

I-1-5-1 Le système de propane réfrigérant(Annexe A4)

Le circuit propane, qui assure la réfrigération des divers fluides du procédé, est une boucle fermée à quatre niveaux de pression et de température.

Le propane gazeux à 1,31 bars absolu et 35°C est comprimé par un compresseur à quatre étages d'aspiration. Le cycle comprend quatre niveaux de détentes produisant un fluide frigorigène à quatre niveaux de température et de pression ($5,19\text{bars}/3,2^{\circ}\text{C}$, $3,25\text{bars}/-11,7^{\circ}\text{C}$, $2,27\text{bars}/-22^{\circ}\text{C}$, $1,31\text{bars}/-35^{\circ}\text{C}$).

L'appoint en propane du système est assuré par le propane soutiré du dépropaniseur.

I-1-5-2 Le système de réfrigérant mixte (MCR) (Annexe A5)

Le réfrigérant mixte ou MCR est un mélange d'azote de méthane, éthane et de propane. Ce mélange frigorigène circule dans une boucle fermée.

La composition du MCR est donnée dans le tableau 1.

Tableau I.1 :Composition du MCR

	La composition			
	azote	méthane	éthane	propane
% mole	3,2	40,2	54,4	2,2

Ce mélange sert à liquéfier le Gaz Naturel traité dans le faisceau central froid de l'échangeur principal et à condenser les vapeurs de tête de la tour de lavage dans le faisceau chaud.

Le MCR vapeur à 1,9 bars et -35°C est aspiré de la calandre de l'échangeur principal et comprimé par un premier compresseur à 12,3 bars, et refroidi à $32,2^{\circ}\text{C}$. Il est de nouveau

comprimé dans un deuxième compresseur à 44,7 bars et refroidi à 32,2°C. Il est ensuite sous refroidi à – 35 °C dans les échangeurs de propane à quatre niveaux appelés CHILLERS.

Ce refroidissement a pour effet de condenser les constituants lourds du réfrigérant mixte MCR (éthane, propane). Les deux phases sont ensuite séparées dans un ballon séparateur. Les vapeurs et le liquide traversent l'échangeur principal pour assurer la condensation et la liquéfaction du Gaz Naturel sous l'effet de leurs détente successives.

I-1-6 Le fractionnement (Annexe A6)

Au niveau de cette section, la charge lourde issue de la tour de lavage sera traitée dans trois colonnes de distillation pour en extraire successivement l'éthane, le propane, le butane et la gazoline.

• Séparation de l'Ethane

Cette séparation s'effectue dans une colonne de distillation X51E (Déthaniseur) fonctionnant à 29.9 bars et une température de 105°C en fond de colonne. Cette colonne possède les équipements propres à une colonne de distillation, à savoir :

- ✓ Un rebouilleur de fond X52C réchauffé par la vapeur 4.5 bars.
- ✓ Un condenseur de tête X51C qui est du type échangeur à plaques avec trois passes :
 - Une passe pour le fluide chaud, c'est à dire les vapeurs de tête de la colonne (éthane).
 - Deux passes pour les fluides réfrigérants qui sont le propane correspondant aux deux ballons d'aspiration du Compresseur propane X03F & X04F (boucle propane).
- ✓ Un ballon de reflux X52F dont l'éthane incondensé est utilisé dans le gaz combustible pour les chaudières.
- ✓ Deux pompes de reflux X51J/JA qui refoulent vers :
 - La Colonne X51E pour assurer le reflux.
 - La sortie de la passe éthane de réinjection de l'Echangeur Multi-passes X60 C.
- ✓ Le sous refroidisseur propane X59C.
- ✓ L'Ethane de sous tirage de la colonne est destiné à servir :
 - Comme réinjection dans le GNL (en cas de besoin) en passant d'abord par l'échangeur X60C ;

- Comme appoint pour le MCR vers le 1^{er} Ballon d'aspiration X06F du 1^{er} Compresseur MCR X02J (boucle MCR) ;
- Comme produit du gaz combustible des chaudières en passant d'abord par le sous refroidisseur propane X59C.
- Le soutirage de fond de colonne sert comme charge pour la séparation du propane.

• Séparation du propane

Cette séparation s'effectue dans une colonne de distillation X52E (Dépropaniseur) fonctionnant à 18 bars et une température de 122 °C en fond de colonne. Cette colonne possède aussi les équipements propres à une colonne de distillation, à savoir :

- ✓ Un rebouilleur de fond X54C réchauffé par la vapeur 4.5 bars.
- ✓ Un condenseur de tête X53C qui est un échangeur tubulaire à eau de mer.
- ✓ Un ballon de reflux X53F.
- ✓ Deux pompes de reflux X52J/JA qui refoulent vers :
 - La Colonne X52E pour assurer le reflux.
 - La passe propane de l'Echangeur Multi-passes X60C.
- ✓ Le Propane de soutirage de la colonne passe dans l'échangeur X60C pour être expédié vers le Complexes GP1Z en passant par le sous refroidisseur propane X59C.
- ✓ Injecté dans le GNL (en cas de besoin) en passant par l'échangeur X17C un autre soutirage du propane de la colonne assure l'appoint pour la boucle propane au niveau de l'accumulateur X01F.
- ✓ A la sortie des vapeurs de tête, des piquages peuvent servir :
 - D'appoint pour le MCR vers le 1er Ballon d'aspiration X06F
 - De produit pour le gaz combustible des chaudières.
- ✓ Le soutirage de fond de colonne sert comme charge pour la séparation du butane et de la gazoline.

• Séparation du butane et gazoline

Cette séparation s'effectue aussi dans une colonne de distillation X53E (Débutaniseur) fonctionnant à 4.9 bars et une température de 114°C en fond de colonne. Cette colonne possède aussi les équipements propres à une colonne de distillation, à savoir :

- ✓ Un rebouilleur de fond X56C réchauffé par la vapeur 4.5 bars.
- ✓ Un condenseur de tête X55C qui est un échangeur tubulaire à eau de mer.

- ✓ Un ballon de reflux X54F.
- ✓ Deux pompes de reflux X53J/JA qui refoulent vers :
 - La Colonne X53E pour assurer le taux de reflux .
 - La passe butane de l'Echangeur Multi-passes X60C pour être refroidi et expédié vers le Complexe GP1Z au moyen des pompes X56J/JA.
- ✓ A la sortie des vapeurs de tête, un piquage peut fournir le produit au gaz combustibles des chaudières.

Le soutirage de fond de colonne, constituant la gazoline, sera refroidi dans un échangeur X62C, à eau de mer, et dirigé vers le stockage.

I-2 Zone Utilités

Cette zone est essentiellement autonome et assure la fourniture de toutes les utilités pendant le démarrage et la mise en marche des six (06) trains de liquéfaction, et de toutes les installations de production.

Elle consiste principalement à la production et la fourniture de ce qui suit :

1. **Energie électrique** : Elle est fournie en grande partie par trois (03) turbo-générateurs d'une capacité de 20 MW chacun et un réseau Sonelgaz de 20 MW, soit un total de 80 MW.
2. **Vapeur** : Elle est fournie par un ensemble de chaudières de différents tonnages répartis comme suit :
 - Trois (03) chaudières HP (Haute Pression) de 90 T /H chacune au niveau des utilités ;
 - Une (01) chaudière BP (Basse Pression) de 58 T/H au niveau des utilités
 - Neuf (09) chaudières HP de 136 T/H
 - Six (06) chaudières HP de 400 T/H chacune au niveau de la zone de procédé.
3. **Eau dessalée** : Elle est fournie par cinq (05) unités de dessalement produisant chacune 45 T/H et utilisée comme eau d'appoint pour les chaudières.
4. **Air** : Il est fourni par quatre (04) compresseurs d'air permettant la production de l'air instrument servant pour toutes les installations de productions et de l'air service pour les autres besoins du complexe.

5. **Eau de refroidissement:** Elle est fournie par six (06) pompes d'eau de mer d'une capacité de 37 000 m³/h chacune.

I-3 Zone terminal

- **Stockage et chargement du GNL/gazoline**

Le GNL est stocké à -162°C dans 3 bacs d'une capacité unitaire de 100 000 m³ chacun. Le chargement du produit est assuré au niveau de 2 quais de chargement pouvant recevoir des méthaniers d'une capacité de 40 000 à 145 000 m³ GNL.

Le stockage de la gazoline produite est assuré par deux (02) bacs de 14.500 m³ chacun.

- **Installation d'Expédition et de Chargement**

Elles sont composées de :

1. Cinq (05) pompes de chargement d'une capacité unitaire de 2500 m³/h
2. Une (01) pompe de transfert d'une capacité de 2500m³/h
3. Deux (02) pompes de refroidissement d'une capacité unitaire de 60m³/h
4. Deux (02) quais de chargement composés chacun de cinq (05) bras de chargement dont un est destiné au retour de la vapeur en provenance des navires. Chacun des deux (02) quais est conçu pour réceptionner des méthaniers d'une capacité située entre 50 000 et 130. 000 m³ de GNL.

La production du Propane (410.000 tonnes/an) et du Butane (327.000 tonnes/an) est acheminée par canalisation vers le complexe GP1Z.

Pour des raisons de flexibilité maximale, les installations de productions, de stockage et de chargement de GNL des complexes GL1Z □ GL2/Z sont interconnectées.



II

Description de la boucle propane

II. LA BOUCLE PROPANE

Introduction

La boucle de réfrigération au propane est utilisée dans les procédés de liquéfaction du gaz naturel comme une partie d'un cycle de réfrigération en cascade visant à éliminer la chaleur d'un cycle de Réfrigérant multi composant qu'est le MCR, et à pré refroidir le gaz naturel avant l'étape de la Liquéfaction.

II-1 ROLE DE LA SECTION

Le système propane est une boucle de réfrigération à 04 niveaux de pressions et de températures qui permet une approche précise de la température du gaz d'alimentation et du MCR, d'où son efficacité dans les procédés de liquéfaction.

La puissance frigorifique de cette boucle est utilisée à 75% dans les chillers MCR, à 15% dans les chillers GN et à 10% pour les diverses utilisations.

II-2 DESCRIPTION[2]

La boucle de réfrigération au propane se compose de 04 niveaux de pressions et de températures. Les vapeurs de propane, après compression dans le compresseur 101J sont surchauffées et condensées dans les refroidisseurs 102 CA et CB à contre courant par l'eau de mer (voir schéma 1).

Le propane sera dirigé ensuite vers l'accumulateur 101F qui alimentera les circuits et les équipements suivants :

141C / 102F / 103C / 112C / 160C / 157 CA / CB.

Les vapeurs de propane, générées dans les échangeurs cités, retourneront vers le 101J en passant par les ballons d'aspiration, seront comprimées et le cycle se renouvellera.

L'appoint de propane pour cette boucle fermée est assuré par le dépropaniseur 152E.

a) REFRIGERANT PROPANE 1^{er} NIVEAU :

Une partie du propane liquide du 101F est envoyée directement dans le ballon d'aspiration 102F par la LV 303 après détente. Le C₃ liquide du 101 F alimente également les échangeurs ci-dessous, et les vapeurs générées seront dirigées au ballon d'aspiration 102F.

- Refroidisseur de gaz d'alimentation 141 C

- Refroidisseur du gaz d'alimentation 103C: Il refroidit le GN selon le même principe que le 141C jusqu'à +5°C.
- Refroidisseur du réfrigérant mixte où MCR 112C : Il refroidit le MCR à 9°C.
- Sous refroidisseur butane 160 C
- Réchauffeurs de gaz combustible 157 CA / CB

b) REFRIGERANT PROPANE 2^{ème} NIVEAU :

Une partie du C₃ liquide venant du 102F passe après détente par la LV 304 dans le ballon 103F (3,25 bars ; -10°C). Ce ballon (102 F) alimente les équipements ci-dessous :

- Refroidisseur de gaz d'alimentation 104C : Il permet de refroidir le GN à - 11,7°C
- Refroidisseur de MCR 113C: Il refroidit le réfrigérant mixte également à - 11,7°C

c) REFRIGERANT PROPANE 3^{ème} NIVEAU :

Le C₃ liquide venant du 103F passe après détente par la LV 305 dans le ballon 104F (2,27 bars ; -22°C) . Ce ballon (103 F) alimente les équipements ci-dessous :

- Refroidisseur de gaz d'alimentation 105C
- Refroidisseur de MCR 114 C
- Condenseur de tête 151 C du déthaniseur
- Sous refroidisseur de butane 160C

Les vapeurs produites dans ces échangeurs sont collectées dans le ballon 104F et envoyées vers le 2^{ème} étage du compresseur 101J.

d) REFRIGERANT PROPANE 4^{ème} NIVEAU :

Le propane liquide venant du ballon 104F passe après détente par la LV 306 dans le ballon 105F (1,31 bar ; - 35°C).

Ce ballon (104 F) alimente les équipements ci-dessous :

- Refroidisseur de gaz d'alimentation 106C
- Refroidisseur de MCR 115C
- Refroidisseur de tête 151C
- Sous refroidisseur de butane 160C

Les vapeurs venant de ces échangeurs seront collectées dans le ballon 105F et seront aspirées par le 101J.

II-3 ROLE DES EQUIPEMENTS

101 J:

C'est un compresseur qui a pour fonction de faire passer le fluide d'une pression inférieure à une pression supérieure. C'est également un compresseur multicellulaire (5 étages) à multi-étage d'aspiration (04).

102 CA/CB :

Ces condenseurs maintiennent en permanence un niveau de propane pour éviter le passage des vapeurs de propane vers l'accumulateur 101F.

Pour une efficacité maximale, le niveau doit être maintenu au plus bas dans les 102 CA/CB.

101 F :

C'est un ballon accumulateur qui sert à stocker le propane liquide. Il constitue une réserve pour la boucle et il alimente certains échangeurs.

141C :

C'est un refroidisseur de gaz d'alimentation qui permet de refroidir le GN à la sortie du 131E pour éliminer une partie de l'humidité contenue dans le GN. La pression propane dans cet échangeur est contrôlée par le PIC 210 de façon à avoir une température de GN située entre 18 et 24°C et ce afin d'éviter la formation d'hydrates et l'évaporation de l'eau dans le GN.

103 à 106C :

Ces refroidisseurs de gaz d'alimentation permettent de refroidir le GN.

112 à 115C :

Ces refroidisseurs permettent de refroidir le MCR.

151 C :

Condenseur de tête du déthaniseur qui permet de condenser les vapeurs de tête du 151E. C'est un échangeur à plaques.

157 CA/CB :

Réchauffeurs de gaz combustible à environ 20°C (vapeurs issues du fractionnement).

160 C :

Ce sous refroidisseur de butane refroidit l'éthane et le propane, et sous refroidit le butane. C'est un échangeur à plaques.

102 à 105 F :

Ces ballons d'aspiration permettent la séparation du propane pour protéger le compresseur contre l'aspiration de liquide. Ils refroidissent les vapeurs de propane quand le compresseur est en recyclage et assurent aussi une réserve de C₃ liquide pour l'alimentation des refroidisseurs et des circuits annexes.

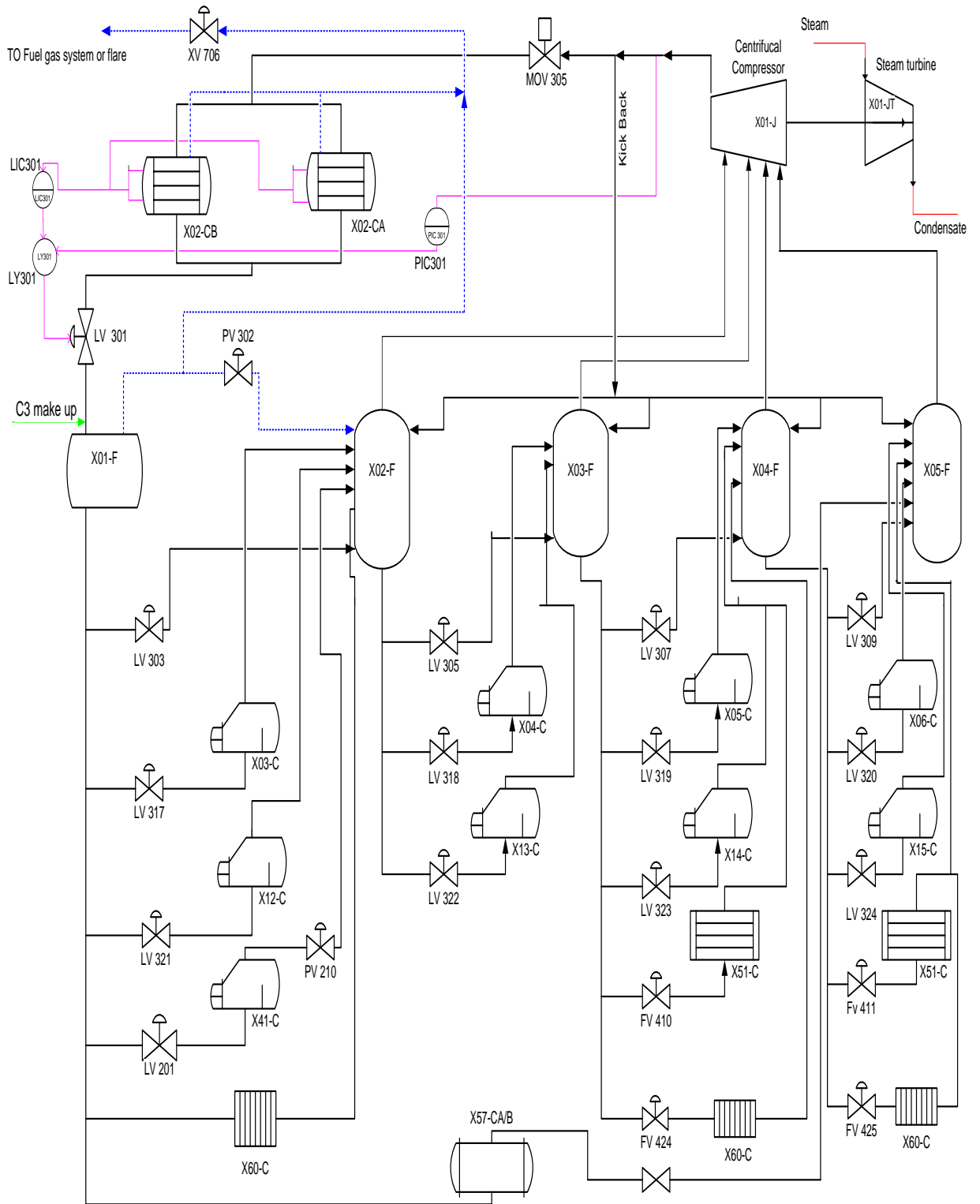


Schéma 1 : Schéma simplifié de la boucle de propane

II.4 Paramètres de fonctionnement :

Les principaux paramètres de fonctionnement qui gouvernent le système de réfrigération au propane sont : la pression, le niveau et la température.

II.4.1 La pression :

La pression est contrôlée et régulée à plusieurs niveaux qui sont décrits ci-après :

a) la pression de refoulement du 101-j doit être maintenue à un niveau tel que le propane gazeux puisse se condenser à contre-courant de l'eau de refroidissement dans les condenseurs de propane 102 CA/CB. Dans les conditions de marche normales, la pression est d'environ 12,9 bars. Du fait que la totalité du gaz se condense, le compresseur fonctionne pratiquement sous une pression de refoulement constante. La pression de refoulement peut varier si l'on modifie la vitesse de la machine.

b) la pression dans le 101-F est réglée par le PIC-302 agissant sur PV-302. Cette action intervient lorsque la pression varie entre 10,3 bars eff, et 11,6 bars eff, en fonction de la quantité de vapeur que l'on désire produire dans 101 F. Par exemple, une augmentation de la charge calorifique du gaz d'alimentation provoque une augmentation du taux de vaporisation à la sortie de 103C. Une baisse de niveau de liquide dans le refroidisseur est compensée par une augmentation du débit entre 101F et le 103 C. Le rendement du condenseur 102-CA/CB doit augmenter pour satisfaire la quantité de liquide nécessaire au maintien du niveau dans 101 F. En diminuant la pression dans 101-F, on abaisse la température de condensation du propane, ce qui permet au 102-CA/CB d'augmenter son rendement.

c) La pression du propane à la sortie du 141-C est réglée par le PIC-210 agissant sur PV-210, de façon à ce que le point d'ébullition du propane ne soit pas inférieur à 18,3°C. Cette pression est normalement fixée à 7 bars eff, afin d'éviter la formation d'hydrates dans le gaz d'alimentation.

II.4.2 Le niveau :

Des régulateurs de niveau de liquide sont utilisés de façon généralisée dans l'ensemble du système de réfrigération. Ils remplissent deux fonctions principales, à savoir :

a)- Fournir à l'opérateur les moyens de faire varier la surface disponible de condensation ou de vaporisation des fluides dans l'équipement d'échange de chaleur. Par exemple, le niveau de liquide dans 102-CA/CB est fixé par LIC-301 qui actionne LV-301. En fixant le niveau à un point donné, la surface apparente de condensation du propane reste inchangé. La modification du point de consigne de LIC-301 change le niveau du liquide dans 102-CA/CB, ce qui change aussi la surface utile de condensation du propane gazeux.

B)- Maintenir le niveau liquide dans les ballons d'aspiration du 101-J. Par exemple, le niveau du liquide dans 102-F est réglé par LIC-303 qui actionne LV-303. Il est important de maintenir un certain niveau de liquide dans ces ballons parce qu'un joint hydraulique est prévu dans le fond de chacun des quatre ballons d'aspiration. Il a pour but :

- De maintenir l'étanchéité entre les quatre ballons (la pression des ballons étant différente).
- De maintenir une température constante dans chaque ballon et par conséquent à chaque aspiration du compresseur (la pression étant maintenue constante par le gaz de recyclage).
- De ramener par barbotage la température du gaz de recyclage injecté à la température du liquide.

II.4.3 Le débit :

Il est important de maintenir un débit d'admission minimum à l'aspiration de chaque étage de 101-J, de manière à maintenir un débit équilibré sur chacune des roues du compresseur. Pouvant subir des effets de pompage. Il convient de les protéger individuellement.

II.4.4 La température :


Des indicateurs de température sont utilisés dans les systèmes de réfrigération pour surveiller la régulation du procédé. La température n'est pas généralement utilisée comme une variable principale pour contrôler le procédé. Par exemple, les circuits anti-pompage se basent sur les températures enregistrées sur la ligne d'aspiration du compresseur pour calculer la valeur corrigée du débit réel du compresseur.

Il est important que la température du gaz quittant les ballons d'aspiration ne dépasse pas les limites de température de la machine, pour rester également dans les limites de la température de refoulement de 101-J. Pendant le démarrage et d'autres conditions de service normales, il est nécessaire d'utiliser les lignes de trempe pour refroidir le courant de recyclage qui alimente le compresseur coté aspiration. Cette opération peut se faire manuellement en actionnant les vannes de trempe raccordant 101-F au ballon d'aspiration correspondant et en réglant la température sur l'indicateur de température local.

II.5 Les paramètres de marche :

Tableau II .1 Paramètres de marche du principal équipement de la boucle propane

Equipements	Pression (bar)	Température (°C)	Niveau	Débit (Kg/h)
101J	12.79 b	52 .6°C	-	-
101F	12.55 b	36.7°C	60%	-
102F	5.19 b	3.2°C	12 %	323 500
103F	3.25 b	-11.7 °C	12 %	172 910
104F	2.27 b	-22.0°C	12 %	135 930
105F	1.31 b	-34.3° C	12 %	127 740



I

Identification et localisation du problème

I-1 Présentation du problème

Cette étude passe nécessairement par des investigations sur la qualité du fluide réfrigérant, consistant en une campagne d'analyses chromatographiques aussi bien du propane produit que du propane réfrigérant. En effet comme l'indique le schéma de principe ci-dessous (fig.I.1), l'origine de la contamination peut provenir de la boucle propane elle-même, comme elle peut être due à la qualité de l'appoint de propane issu de la section fractionnement.

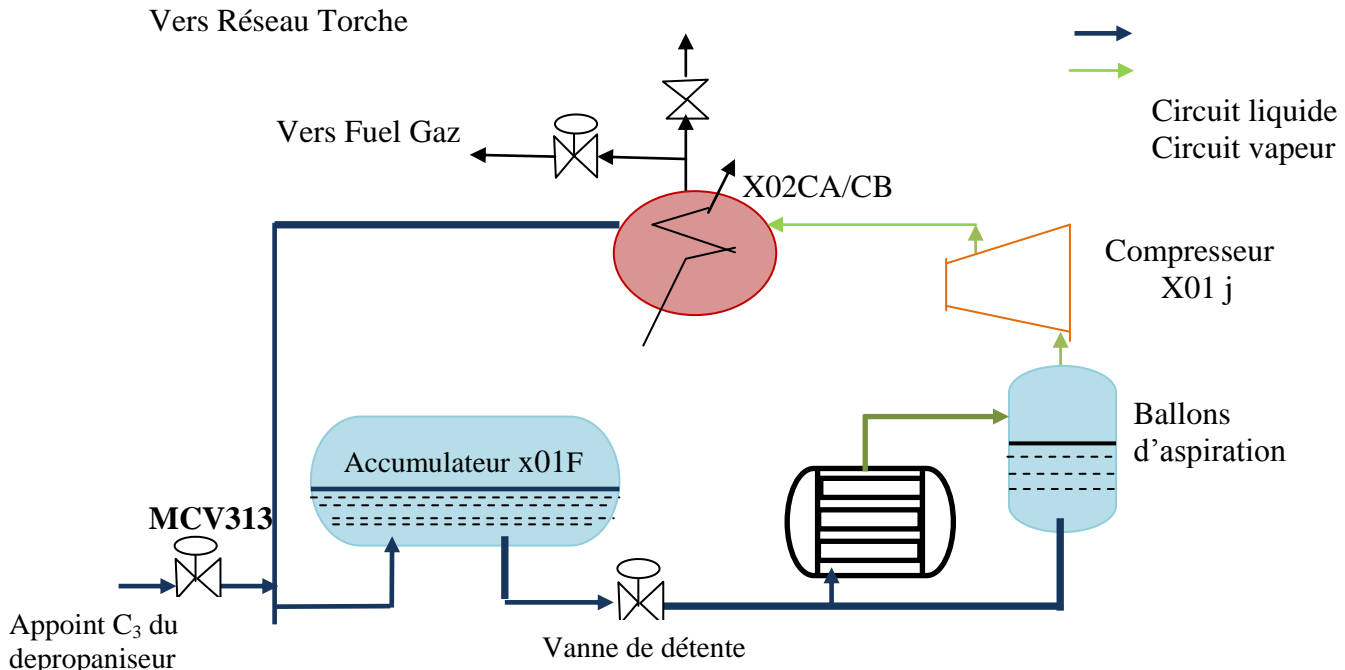


Figure I-1 : Schéma de principe de la boucle propane et de ses appoints

A cet effet l'objectif de notre travail consistera en premier lieu à localiser le train défectueux, identifier sa source de contamination pour en suite estimer l'influence de ce problème sur les paramètres de fonctionnement de la boucle de propane et proposer des solutions pour y remédier.

I-2 Principe de fonctionnement de production de C₃[3]

Il est important de comprendre comment la production de C₃ au niveau du dépropaniseur est répartie entre les différentes destinations, afin de mieux se rendre compte de la surconsommation au niveau de la boucle et, donc des déficits du point de vue consommation (Fig. I-2).

La figure ci-dessus montre que la plus grande partie du propane de qualité commerciale est soutirée sous forme liquide au niveau du 12^{ème} plateau du dépropaniseur, tandis que le propane liquide de plus grande pureté est soutiré au niveau du 8^{ème} plateau. Ensuite on

procède au mélange de ces deux courants latéraux pour obtenir du propane de qualité commerciale.

Le propane de grande pureté constitue l'appoint de propane utilisé dans la boucle de propane frigorigène. Le propane de qualité commerciale est refroidi successivement à $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ dans le sous refroidisseur de butane X60C, puis jusqu'à $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ dans le sous refroidisseur de propane X59C avant d'être envoyé, soit vers le collecteur de transfert de propane, soit vers le stockage à l'aide d'un commutateur, sous contrôle de la vanne de régulation FICV 437.

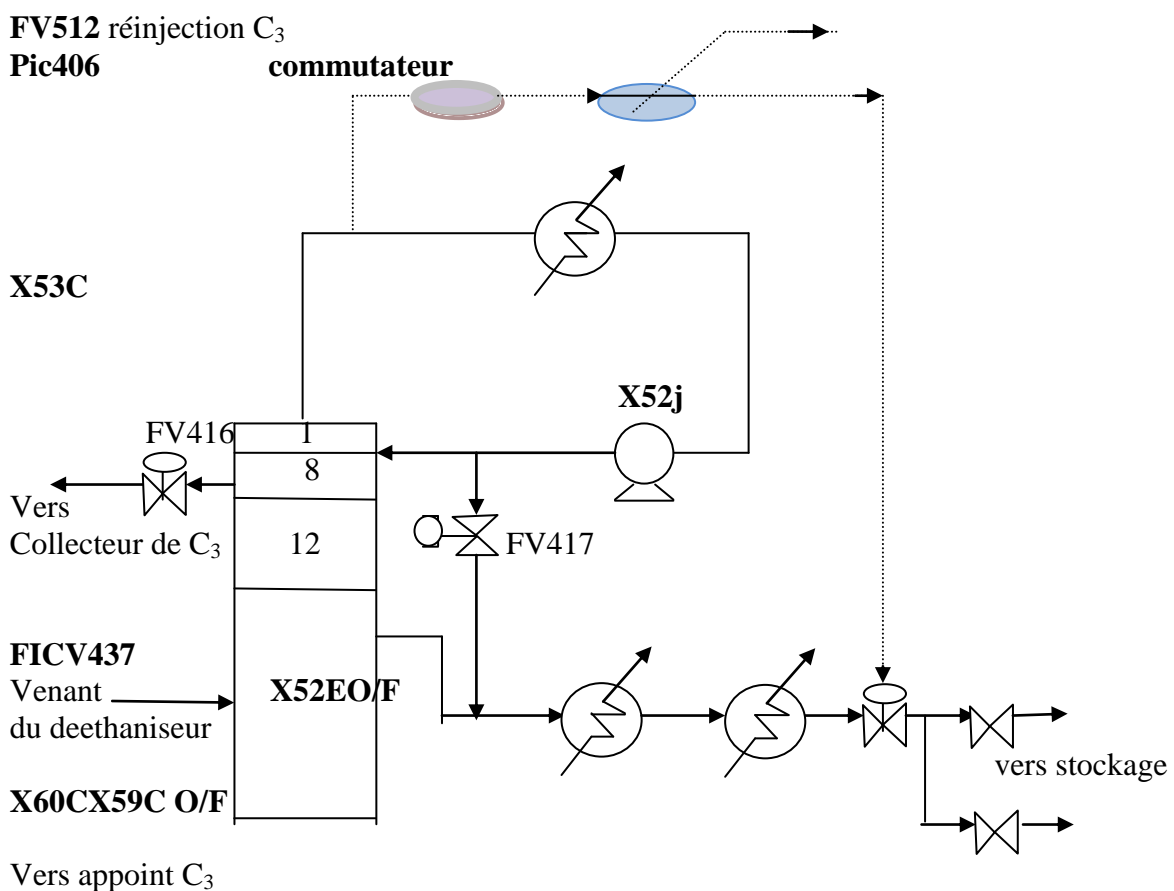


Figure I-2 : Schéma de principe des soutirages de C_3 du depropaniseur

I-3 Identification et localisation du problème

Dans le complexe GL2/Z, il y a 6 trains de production. Le dépropaniseur de chaque train produit du propane de qualité commerciale pour être acheminé en grande partie vers le complexe GP1/Z et une autre partie sert comme appoint dans la boucle de propane.

Pour mener à bien notre étude sur la contamination de la boucle propane par l'éthane, nous avons focalisé notre recherche spécifiquement sur le train pour lequel la contamination est la plus significative.

On voit d'après le **tableau I.1**, les quantités de propane produites en tonne métrique pendant six mois : du 01/01/2025 au 01/06/2025.

Tableau I.1 : les quantités de propane produites en tonne métrique

Train Mois	Train 100	Train 200	Train 300	Train 400	Train 500	Train 600
Jan-2025	2552	2574	2761	3157	3508	4197
Fév.-2025	3253	2640	2699	2954	2799	4300
Mars-2025	2989	2552	2788	2753	2877	4297
Avril-2025	2674	3086	2308	2230	2764	4303
Mai-2025	2453	3423	2888	2841	2893	3874
Juin-2025	2175	2100	2487	2795	2863	3960
TOTAL	16096	16375	15931	16730	17704	24931

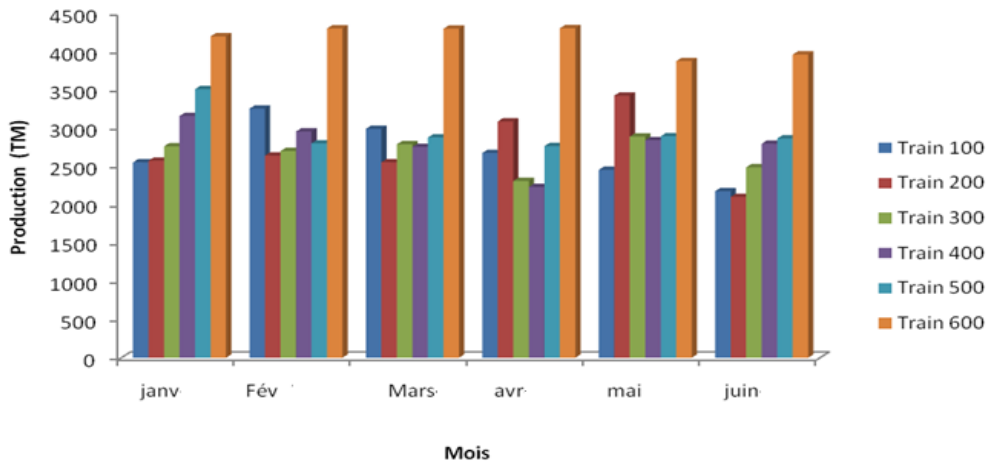


Figure I.3. Les quantités de propane produites par train en TM

Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus on remarque que les débits de propane produit par les Depropaniseur des six trains ont des productions proches à part le train 600 qui a un débit très important de C₃.

Cette situation a fait que nous nous sommes donc intéresser au débit de propane commercialisé vers les complexe et qui est le même (du point de vue qualité) que celui utilisé comme appoint pour les différentes boucles de propane.

On voit d'après le tableau I.2, les quantités de propane produites en tonne métrique vers GP1/Z pendant six mois : du 01/01/2025 au 01/06/2025.

A decorative graphic consisting of a light blue vertical bar on the right side of the page. A darker blue shape, resembling a folded corner or a tab, overlaps the top of the light blue bar and extends to the left.

II

Recherche des causes

II-Introduction

La contamination du réfrigérant influe directement sur le rendement en général du système de réfrigération au propane.

Dans le but de repérer l'origine de cette anomalie qui entrave le bon fonctionnement de la boucle, on a effectué différentes analyses pour détecter la source du problème.

II-1 Source probable de la contamination

Dans le présent travail nous avons mené nos investigations sur les deux hypothèses suivantes :

- ✓ La contamination peut provenir de la boucle de propane.
- ✓ La qualité de l'appoint de propane issu de la section fractionnement.

II-2 Vérification des hypothèses

On a procédé à des analyses chromatographiques durant le mois de juillet sur des échantillons de propane prélevés (C_3 réfrigérant et C_3 produit) au niveau des différents équipements de la boucle et de l'appoint de la section de fractionnement (le depropaniseur) du train 100.

Notons que la teneur admissible en éthane telle qu'elle est prévue par le design est de 0.1 % est celle du propane est de 98.91 %.

Les résultats des analyses devraient donc nous informer, dans un premier temps, quelle est la source des deux qui est à l'origine de la contamination observé.

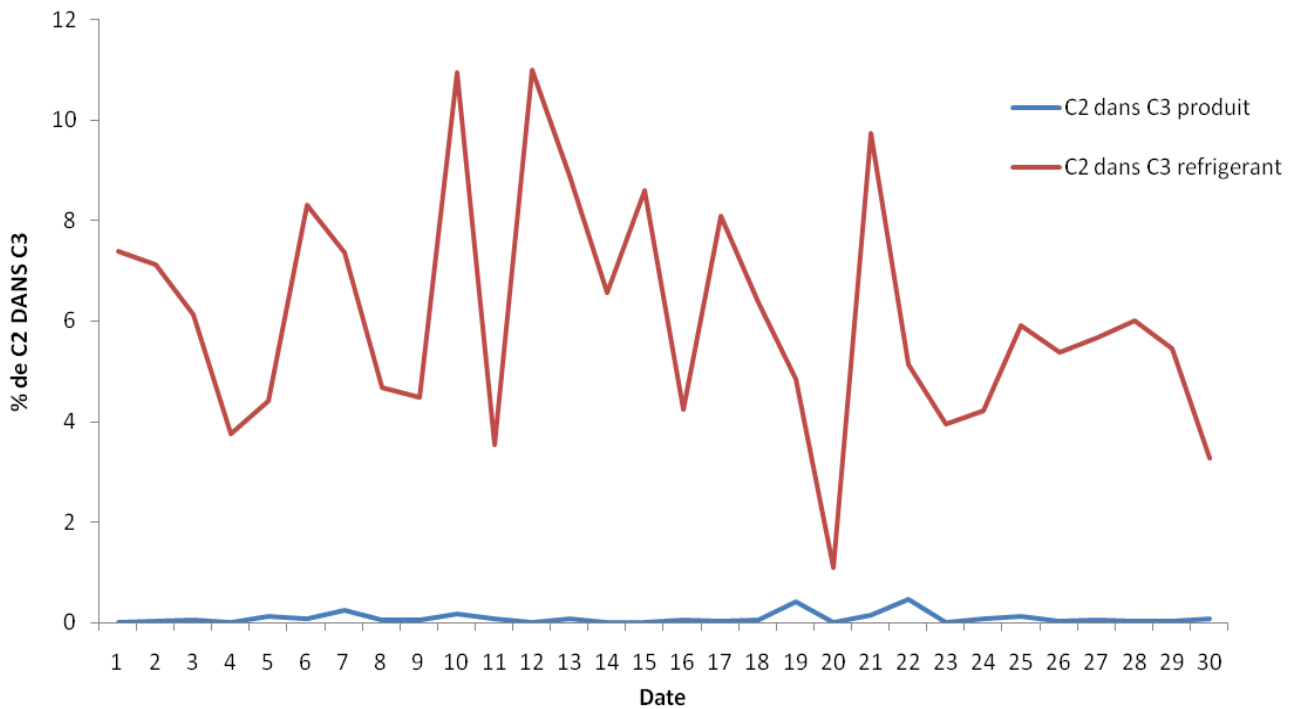


Fig. II-1 Evolution de la teneur en C₂ dans le propane produit et dans le C₃ réfrigérant durant le mois de juin pour le train 100

NB : Il est à noter que la composition molaire du C₂ et du C₃ produit, réfrigérant sont représentés dans un tableau (Annexe B).

II-3 Interprétation des résultats

Nous avons suivi l'évolution de la teneur en éthane dans les deux courants sur le train 100 afin de mieux nous rendre compte des déviations.

L'examen des graphes précédents montrent clairement que :

- Le depropaniseur n'est nullement responsable de la contamination du propane et qu'il fonctionne selon les normes puisque la teneur en éthane dans le propane produit est voisine de celle du design, et ceci pour tous les trains considérés
- En revanche, cette teneur en éthane augmente considérablement dans le propane réfrigérant.

D'après ces résultats on peut conclure que la contamination trouve son origine dans la boucle elle-même.

Notons que le propane réfrigérant circule à travers les équipements suivants :

- Un ballon accumulateur de propane 101F.
- Quatre refroidisseurs de gaz d'alimentation.
- Quatre refroidisseurs de réfrigérant MCR.
- 04 ballons d'aspiration 02F/ 03F/ 04F/ 05.F
- Sous-refroidisseur de butane 160C (échangeur à plaques).
- Condenseur de tête du déethaniseur 151C (échangeur à plaques).

Tableau II- 1 : Analyse des échantillons prélevés dans la boucle de propane
Train100

Désignation	102 F	103 F	104 F	105 F	101 F
N ₂	0,008	0,002	0,001	-	0,004
CH ₄	0,074	0,07	0,068	0,024	0,024
C ₂ H ₆	7,614	3,63	1,734	1,042	8,3
C ₃ H ₈	92,16	96,097	97,89	98,258	91,6
iC ₄ H ₁₀	0,14	0,184	0,269	0,608	0,079
nC ₄ H ₁₀	0,01	0,019	0,038	0,074	0,009
iC ₅ H ₁₂	-	-	-	0,018	-
nC ₅ H ₁₂	-	-	-	0,010	-
C ₆ H ₁₄	-	-	-	-	-
He	-	-	-	-	-
CO ₂	-	-	-	-	-
Heure	11H50	11H55	12H00	12H15	14H10

Ainsi, tous ces éléments d'informations font qu'il est logique de penser que seuls les évaporateurs 151C et le 160C peuvent être considérés comme responsables potentiels de la contamination.

Cette nouvelle donnée nous a donc amenés à nous intéresser tout particulièrement à ces deux échangeurs à plaques.

II-4 Suivi des échangeurs 151C et 160C

Des analyses chromatographique des courants à l'entrée et a la sortie de chacune des passes des échangeurs 151 C et 160 C on étés menées afin de s'assurer de la contamination.

Les figures II.2 et II.3 schématisent les points de prélèvement des échantillons au niveau des échangeurs à plaques.

Tableau II.2:Composition molaire des fluides C₃ aux entrées et sorties 410 et 411 de l'échangeur 151C

Constituants	Entrée 410	Sortie 410	Entrée 411	Sortie 411
C ₂	1,2051	3,6852	0,1225	0,0173
C ₃	97,0321	94,6281	99,8371	99,973
i-C ₄	1,6388	1,508	0,0124	00,155
n-C ₄	0,1237	0,1885	0,279	0,0174

De même nous avons indiquées respectivement sur la figure II.3 et sur le tableau II.3 le schéma de principe de l'échangeur à plaques 160C et les compositions molaires des entrées et sorties des trois passes 423,424,425.

Tableau II.3: Composition molaire des fluides C₃ aux entrées et sorties 423, 424,425 et de l'échangeur 160 C

Constituants	Entrée 423	Sortie 423	Entrée 424	Sortie 424	Entrée 425	Sortie 425
C ₂	0,961	3,6615	1,9143	1,0337	0,0502	0,0502
C ₃	97,2896	95,6351	97,0872	96,9548	99,9497	99,9497
i-C ₄	1,6794	0,6541	0,9394	1,8984	-	-
n-C ₄	0,1124	0,0547	0,0576	0,1110	-	-
i-C ₅	0,0021	-	0,0012	0,002	-	-
n-C ₅	-	-	-	-	-	-

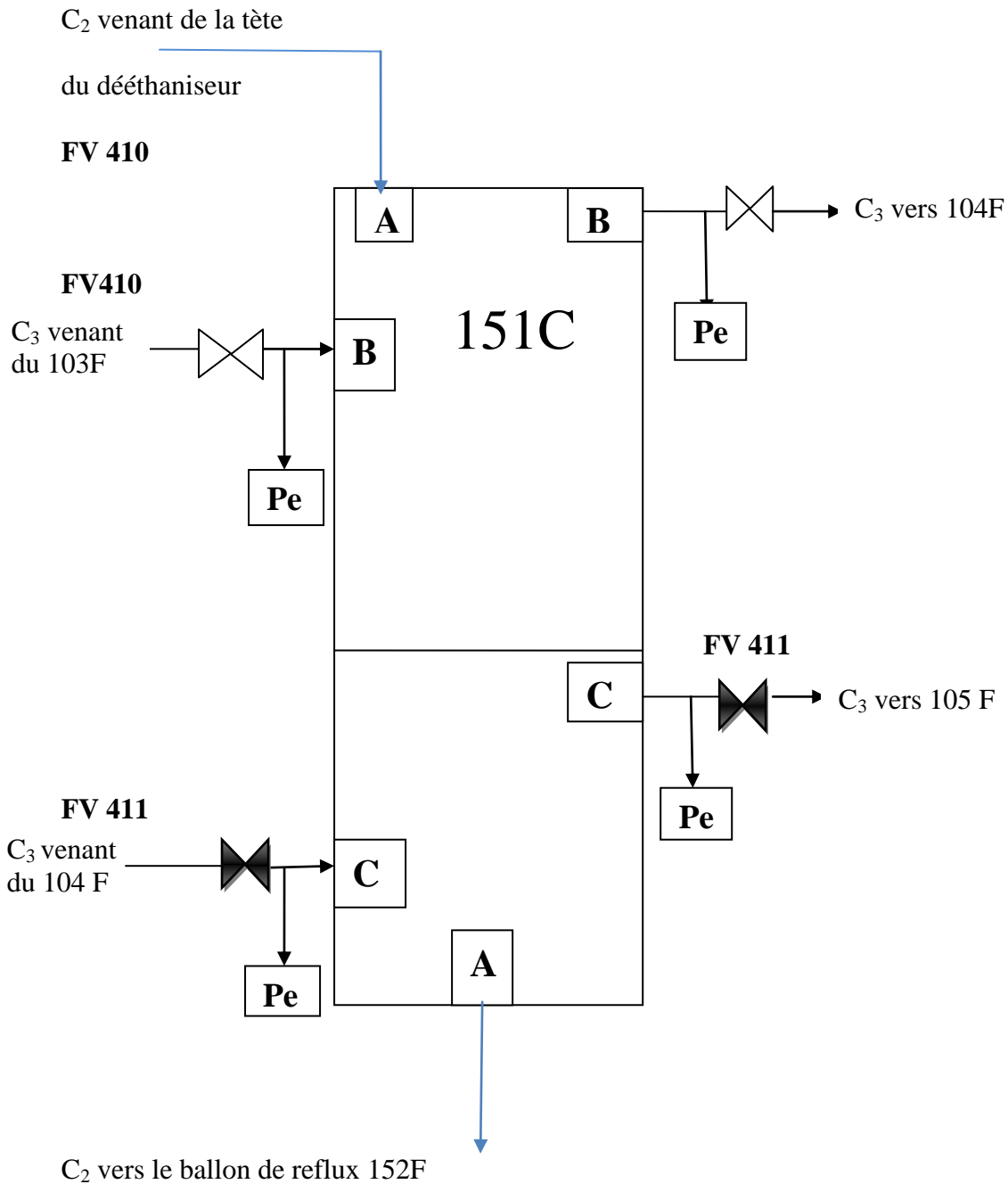



Figure II.2 :Schéma simplifié de l'échangeur 151C

II-5 Interprétation des résultats

Ces analyses montrent que le propane circulant dans la boucle est contaminé par les hydrocarbures légers et principalement par l'éthane qui se trouve en grandes proportions par rapport aux autres éléments dans les échantillons du propane, notamment de fuites au niveau des échangeurs de chaleur 160C et 151C, cet état de fait trouve sa justification dans l'un des incidents probables suivants :

- La perforation des tubes des échangeurs par la corrosion due à la présence de traces de mercure dans le fluide, ou par érosion en raison de la vitesse de circulation élevée du fluide entraînant des corps étrangers.
- La fissuration du métal suite aux changements brusques de la température, ceci est particulièrement possible lors de la phase de démarrage maximum.



Conclusion Générale

Conclusion générale

Le travail exposé nous a permis de déterminer l'influence de la présence de l'éthane dans le circuit propane. Ce composé réagit comme un corps léger par rapport à ce dernier, entraînant un déplacement thermodynamique des paramètres opératoires de la boucle de propane ; en particulier au niveau du compresseur, d'où les besoins en énergie de compression sont affectés par une augmentation considérable.

Pour mener à bien nos investigations, nous avons dû d'abord :

- Bien assimiler le fonctionnement de la zone de procédé concernée (depropaniseur et boucle de C₃ proprement dite)
- Effectuer plusieurs campagnes d'analyses du C₃ contaminé en différents points du circuit, ainsi qu'un suivi des paramètres d'exploitation, et ce pendant tout le mois de juillet 2025
- Procéder par élimination et de manière méthodique, afin d'identifier précisément l'origine de la contamination.
- Entreprendre nos calculs de simulation par HYSYS afin de savoir l'effet de la contamination sur les paramètres de la boucle.

Les résultats obtenus se situent à deux niveaux :

- L'impact de la contamination est clairement mis en évidence, en termes notamment de fuites au niveau des échangeurs de chaleur 151C et 160C, qui engendrent des quantités appréciables de propane torché, ainsi que la vapeur d'entraînement de la turbine 101jT.

- Ces résultats montrent d'une part, l'importance de vérifier le fonctionnement de certains équipements et d'autre part d'anticiper sur la marche du procédé en cas de perturbation de certains paramètres.

Cette étude a un impact multiple à savoir :

- Financier qui se résume dans l'optimisation de la production de C₃ commercialisé.
- Environnemental du à la réduction de la pollution (torchage inutile).
- Prolongement de la durée de vie des équipements stratégiques comme le compresseur.