

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education And Scientific Research  
University Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Faculty of Sciences and Technology  
Department of Process Engineering  
Ref :...../U.M/F.S.T/2025

كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم هندسة الطرائق  
رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2025

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option: **GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT**

### THÈME

#### DYSFONCTIONNEMENT DE LA SECTION DE REFRIGERATION AU NIVEAU DU COMPLEXE GNL3Z

Présenté par

- 1- M<sup>elle</sup> LARBI Imene
- 2- M<sup>elle</sup> GAID Meriem

Soutenu le 18/06/ 2025 devant le jury composé de :

<b>Président :</b>	BENDENIA Chahrazed	MCA	Université de Mostaganem
<b>Examineur :</b>	BENDENIA Souhila	Professeur	Université de Mostaganem
<b>Rapporteur :</b>	DIB MERAD Hanaa	MCA	Université de Mostaganem
<b>Co-rapporteur :</b>	MOULEBHAR Samia	Doctorante	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2024/2025

# *DÉDICACE*

*Nous dédions ce travail :*

*À nos chers parents, pour leur amour  
inconditionnel, leur soutien moral et leurs  
sacrifices qui ont rendu possible notre parcours.*

*À nos frères et sœurs, pour leur encouragement  
constant et leur présence réconfortante.*

*À nos amis et collègues, pour leur aide, leur  
partage de connaissances et les moments de  
collaboration.*

*À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué  
à la réalisation de ce travail.*

**MERIEM & IMENE**

# Remerciement

Avant tout nous remercions « Allah » tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude à notre encadreur Mme. H. DIB, maître de conférence « A » à l'université de Mostaganem, pour son aide précieuse et ses conseils judicieux et pour son suivi régulier pour mener à bien ce travail.

Nous adressons également nos vifs remerciements à Mme C. BENDENIA, maître de conférence « A » à l'université de Mostaganem, d'avoir bien voulu présider le jury.

Nous voulons également exprimer nos sincères remerciements à madame S. BENDENIA, professeur à l'université de Mostaganem, d'avoir accepté de juger et examiner ce travail.

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à Mlle S. MOULEBHAR, Doctorante à l'université de Mostaganem, pour l'honneur qu'elle nous a fait d'examiner ce mémoire.

Finalement, nos remerciements s'adressent à tous ceux ou celles qui ont contribué, de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire.

## **Résumé**

Le processus de liquéfaction du gaz naturel aboutit à la production de GNL et de sous-produits comme le propane et le butane, stockés après réfrigération à des températures spécifiques (propane à  $-41^{\circ}\text{C}$ , butane à  $-5^{\circ}\text{C}$ ).

Cependant, des dysfonctionnements ont été observés dans la section de réfrigération de l'unité 72 du complexe GL3/Z. Le problème principal est la fermeture répétée de la vanne 72-ESDV0001, causée par une chute de température du butane à  $-8^{\circ}\text{C}$ , protégeant ainsi le bac 72-MF01. Cette fermeture entraîne des pertes de produit (évaporation, réchauffement, vers la BDC) et de la pollution due à une combustion incomplète à la torche.

L'étude a identifié l'instabilité de la charge et des températures à l'entrée de l'unité comme cause racine. Pour un fonctionnement optimal de l'unité 72, une alimentation stable en butane et propane est cruciale, ainsi qu'une pression suffisante ( $> 4$  barg) au niveau du 72MD04.

Pour résoudre ces problèmes, trois solutions ont été proposées : l'utilisation de la ligne de circulation butane, l'utilisation du by-pass de la vanne 17-FV0038, ou l'installation d'une vanne trois voies. L'installation d'une vanne trois voies est jugée la meilleure option.

## **Abstract**

However, malfunctions have been observed in the refrigeration section of Unit 72 at the GL3/Z complex. The main problem is the repeated closing of valve 72-ESDV0001, triggered by a drop in butane temperature to  $-8^{\circ}\text{C}$ , which protects tank 72-MF01. This shutdown leads to product losses (evaporation, reheating, diversion to the BDC) and pollution from incomplete combustion at the flare.

The study identified instability in the feed charge and inlet temperatures as the root cause. For optimal operation of Unit 72, a stable supply of butane and propane is crucial, along with sufficient pressure ( $> 4$  barg) at 72MD04.

To address these issues, three solutions were proposed: using the butane circulation line, utilizing the bypass of valve 17-FV0038, or installing a three-way valve. Installing a three-way valve is considered the best option.

## ملخص

تؤدي عملية تسييل الغاز الطبيعي إلى إنتاج الغاز الطبيعي المسال ومنتجات ثانوية مثل البروبان والبوتان، والتي يتم تخزينها بعد التبريد في درجات حرارة محددة (البروبان عند -41 درجة مئوية، البوتان عند -5 درجات مئوية)

المشكلة الرئيسية هي الإغلاق المتكرر للصمام GL3/Z. مع ذلك، لوحظت أعطال في قسم التبريد بالوحدة 72 في مجمع -، والذي يحدث بسبب انخفاض درجة حرارة البوتان إلى -8 درجات مئوية، مما يحمي الخزان 72-ESDV000172 والتلوث (BDC بالتبخير، إعادة التسخين، التحويل إلى وعاء التصريف) يؤدي هذا الإغلاق إلى فقدان المنتج MF01. الناتج عن الاحتراق غير الكامل في الشعلة

حددت الدراسة أن عدم استقرار الشحنة ودرجات الحرارة عند مدخل الوحدة هو السبب الجذري لهذه الأعطال. لضمان (بارج 4 >) الأداء الأمثل للوحدة 72، يُعد الإمداد المستقر بالبوتان والبروبان أمرًا بالغ الأهمية، بالإضافة إلى ضغط كافٍ MD04 عند 72

، أو FV0038-لحل هذه المشكلات، تم اقتراح ثلاثة حلول: استخدام خط تدوير البوتان، استخدام خط التحويل للصمام 17 تركيب صمام ثلاثي الاتجاهات. يُعتبر تركيب صمام ثلاثي الاتجاهات الخيار الأفضل

## Listes des figures

Figure I.1 :Le site GNL3/Z. ....	4
Figure I.2: Provenance du GN vers le complexe GNL3/Z. ....	5
Figure I.3: Schéma du parcours du gaz depuis sa récupération jusqu'à son expédition. ....	6
Figure I.4 : Procédé de liquéfaction. ....	11
Figure II.1 La section de réfrigération unité 72 ....	13
Figure II.2: section de réfrigération LPG. ....	15
Figure II.3: Les unités de stockage du butane (72-MF01) et du propane (72-MF02) au sein de la section de stockage ....	17
Figure III.1:Variation du débit propane/butane.. ....	31
Figure III.2:Procédé d'extraction de propane de la charge du GN. ....	33
Figure III.3:Procédé d'extraction de butane de la charge du GN. ....	34
Figure III.4:Variation de la température de sortie du butane et le débit de circulation durant la période de stage. ....	39
Figure III.5:Température de sortie du butane et le débit de circulation. ....	40
Figure III.6:emplacement de la vanne trois voix. ....	43

## Listes des tableaux

Tableau I.1: Les condition du gaz d'alimentation entrant.....	7
Tableau I.2: Composition du gaz d'alimentation.....	7
Tableau II.1: Liste des équipements de l'unité 72. ....	18
Tableau II.2:Paramètres principaux du réservoir de stockage de butane. ....	19
Tableau II.3:les caractéristiques du bac de stockage GPL butane 72-MF01 .....	20
Tableau II.4:Données principales du Réservoir de Stockage du Propane. ....	21
Tableau III.1:Période de la fermeture d'ESDV0001.....	29
Tableau III.2: Influence de la fermeture de la vanne 72-ESDV0001 sur la production GPL. .	30
Tableau III.3:Changement de SP 72-TIC0007 avec la variation de température et de débit. ..	36
Tableau III.4: Influence de la température propane/butane sur la pression du 72-MC04. ....	38
Tableau III.5:Variation des différents paramètres .....	41
Tableau III.6:les avantages et inconvénients des solutions proposées. ....	44

# SOMMAIRE

## DEDICACES

## REMERCIEMENTS

## RESUME

INTRODUCTION GENERALE.....	1.
----------------------------	----

### CHAPITRE I : PRESENTATION DU COMPLEXE.

I. 1. INTRODUCTION.....	2
I.2. PRESENTATION DU COMPLEXE GL3/Z.....	3
I.2.1. Fonctionnement du GL3/Z.....	5
I.3 LA MATIERE PREMIERE GN.....	7
I. 4. LES DIFFERENTES UNITES ET INSTALLATIONS.....	8
I.4.a. Chaîne de Production :.....	8
I.4.b. Utilités Associées .....	8
I.4.c. Installations Hors Site .....	9
I.5.CONCLUSION.....	11

### CHAPITRE II : L'UNITE 72.

II.1. INTRODUCTION.....	12
II.2. PRESENTATION DU PROCEDE DE REFRIGERATION.....	12
II.2.1. La section dédiée à la réfrigération du GPL.....	14
II.2.2. Le Système de stockage et chargement du GPL.....	15
II.2.2.a. Le mode "Attente".....	15
II.2.2. b. le mode "Chargement".....	16
II.3. LES EQUIPEMENTS DE L'UNITE 72.....	17
II.4 LES BAC DE STOCKAGE.....	18
II.4.1. Le réservoir de stockage du butane (72-MF01).....	19
II.4.1. a. Le réservoir interne.....	19
II.4.1. b. Le réservoir externe.....	20
II.4.2. Les données géométriques principales.....	20
II.4.3. Le Réservoir de Stockage de Propane (72-MF02).....	21
II.5 LES DIFFERENTES POMPES GP.....	21
II.5.1 Pompes de Transfert de Butane (72-MJ01-A/B).....	21
II.5.2 Pompes de Recirculation de Butane (72-MJ04-A/B).....	22
II.5.3 Pompes de Transfert de Propane (72-MJ02-A/B).....	22
II.5.4 Pompes de Recirculation de Propane (72-MJ03-A/B).....	23
II.5.5 Pompes de Transfert de Propane (72-MJ06-A/B).....	23

II.6 SYSTEMES DE COMPTAGE DU GPL.....	24
II.6. 1 Système de comptage de propane (72-IC02).....	24
II.6. 2 Système de Mesure du Débit de Butane (72-IC01).....	24
II.7 LES ECHANGEURS PROPANE/ BUTANE.....	25
II.7.1 Echangeur HP Propane/Butane (72-MC03).....	25
II.7.2 Echangeur BP Propane/Butane (72-MC04).....	25
II.8 LES BALLONS D'ASPIRATION DE L'UNITE 72.....	26
II.8.1 Ballon d'aspiration du compresseur de gaz évaporés HP (72-MD04).....	26
II.8.2 Ballon d'aspiration du compresseur de gaz évaporés de propane BP (72-MD03).....	26
II.9 CONCLUSION.....	27

### **CHAPITRE III : ANALYSE DU PROBLEME ET SOLUTION ET RECOMMANDATION**

III.1 INTRODUCTION.....	28
III.2 PRESENTATION DU PROBLEME.....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
III.2.1 Cause du problème.....	29
III.3 ETAT D'INSTABILITE DE L'UNITE.....	30
III.3.1 Fluctuation du débit propane et butane.....	30
III.3.1.1 Fluctuation du débit de propane.....	31
III.3.1.2 Fluctuation du débit de butane.....	33
III.3.2 Conséquences de la fluctuation de débit.....	35
III.3.2.1 Instabilité de la boucle de régulation de pression en fonction de la température.....	35
III.3.2.2 Chute de pression dans le ballon 72-MD04 et 72-MD03.....	35
III.3.3 Instabilité des températures propane et butane à l'entrée de la section 72.....	37
III.3.3.1. La chute de pression dans le ballon 72-MD04 et absence de niveau dans l'échangeur 72- MC04.....	37
III.3.3.2 Instabilité de la boucle 72 TIC0007.....	37
III.4 ETAT DE STABILITE DE L'UNITE.....	39
III.5 RESUME D'ANALYSE.....	41
III.6 SOLUTION ET RECOMMANDATION.....	42
III.6.1 Stabiliser la charge.....	42
III.6.1.a. Utiliser la ligne de circulation butane.....	42
III.6.1.b. Utiliser le by-pass de la vanne 17-FV0038.....	42
III.6.2 Installation d'une vanne trois voix.....	42
III.6.3 Analyse comparative des solutions proposées.....	44

III.7 CONCLUSION.....45  
CONCLUSION GENERALE.....46  
ANNEXE A .....47

La SONATRACH, en tant que société nationale des hydrocarbures, joue un rôle capital dans l'économie algérienne. L'unité de production GL3/Z illustre parfaitement cette importance, car sa mission est de liquéfier le gaz naturel extrait du gisement de Hassi-Berkine. Le processus de liquéfaction du gaz naturel commence à la section de décarbonatation et s'achève à la section cryogénique, où le gaz liquéfié est ensuite dirigé vers le stockage.

Parallèlement, une partie des produits issus de ce processus, notamment le propane et le butane commercial, est également liquéfiée pour être acheminée vers les marchés nationaux et internationaux. Cette liquéfaction s'effectue dans la section de réfrigération, où le propane est refroidi à  $-41^{\circ}\text{C}$  et le butane à  $-5^{\circ}\text{C}$ . À ces températures et à pression atmosphérique, ces produits réfrigérés sont ensuite stockés dans des bacs spécifiques.

Durant notre stage au complexe de liquéfaction de gaz naturel d'Arzew GL3/Z, au sein du département de production et du service de stockage, nous avons identifié un problème récurrent : l'instabilité dans la section de réfrigération de l'unité 72, caractérisée par la fermeture répétée de la vanne 72-ESDV0001. Notre étude vise à analyser les causes probables de cette instabilité et à proposer des solutions efficaces pour y remédier.

Notre mémoire est structuré de la manière suivante :

- Nous débuterons par une introduction générale.
- Ensuite, une présentation générale du complexe GL3/Z sera exposée.
- Puis, nous fournirons un aperçu détaillé de la section de réfrigération de l'unité 72.
- Nous exposerons clairement le problème rencontré et explorerons diverses solutions, en mettant en lumière la proposition la plus pertinente.
- Enfin, nous terminerons par une conclusion générale.

**I. 1. INTRODUCTION**

Les hydrocarbures constituent un pilier fondamental du développement économique algérien, en tant que source d'énergie essentielle pour le secteur industriel et le quotidien de la population. L'Algérie s'est affirmée dès 1964 comme un fournisseur majeur de gaz naturel pour l'Europe, principalement sous forme de gaz naturel liquéfié (GNL). La compagnie nationale des hydrocarbures, SONATRACH, jouit d'une reconnaissance mondiale, se positionnant comme le deuxième producteur de GNL et de gaz de pétrole liquéfié (GPL), ainsi que le premier exportateur de condensat [1].

Les complexes de liquéfaction de gaz naturel de Bethioua, tel que : GL1/Z, GL2/Z, et GL3/Z incarne une réalisation industrielle d'envergure dans le secteur de la transformation des hydrocarbures en Algérie, participant activement à l'essor de son industrie gazière .

Stratégiquement implanté dans la zone industrielle d'Arzew, à 35 kilomètres d'Oran, le complexe GL3/Z, opérationnel depuis 2014, est doté d'un méga train de liquéfaction d'une capacité annuelle de 4,7 millions de tonnes de GNL. Cette infrastructure renforce considérablement les capacités d'exportation de gaz naturel algérien vers les marchés internationaux, notamment en Europe et en Asie. Alliant technologie de pointe et importante capacité de production, ce complexe illustre l'ambition de l'Algérie de valoriser ses ressources naturelles de manière compétitive et durable. [2]

## I.2. PRESENTATION DU COMPLEXE GL3/Z

Implanté dans la zone industrielle du port d'Arzew El Djedid, à l'ouest de l'Algérie, illustré sur la figure I.1, le complexe GL3/Z représente l'un des projets les plus ambitieux de la société nationale Sonatrach dans le domaine de la valorisation du gaz naturel. Ce projet s'inscrit dans une stratégie nationale visant à exploiter les vastes réserves de gaz naturel provenant principalement du bassin de Hassi R'mel, ainsi que du bassin de Berkine, situé à l'est, schématiser sur la figure I.2.

Conçu comme une installation de grande capacité et à la pointe de la technologie, le complexe comprend un méga train de liquéfaction de gaz naturel capable de produire jusqu'à 4,7 millions de tonnes de GNL par an. Ce train constitue le cœur de l'usine, et des installations sont prévues pour accueillir un second train de capacité équivalente à moyen ou long terme, renforçant ainsi le potentiel exportateur de l'Algérie sur le marché mondial du gaz.

L'unité de liquéfaction est complétée par un système intégré d'infrastructures, incluant la réception du gaz brut, le traitement et la séparation des composants lourds (tels que le propane, le butane, l'éthane, le GPL et la gazoline), la liquéfaction du méthane, le stockage cryogénique et le chargement maritime via une jetée spécialement aménagée. Certains sous-produits, comme l'éthane, sont partiellement réinjectés dans le système pour répondre aux besoins énergétiques internes de l'installation, notamment en tant que réfrigérant ou combustible. D'autres composants, tels que le propane et le butane, sont acheminés vers des points de raccordement en vue de leur stockage ou exportation, notamment vers le complexe GP1/Z. Le flux riche en hélium est également pris en compte, avec une disponibilité en sortie permettant une extraction future de cette ressource précieuse. [2]

Le complexe GL3/Z est structuré en trois zones principales :

- **La zone procédée** : dédiée aux opérations de traitement et de liquéfaction du gaz.
- **La zone utilités** : regroupant les équipements de support indispensables au fonctionnement continu de l'usine, tels que la production d'électricité, la gestion des eaux industrielles et les systèmes de sécurité.

- **La zone terminale** : comprenant les réservoirs de stockage cryogénique et les installations portuaires destinées à l'exportation.

Conçue pour une durée de vie opérationnelle de 30 ans, avec une disponibilité annuelle d'environ 330 jours, l'usine repose sur une stratégie avancée de gestion et de maintenance visant à garantir la fiabilité, la sécurité et la performance de la production. Ce projet, en plus de renforcer la capacité d'exportation de l'Algérie vers les marchés internationaux, notamment européens et asiatiques, contribue à une meilleure valorisation des ressources gazières nationales, tout en créant de nouvelles opportunités industrielles et logistiques dans la région d'Arzew [3].



*Figure I.1 :Le site GNL3/Z.*



*Figure I.2: Provenance du GN vers le complexe GNL3/Z.*

### I. 3. FONCTIONNEMENT DU GL3/Z

L'usine GL3/Z produit non seulement du Gaz Naturel Liquéfié (GNL) destiné à l'exportation internationale, mais valorise également d'autres composants extraits du gaz naturel : l'éthane, le propane, le butane, la gazoline et un flux d'hélium. Les hydrocarbures plus lourds (GPL et gazoline), à plus forte valeur ajoutée, sont extraits et exportés séparément.

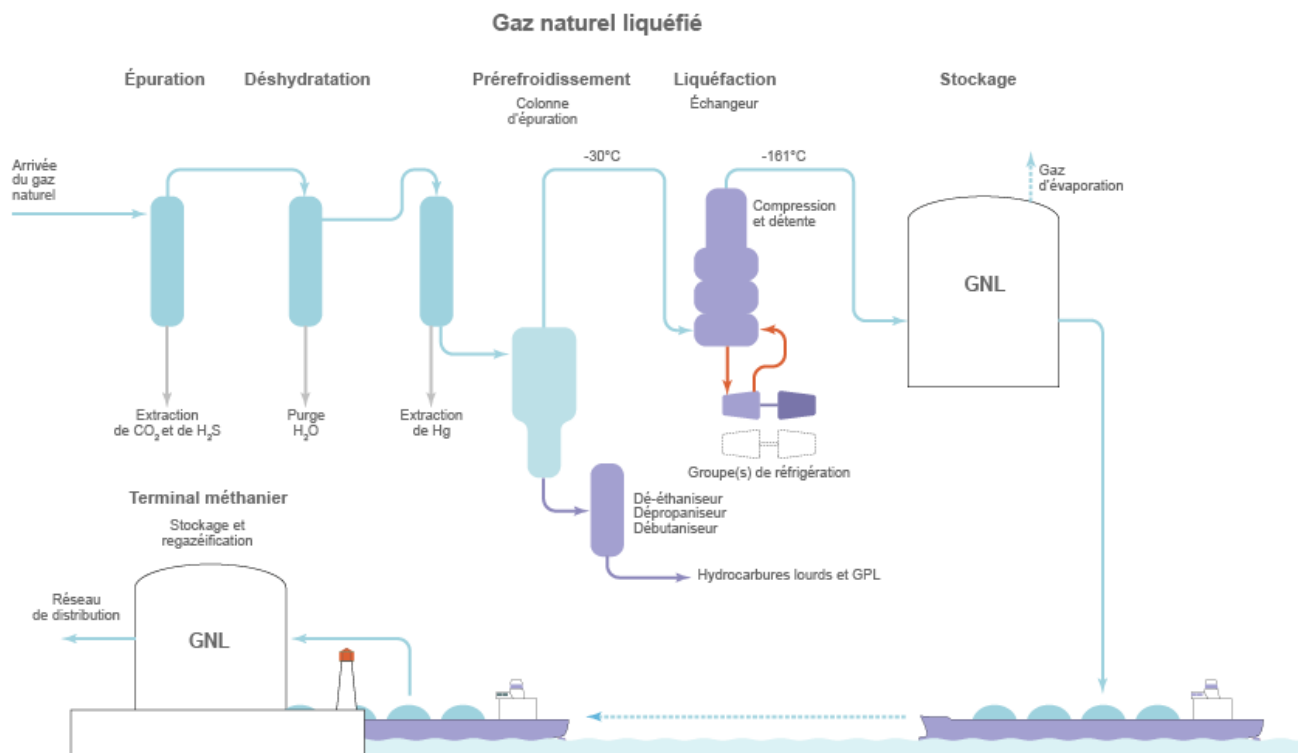
Le processus de liquéfaction du gaz naturel utilise la technologie APCI avec un mélange réfrigérant et un pré-refroidissement au propane, via un échangeur de chaleur multi-tubulaire (MCHE). Le refroidissement final est principalement assuré par l'air. La spécification finale du GNL est obtenue par élimination de l'azote et de l'hélium dans des colonnes de flash.

Le GNL est stocké dans deux réservoirs à confinement total de 160 000 m<sup>3</sup> chacun. Les GPL (propane et butane) sont stockés séparément dans des réservoirs à confinement total de 56 000 m<sup>3</sup> et 12 000 m<sup>3</sup> respectivement. La gazoline stabilisée est stockée dans une sphère de 1 800 m<sup>3</sup>. L'exportation du GNL s'effectue via une nouvelle jetée (M7), tandis que les GPL sont chargés sur les jetées existantes (M6 et D1). Une torchère offshore, accessible par une digue à construire, fait partie des infrastructures.

Le projet GL3/Z s'inscrit dans un programme plus vaste de projets gaziers intégrés de Sonatrach, visant notamment l'exploitation des ressources du bassin de Berkine. L'usine est une unité de liquéfaction autonome, bénéficiant des infrastructures et utilités nécessaires, avec un

approvisionnement en eau de service et en azote liquide assuré par des installations voisines (Kahrama et COGIZ respectivement). Conçu autour d'un train de liquéfaction unique, le complexe peut traiter différentes compositions de gaz d'alimentation (gaz de base, riche et pauvre), chaque type étant pris en compte pour le dimensionnement spécifique des unités de l'usine.

L'acheminement du gaz naturel vers GL3/Z commence par son extraction, notamment dans le bassin de Berkine, suivi d'un transport par gazoducs vers Arzew. Sur site, le gaz brut est traité pour éliminer les impuretés, puis séparé en ses différents composants. Le méthane est liquéfié à environ  $-160^{\circ}\text{C}$ , réduisant considérablement son volume pour le stockage cryogénique et l'exportation par méthaniers via une jetée spécialisée. Ce processus intégré optimise la valorisation des ressources gazières et assure des opérations d'exportation fiables et sécurisées. Le parcours du GN dans l'usine GL3/Z est illustré sur la figure I.3.



*Figure I.3: Schéma du parcours du gaz depuis sa récupération jusqu'à son expédition.*

## I.4 LA MATIERE PREMIERE GN

Le gaz d'alimentation de l'usine GL3/Z provient d'un pipeline, en dehors du réseau de distribution de gaz national de SONATRACH. Les conditions du gaz d'alimentation entrant sont les suivantes :

*Tableau I.1: Les condition du gaz d'alimentation entrant.*

Paramètre	Minimum	Maximum
Pression (bar)	42	49.6
Température C°	0	38

*Tableau I.2: Composition du gaz d'alimentation.*

CAS (% mol)	BASE	LOURD	LEGER
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-Butane	0,02%	0,11%	0,00%
Normal-Pentane	0,01%	0,12%	0,00%
Normal-Hexane <sup>+</sup>	0,00%	0,11%	0,00%
Dioxyde de carbone	2,00%	0,30%	2,00%
Eau	50 ppm	50 ppm	50 ppm
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

## I. 5. LES DIFFERENTES UNITES ET INSTALLATIONS

Le schéma fonctionnel global de l'installation GL3/Z, illustré sur la figure I.4, présente les principales unités de traitement, illustrant les flux de matière et les interconnexions essentielles. L'installation se divise en trois sections principales : la chaîne de production de GNL, les utilités associées et les installations hors site.

**I.5.a. Chaîne de Production :** Le processus de production comprend les différentes unités opérationnelles suivantes :

- Unité 11 : Conditionnement du gaz d'alimentation
- Unité 12 : Élimination du gaz acide
- Unité 13 : Déshydratation du gaz
- Unité 15 : Liquéfaction
- Unité 16 : Réfrigération
- Unité 17 : Récupération et fractionnement du GNL

**I.5.b. Utilités Associées :** Les utilités nécessaires au fonctionnement de l'installation incluent la production d'énergie, les systèmes de stockage et de chargement du GNL et du GPL, le traitement des eaux usées, la distribution d'eau de service et potable ...etc. Ces fonctions sont assurées par les unités suivantes :

- Unité 01 : Installations d'entrée
- Unité 02 : Stockage du solvant de l'amine
- Unité 08 : Stockage de l'huile chaude
- Unité 14 : Système du gaz combustible (Train 1)
- Unité 18 : Système de l'huile chaude
- Unité 19 : Système d'Eau de refroidissement
- Unité 51 : Génération de l'énergie électrique
- Unité 53 : Système du générateur diesel de Secours
- Unité 55 : Système gaz combustible commun
- Unité 56 : Système de l'air instrument et usine
- Unité 57 : Système de l'azote

- Unité 58 : Circuit de l'eau potable
- Unité 59 : Système de l'eau de service et déminéralisée
- Unité 64 : Traitement des eaux usées et Effluents

**I.5.c. Installations Hors Site :** Les installations hors site (off-site) comprennent le stockage et le chargement du GNL et du GPL sur les navires, le système de torches, le stockage interne du propane et de l'éthane, le stockage de la gazoline, ainsi que les systèmes de protection incendie.

Ces éléments sont gérés par :

- Unité 71 : Produit de stockage et chargement du GNL
- Unité 72 : Produit de stockage et chargement du GPL
- Unité 73 : Système de stockage propane éthane interne
- Unité 75 : Système de la torche
- Unité 76 : Système de stockage de gazoline
- UNITE 63 : Système d'Eau Anti-incendie
- UNITE 77 : Lutte Anti-incendie

L'usine peut traiter le gaz à composition « légère » (avec une teneur faible en hydrocarbures) ou à composition « lourde » (avec une teneur élevée en hydrocarbures). Le gaz d'alimentation est d'abord comprimé et traité pour éliminer le mercure, les gaz acides et l'eau. En aval des unités de prétraitement, le gaz est refroidi pour condenser les hydrocarbures liquides présents dans le gaz en arrivée. Ce courant liquide est fractionné en éthane, propane, butane et gazoline qui sont considérés comme des produits à grande valeur ajoutée. Le courant de vapeur de tête obtenu, composé principalement de méthane, est refroidi par un fluide de réfrigération, d'abord du propane puis du réfrigérant mixte, 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 au moyen d'un système de chargement sur cargo dédié. Un système de récolte et de compression est fourni pour récupérer les gaz évaporés durant les activités de stockage et de chargement. Ces vapeurs sont renvoyées 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 le réfrigérant, les moteurs du/des compresseur(s) de gaz d'alimentation et

de gaz résiduel et quatre turbines à gaz pour les cycles ouverts de génération d'énergie. Des moteurs électriques sont fournis pour les pompes et les autres compresseurs. L'usine GL3/Z 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 ; [4]
- Quatre générateurs diesel de secours (trois en service et un de réserve), qui peuvent être utilisés comme source de génération d'énergie de réserve pour le démarrage. 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, qui fait l'objet du présent manuel. Le réchauffement du procédé est assuré par l'huile chaude. Le train de procédé est chauffé par l'huile chaude 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 l'aide d'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.

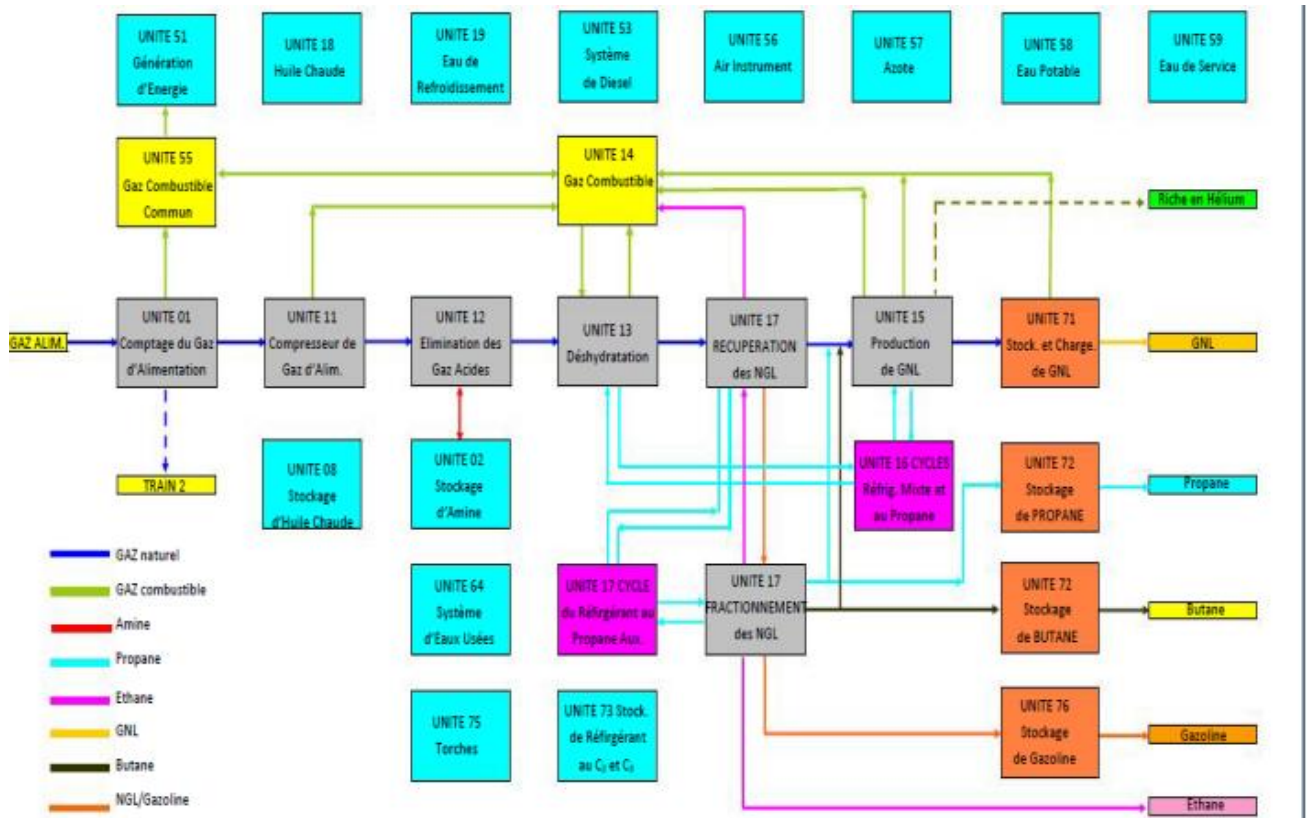


Figure I.4 : Procédé de liquéfaction.

## I.6.CONCLUSION

Pour conclure ce chapitre, il apparaît clairement que le complexe GL3/Z occupe une place centrale dans le contexte énergétique mondial. Valorisé pour ses avantages écologiques et son efficacité, le gaz naturel (GN) transformé et exporté par ce complexe vaste et doté d'installations majeures lui assure un rôle stratégique et économique de premier ordre, ayant un impact fondamental sur l'avancement de l'industrie algérienne et le renforcement des relations économiques internationales de l'Algérie. [5].

## II.1. INTRODUCTION

La Société Nationale des Hydrocarbures (SONATRACH) joue un rôle essentiel dans l'économie algérienne. Parmi ses infrastructures majeures, le complexe GL3/Z à Arzew est spécifiquement conçu pour la liquéfaction du gaz naturel issu du gisement de Hassi-Berkine. Ce processus complexe débute par une étape de décarbonatation et se poursuit jusqu'à la section cryogénique, où le gaz est converti en liquide avant d'être transféré vers le stockage. Une partie de cette production, notamment le propane et le butane commerciaux, est ensuite liquéfiée à des températures précises (-41 °C pour le propane et -5 °C pour le butane) au sein de la section de réfrigération, puis stockée dans des réservoirs adaptés avant leur expédition.

Dans le cadre de notre stage professionnel au sein du service stockage du GL3/Z, nous avons identifié plusieurs dysfonctionnements, en particulier une instabilité opérationnelle récurrente dans la section de réfrigération de l'unité 72. Dans le chapitre suivant, nous allons détailler l'unité 72 pour mieux cerner le problème.

## II. 2. PRESENTATION DU PROCEDE DE REFRIGERATION

Le procédé de l'unité 72 se compose de deux sections principales :

- ✓ La section de réfrigération du GPL
- ✓ Le système de stockage et de chargement du GPL.

La figure II.1 nous donne un aspect général sur la section réfrigération. [6].

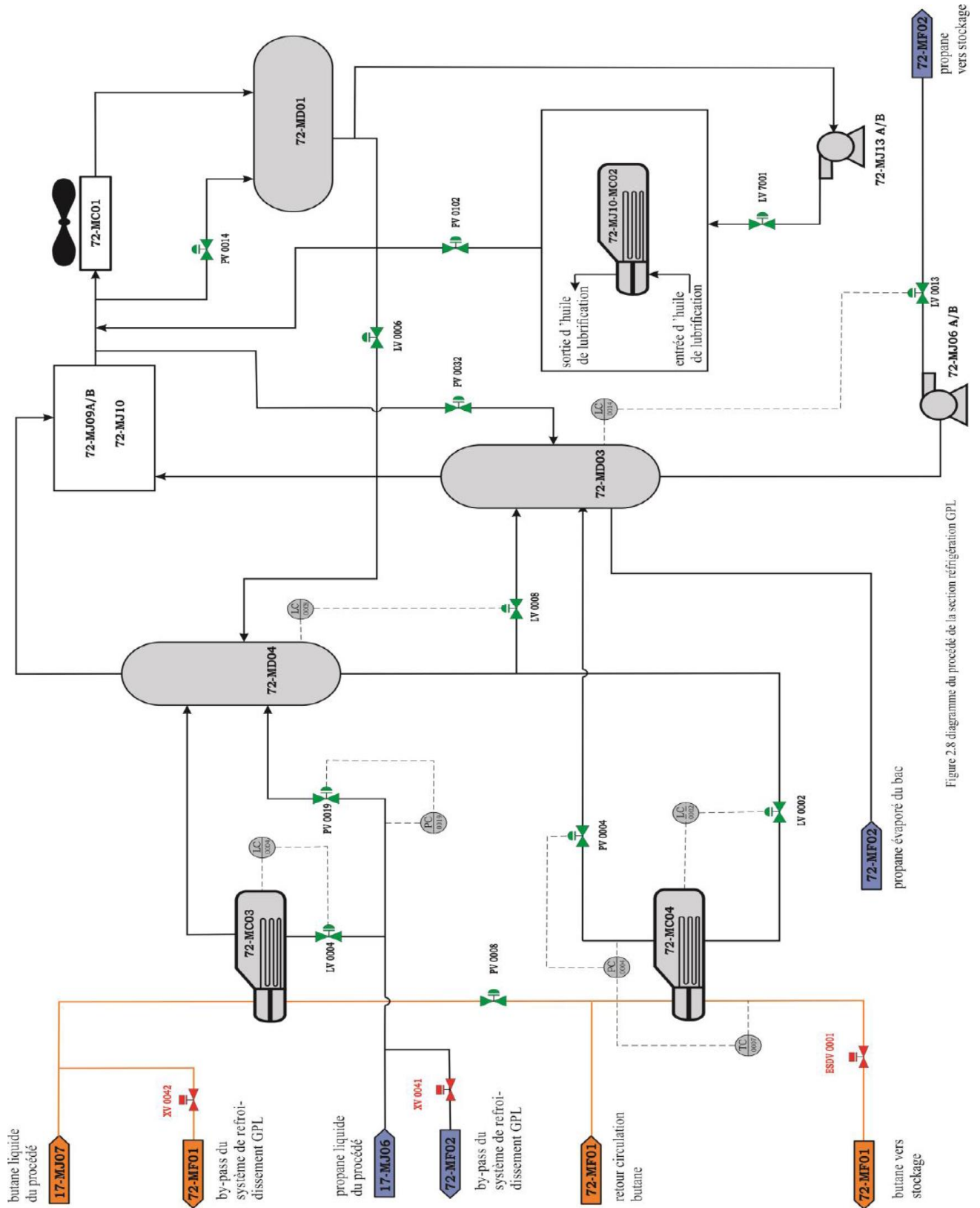


Figure 2.8 diagramme du procédé de la section réfrigération GPL

Figure II.1 : La section de réfrigération unité 72

### II.2.1. La section dédiée à la réfrigération du GPL

Le butane et le propane sont refroidis dans un système de réfrigération dédié aux gaz de pétrole liquéfiés (GPL). Ce processus implique un cycle de refroidissement en deux étapes, utilisant le propane comme réfrigérant.

- ✓ Refroidissement en haute pression (HP): Une partie du propane liquide et tout le butane provenant du train de procédé sont acheminés vers l'échangeur HP propane/butane (72-MC03). Le propane circule côté calandre pour refroidir le butane qui, lui, passe côté tubes. Le propane se vaporise en refroidissant le butane. Le reste du propane liquide du procédé et les vapeurs de propane générées par le refroidissement du butane sont envoyés vers le ballon d'aspiration du compresseur de Gaz évaporés de propane HP (72-MD04). De là, ces vapeurs sont dirigées vers le compresseur de gaz évaporés (BOG) du réservoir de stockage de propane 2ème étage (72-MJ10).
- ✓ Refroidissement en basse pression (BP) et Stockage : Le propane liquide séparé dans le ballon (72-MD04) est envoyé vers le ballon d'aspiration du Compresseur de Gaz évaporés de propane BP (72-MD03), où il se détend, créant de nouvelles vapeurs. Une partie de ce propane liquide est ensuite utilisée dans l'échangeur BP propane/butane (72-MC04) pour sous-refroidir le butane, qui arrive de l'échangeur HP (72-MC03). Le butane chaud et le liquide de circulation des lignes de chargement sont également refroidis dans cet échangeur. Le butane liquide sous-refroidi est finalement transféré vers le réservoir de stockage de butane (72-MF01).

Les vapeurs de propane provenant du sous-refroidissement du butane dans l'échangeur (72-MC04), ainsi que les vapeurs générées par la détente, sont envoyées vers le ballon d'aspiration (72-MD03). Elles sont ensuite acheminées vers les compresseurs de gaz évaporés (BOG) du réservoir de stockage de propane 1er étage (72-MJ09-A/B). Les BOG de propane générés en mode "attente" du réservoir (72-MF02) sont également dirigés vers le compresseur (72-MD03). Le propane liquide séparé dans le ballon (72-MD03) est transféré au réservoir de stockage de propane (72-MF02) par les pompes (72-MJ06-A/B).

Cycle de Condensation et Réutilisation du Propane : Les vapeurs de propane comprimées sont condensées par un condenseur refroidi à l'air (72-MC01). Le propane condensé s'écoule par gravité vers l'accumulateur de propane liquide (72-MD01). Le propane liquide de cet

accumulateur est ensuite renvoyé vers le ballon d'aspiration (72-MD04), se détend, et est recirculé dans le procédé de refroidissement. Une partie de ce propane liquide est également utilisée pour refroidir l'huile de lubrification dans le refroidisseur d'huile (72-MJ10-MC02), avant de retourner au refoulement du compresseur BOG du réservoir de propane 2ème étage (72-MJ10) [7].

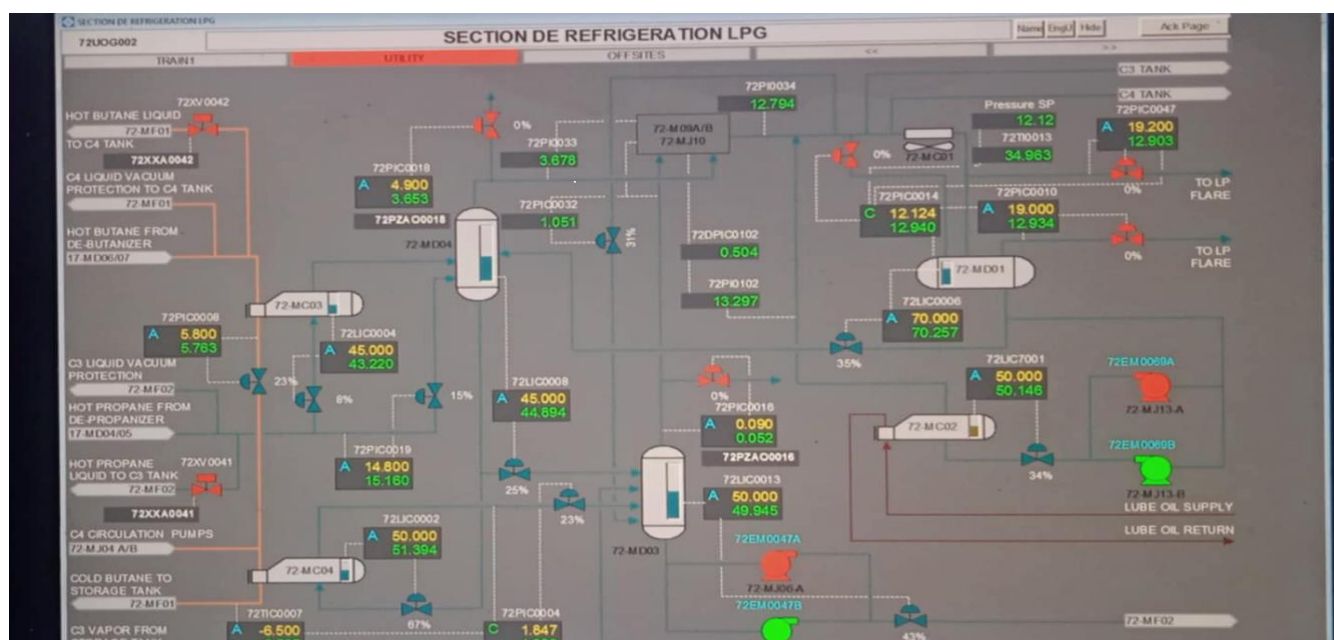


Figure II.2 : section de réfrigération LPG.

## II.2.2. Le Système de stockage et chargement du GPL

Le butane et le propane liquides, après avoir été refroidis, sont stockés dans des réservoirs spécifiques (72-MF01 pour le butane et 72-MF02 pour le propane) à une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique. Ces produits restent en attente jusqu'à ce qu'un navire soit prêt pour le transport. Les opérations de chargement et de circulation du GPL se déroulent selon deux modes principaux : "attente" et "chargement ». La figure II.3 regroupe les configurations de stockage.

**II.2.2. a. le mode "Attente"** : est une phase intermédiaire entre deux chargements de navires. Son objectif principal est de maintenir le système de chargement du GPL à une température basse et stable. Cela permet d'éviter les dilatations ou contractions thermiques des équipements et la formation de vapeur. Pour ce faire, le système utilise deux circuits de recirculation : un **circuit court** et un **circuit long**.

- Pour le **butane**, les deux circuits sont généralement actifs, le circuit court fonctionnant à débit réduit. Des pompes spécifiques (72-MJ04-A/B) assurent la circulation du butane.
- Pour le **propane**, le circuit long est le plus souvent en service, le circuit court servant de solution de secours. Des pompes dédiées (72-MJ03-A/B) maintiennent la circulation du propane.

Ces circuits de recirculation sont essentiels pour garantir la disponibilité et l'intégrité du système de chargement, même lorsque le train de production est à l'arrêt, et pour éviter que les grandes pompes de chargement ne fonctionnent à des débits trop bas.

**II.2.2. a. le mode "Chargement"** : est la période pendant laquelle le GPL est transféré des réservoirs de stockage (72-MF01/02) vers un navire amarré aux jetées M6 ou D1.

- Selon la jetée utilisée, une ou deux **pompes de transfert** (72-MJ01-A/B pour le butane, 72-MJ02-A/B pour le propane) sont activées. La jetée D1 utilise une pompe pour un débit de 1 670 m<sup>3</sup>/h, tandis que la jetée M6 utilise deux pompes en parallèle pour un débit de 3 340 m<sup>3</sup>/h.
- Pendant le chargement, la vapeur de GPL produite dans le navire est renvoyée vers un collecteur de gaz évaporés (BOG) et peut être utilisée pour la mise sous pression du navire. En cas de surpression du BOG, l'excès de gaz est traité par l'usine.
- Deux systèmes de comptage (72-IC01 pour le butane et 72-IC02 pour le propane) mesurent précisément les quantités de produit chargées. [8,9]

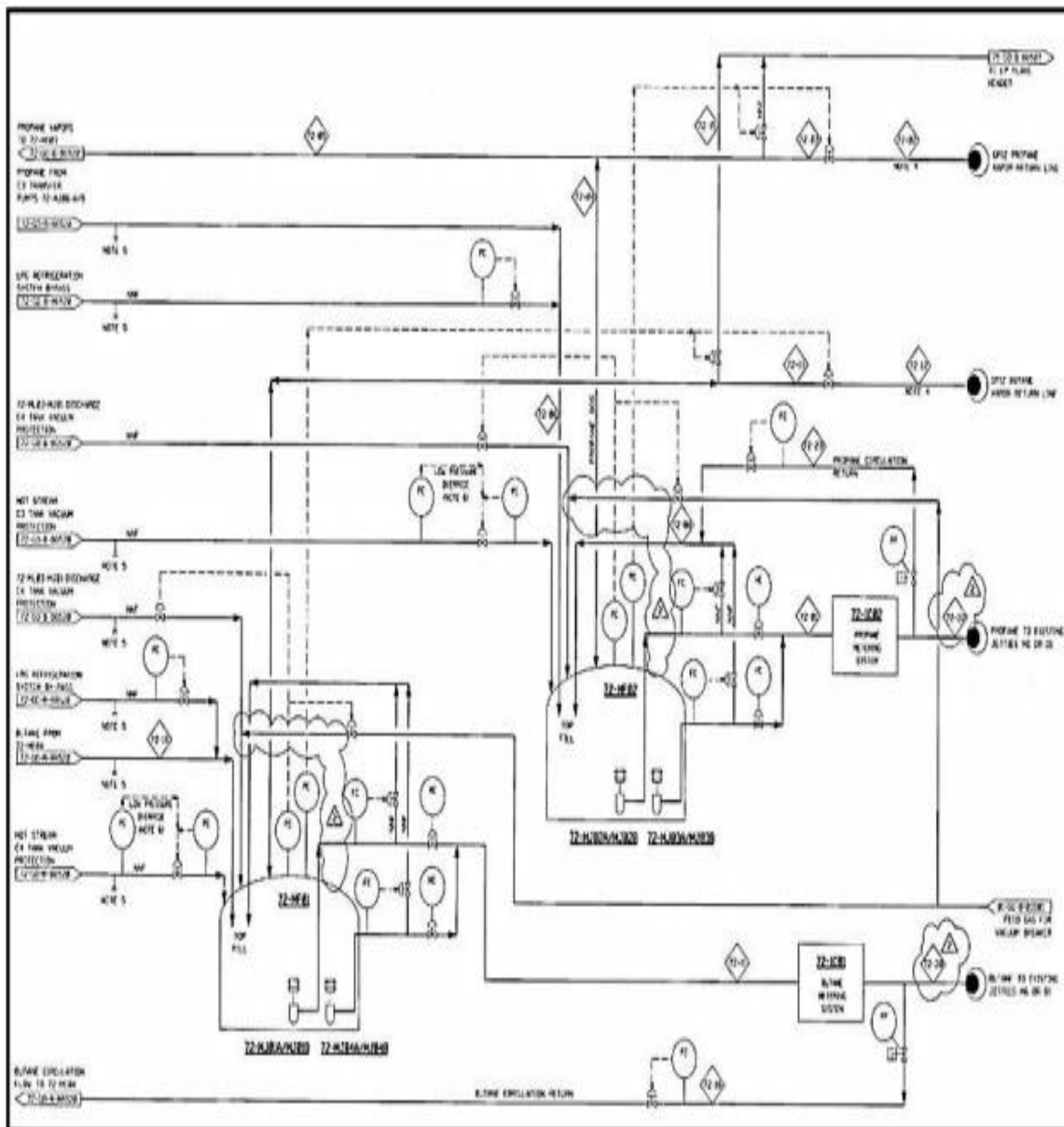


Figure II.3 : Les unités de stockage du butane (72-MF01) et du propane (72-MF02) au sein de la section de stockage.

### II.3. LES EQUIPEMENTS DE L'UNITE 72

Les équipements dédiés au stockage et au chargement de GNL de l'unité 72 sont répertoriés dans le tableau II.1 suivant [7].

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

Equipement	Utilisation /Signification
------------	----------------------------

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 C3 BP
72-MD04	Ballon d'Aspiration du Compresseur de C3 HP
72-MJ01-A/B	Pompes de Transfert de Butane
72-MJ02-A/B	Pompes de Transfert de Propane
72-MJ03-A/B	Pompes de Recirculation de Propane
72-MJ04-A/B	Pompes de Recirculation de Butane
72-MJ13-A/B	Pompes de Transfert de Propane
72-MC01	Pompes de Circulation de C3 de l'Accumulateur
72-MC03	Condenseur des Vapeurs du Réservoir de Stockage Propane
72-MC04	Echangeur HP Propane/Butane
72-MJ09-A/B	Echangeur BP Propane/Butane
72-MJ09-A-MD01	Ensemble du Compresseur de BOG 1er Etage
72-MJ09-B-MD01	Tour de Lavage d'Huile de Lubrification pour Compresseur 1er Etage
72-MJ10	Ensemble du Compresseur (BOG) 2eme Etage
72-MJ10-MD01	Tour de Lavage d'Huile de Lubrification pour Compresseur 1er Etage
72-MJ10-MC02	Refroidisseur d'Huile
72-IC02	Système de Comptage de Butane
722-CV01	Bassin de Rétention des Réservoirs de GPL

72-CV02	Bassin de Rétention de la Section de Réfrigération de GPL
---------	---

## II.4 LESBAC DE STOCKAGE

### II.4.1. Le réservoir de stockage du butane (72-MF01)

Le butane est acheminé depuis la section de fractionnement (unité 17) avec un débit massique variant entre 5 596 kg/h pour le cas de base à 38°C et 46 575 kg/h pour le cas lourd à 21°C. Il est à noter qu'aucune production de butane n'est observée dans le cas léger (Lean Case).

Le réservoir de stockage de butane (72-MF01) possède une capacité permettant une durée de stockage allant de 5,8 à 48,2 jours de production pour un train de procédé. Ce réservoir à intégrité totale est conçu de manière à ce que ses enceintes interne et externe puissent, chacune, contenir le gaz liquéfié de façon autonome. Les principales caractéristiques des équipements sont récapitulées dans le tableau II.2 [7].

*Tableau II.2 : Paramètres principaux du réservoir de stockage de butane*

Capacité opératoire (m <sup>3</sup> )	12000
Pression de calcul (bar)	0,290 /0,015
Température de calcul (°C)	45/-10
Pression opératoire (bar)	0,05
Température opératoire (°C)	-4,5
ID (mm) x TL (mm)	35000*16170

Le réservoir de stockage est défini par sa forme, ses dimensions géométriques (qui déterminent son volume), ainsi que par la pression et la température du produit stocké, ces deux dernières étant liées par la loi de la vapeur saturante.

**II.4.1.a Le réservoir interne :** Le réservoir interne, conçu pour contenir le produit liquide, est un réservoir en acier de forme cylindrique verticale et à fond plat. Un pont suspendu est monté à son sommet. Les matériaux du réservoir interne ainsi que du pont suspendu sont en ASTM A516 Gr. 60.

**II.4.1.b Le réservoir externe :** Le réservoir externe est constitué de voiles en béton post-contraint, solidement ancrés à la dalle de fondation en béton, ainsi que d'un toit en béton armé. Ce voile en béton est conçu pour contenir le liquide en cas de fuite du réservoir interne. Le réservoir externe et le dôme sont tous deux réalisés en béton.

Le système de stockage est équipé d'une ligne de refroidissement avec des tubulures de pulvérisation, permettant de maintenir une température contrôlée à l'intérieur du réservoir. De plus, un système de détection de fuite est installé dans l'espace annulaire situé entre les parois des réservoirs interne et externe. Ce dispositif permet une surveillance continue de cet espace afin de détecter toute éventuelle accumulation de butane [10].

#### II.4.2. Les données géométriques principales

Les caractéristiques principales du réservoir sont résumées dans le tableau II.3 ci-dessous :

*Tableau II.3 : les caractéristiques du bac de stockage GPL butane 72-MF01*

Réservoir Extérieur	Diamètre intérieur	37,0m
	Epaisseur du mur	0,55m
	Rayon de courbure interne du toit	38,85m
Réservoir Intérieur	Volume minimum utile	12000 m <sup>3</sup>
	Diamètre intérieur	35m
	Hauteur de robe	16,170m
	Surépaisseur de corrosion	0mm
Pression et Température	Température de calcul du produit	-10°C
	Masse volumique du produit	601kg /m <sup>3</sup>
	Pression maximale de calcul	290 mbar
	Pression minimale de calcul	-15 mbar
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		12000 m <sup>3</sup>

### II.4.2. Le Réservoir de Stockage de Propane (72-MF02)

Le propane est acheminé depuis la section de fractionnement (unité 17) avec un débit variant de 15,6 m<sup>3</sup>/h (soit 7 162 kg/h) à 38 °C dans le cas d'une production légère, jusqu'à 101,3 m<sup>3</sup>/h (soit 46 575 kg/h) à 21 °C dans le cas d'une production lourde. Le réservoir de stockage du propane (72-MF02) a une capacité suffisante pour couvrir entre 19,1 et 149,7 jours de production pour un train de procédé [11]. Les principales caractéristiques des équipements sont récapitulées dans le tableau II.4 suivant.

*Tableau II.4 : Données principales du Réservoir de Stockage du Propane.*

Capacité Opératoire (m <sup>3</sup> )	56000
Pression de Calcul (bar)	0,290 / -0,015
Température de Calcul MIN/MAX (°C)	-45/45
Pression Opératoire (bar)	0,05
Température Opératoire (°C)	-42
ID (mm) x TL-TL (mm)	56000 * 26050

## II.5 LES DIFFERENTES POMPES GPL

### II.5.1 Pompes de Transfert de Butane (72-MJ01-A/B)

Deux pompes centrifuges de transfert de butane, de capacité et de hauteur manométrique identiques, sont raccordées au réservoir de stockage 72-MF01. Chacune est équipée d'un contrôleur de débit minimum automatique individuel qui déclenche l'ouverture des vannes de recirculation 72-FV-5601-A/B si le débit descend sous les 700 m<sup>3</sup>/h.

Ces pompes fonctionnent en parallèle à un débit nominal de 1670 m<sup>3</sup>/h chacune, permettant un débit combiné de 3 340 m<sup>3</sup>/h lors des opérations de chargement à la jetée M6.

Pour faciliter la maintenance en fonctionnement, les pompes doivent être installées dans un puits adapté qui permet leur retrait. Un clapet de pied est monté à la base de chaque pompe et reste fermé lorsque le réservoir est à température ambiante.

Le débit de butane est régulé par les vannes 72-HV-5604-A/B et surveillé par les contrôleurs de débit 72-FIC-5601-A/B.

### **II.5.2 Pompes de Recirculation de Butane (72-MJ04-A/B)**

Le réservoir 72-MF02 est équipé de deux pompes de recirculation de butane. Une seule de ces pompes, fonctionnant à son débit nominal de 300 m<sup>3</sup>/h, est active en mode "Attente". Cette configuration assure le maintien d'une température froide et l'approvisionnement de l'échangeur BP propane/butane (72-MC04). Chaque pompe, présentant des caractéristiques (capacité et hauteur manométrique) identiques, est équipée d'un contrôleur de débit minimum. Ce dispositif déclenche la recirculation via les vannes 72-FV-5603-A/B si le débit chute en dessous de 145 m<sup>3</sup>/h.

Afin de permettre les interventions de maintenance sans interrompre le fonctionnement, les pompes doivent être logées dans un puits spécialement conçu pour leur retrait. Un clapet de pied est positionné à la base de chaque pompe et demeure fermé en raison de la température ambiante du réservoir. La régulation du débit de butane s'effectue au moyen des vannes 72-HV-5605-A/B, tandis que sa surveillance continue est assurée par les débitmètres 72-FIC-5603-A/B

### **II.5.3 Pompes de Transfert de Propane (72-MJ02-A/B)**

Le réservoir de propane 72-MF02 dispose de deux pompes de transfert. Ces pompes, identiques en termes de capacité et de hauteur manométrique, opèrent en parallèle. Leur débit nominal de 1 670 m<sup>3</sup>/h chacune assure une capacité totale de 3 340 m<sup>3</sup>/h lors des chargements effectués à la jetée M6. Chaque unité est munie d'un contrôleur automatique qui déclenche la recirculation (via les vannes 72-FV-5001-A/B) si le débit chute en dessous de 700 m<sup>3</sup>/h.

Afin de permettre leur retrait pour la maintenance sans interrompre le fonctionnement normal, il est nécessaire que les pompes soient installées dans un puits approprié. Un clapet de pied est positionné à la base de chaque pompe ; il demeure fermé en raison de la température ambiante régnant dans le réservoir. La régulation du débit de propane est assurée par les vannes 72-HV-5004-A/B, tandis que sa surveillance est effectuée via les contrôleurs 72-FIC-5001-A/B

### II.5.4 Pompes de Recirculation de Propane (72-MJ03-A/B)

Le réservoir de propane 72-MF02 est doté de deux pompes de recirculation identiques. Lorsque le système est en mode "Attente", une seule de ces pompes est active, fonctionnant à son débit nominal de 300 m<sup>3</sup>/h afin de maintenir une température basse. Chacune de ces pompes est équipée d'un contrôleur automatique qui déclenche la recirculation (via les vannes 72-FV-5003-A/B) si le débit chute en dessous de 145 m<sup>3</sup>/h.

Pour permettre leur maintenance sans interrompre le fonctionnement normal, les pompes doivent être installées dans un puits spécialement conçu pour leur retrait. Un clapet de pied, positionné à la base de chaque pompe, demeure fermé en raison de la température ambiante du réservoir. La régulation du débit de propane s'effectue au moyen des vannes 72-HV-5005-A/B, et sa surveillance est assurée par les contrôleurs 72-FIC-5003-A/B

### II.5.5 Pompes de Transfert de Propane (72-MJ06-A/B)

Les pompes centrifuges à moteur à gaine sont sélectionnées pour leur faible exigence en NPSH. Voici leur mode de fonctionnement :

- ✓ Opération standard : Généralement, une pompe est en service et l'autre est en mode veille.
- ✓ Gestion du niveau haut : Si le niveau dans le ballon d'aspiration 72-MD03 est très élevé et que la pompe active est arrêtée, la pompe en attente démarre automatiquement via la logique d'arrêt 72-IZ2-4105. De plus, un niveau haut peut également relancer la pompe principale si elle était à l'arrêt.
- ✓ Gestion du niveau bas : En cas de niveau très bas, les deux pompes se mettent en marche simultanément.

L'ensemble de ce processus est piloté par le système de contrôle centralisé (DCS), en coordination avec les contrôleurs 72-LIC-4105 et 72-FIC-0008. Il est à noter que le démarrage d'une pompe n'est possible que si la vanne d'aspiration ESDV-0026 est ouverte.

Chaque pompe est munie d'un contrôleur de débit minimum qui déclenche l'ouverture de la vanne 72-FV-0008 si le débit chute en dessous de 50 m<sup>3</sup>/h. Le débit de refoulement est quant à lui régulé par la vanne 72-LV-0013 [6].

## II.6 SYSTEMES DE COMPTAGE DU GPL

### II.6. 1 Système de comptage de propane (72-IC02)

Le système de comptage de propane (72-IC02) a pour fonction de mesurer précisément le débit de propane liquide exporté depuis l'usine GNL-3Z. Une unité de comptage est positionnée sur le collecteur de 24 pouces, acheminant le propane du réservoir de stockage 72-MF02 vers les bras de chargement, grâce aux pompes de transfert de propane (72-MJ02-A/B).

Ce système est articulé autour de deux sections de comptage distinctes : l'une est dédiée à la mesure continue du débit d'exportation, et l'autre est réservée à la calibration de la première. Une précision de comptage du débit massique d'au moins  $\pm 0,2\%$  est requise, avec un niveau de confiance de 95%.

Les opérations de chargement peuvent s'effectuer selon deux options de débit principales :

- ✓ **Débit opératoire minimum** : 1340 m<sup>3</sup>/h (lors des exportations vers la Jetée D1).
- ✓ **Débit opératoire maximum** : 3340 m<sup>3</sup>/h (lors des exportations vers la Jetée M6)

### II.6. 2 Système de Mesure du Débit de Butane (72-IC01)

Le système de comptage de butane (72-IC01) est conçu pour mesurer le débit de butane liquide exporté depuis l'usine GNL-3Z. Une unité de comptage est installée sur le collecteur de 24'', par lequel le butane, stocké dans le réservoir 72-MF01, est transféré aux bras de chargement via les pompes de transfert de butane (72-MJ01-A/B). Le système comporte deux sections de comptage : la première mesure en continu le débit de butane exporté, tandis que la deuxième sert exclusivement à la calibration de la première. La précision de mesure du débit massique doit être égale ou supérieure à  $\pm 0,2\%$ , avec un niveau de confiance de 95%.

Le chargement peut se faire à deux débits différents.

- 1) cas opératoire minimum : 1 340 m<sup>3</sup>/h (lors de l'exportation vers la Jetée D1).
- 2) cas opératoire maximum : 3 340 m<sup>3</sup>/h (lors de l'exportation vers la Jetée M6).

## II.7 LES ECHANGEURS PROPANE/ BUTANE

### II.7.1 Echangeur HP Propane/Butane (72-MC03)

Dans l'échangeur haute pression 72-MC03, le butane est transféré et circule côté tube. Le propane, quant à lui, est utilisé comme fluide réfrigérant côté calandre pour le refroidir. La pression du butane est régulée par le contrôleur 72-PIC-0008 qui agit sur la vanne 72-PV-0008. Parallèlement, le niveau de propane liquide dans la calandre est maintenu par le contrôleur 72-LIC-0004 via la vanne 72-LV-0004.

Le butane refroidi est ensuite acheminé vers l'échangeur basse pression 72-MC04. Les vapeurs de propane sont récupérées dans le ballon d'aspiration du compresseur haute pression 72-MD04. Pour garantir la sécurité et prévenir toute surpression, l'échangeur est équipé des soupapes de sécurité 72-PRV-0012-A/B.

### II.7.2 Echangeur BP Propane/Butane (72-MC04)

Dans l'échangeur basse pression 72-MC04, le butane provenant de l'échangeur haute pression (72-MC03) se mélange à celui issu du collecteur de recirculation, avant de circuler côté tube. Le propane, quant à lui, est utilisé comme fluide réfrigérant pour le sous-refroidissement. Il circule côté calandre depuis le ballon d'aspiration du compresseur de gaz évaporés haute pression.

La température du propane est régulée par la vanne 72-PV-0004, contrôlée en cascade par les régulateurs 72-TIC-0007 et 72-PIC-0004. Le niveau de liquide côté calandre est maintenu via la vanne 72-LV-0002, gérée par le contrôleur 72-LIC-0002.

Le butane refroidi est ensuite dirigé vers le réservoir 72-MF01, tandis que les vapeurs de propane sont récupérées dans le ballon d'aspiration du compresseur basse pression 72-MD03. Pour prévenir toute surpression, l'échangeur est équipé des soupapes de sécurité 72-PRV-0011-A/B. [6].

## II.8 LES BALLONS D'ASPIRATION DE L'UNITE 72

### II.8.1 Ballon d'aspiration du compresseur de gaz évaporés HP (72-MD04)

Le ballon d'aspiration 72-MD04 assure une rétention de 10 minutes entre les niveaux LLL et HLL. Il reçoit les vapeurs de propane générées par le refroidissement du butane (via l'échangeur

HP 72-MC03), par la détente du propane à travers la vanne 72-PV-0019, et par l'alimentation en liquide depuis l'accumulateur 72-MD01 (via la vanne 72-LV-0006). Ces vapeurs sont ensuite dirigées vers le compresseur BOG du réservoir de propane (72-MJ10).

Le propane liquide séparé est redirigé selon le niveau détecté, soit vers l'échangeur basse pression (72-MC04), soit vers le ballon basse pression (72-MD03). Chaque entrée du ballon est dotée d'un tuyau semi-coupé pour améliorer la séparation gaz/liquide. Un débrumeur empêche les gouttelettes résiduelles d'atteindre le compresseur.

La pression est régulée via le contrôleur 72-PIC-0018 et la vanne 72-PV-0018. Le niveau est maintenu grâce au contrôleur 72-LIC-0008 et la vanne 72-LV-0008. Un déclenchement automatique du compresseur est prévu en cas de niveau très haut (HH), détecté par les capteurs 72-LT-0016-A/B/C. Pour la sécurité, le ballon est équipé de soupapes de surpression 72-PRV-0015-A/B. [6].

### **II.8.2 Ballon d'aspiration du compresseur de gaz évaporés de propane BP (72-MD03)**

Le ballon 72-MD03 assure un temps de rétention de 10 minutes entre les niveaux LLL et HLL. Il reçoit les vapeurs de propane issues du sous-refroidissement du butane (via l'échangeur 72-MC04), ainsi que celles générées par la détente, avant de les diriger vers les compresseurs BOG du réservoir de propane 1er étage (72-MJ09-A/B). En mode "Attente", les vapeurs de propane (C3) produites dans le réservoir de stockage (72-MF02) sont également envoyées à ce ballon.

Chaque arrivée de vapeur est équipée d'un tuyau semi-ouvert favorisant la séparation des phases, et un débrumeur empêche les gouttelettes liquides d'atteindre les compresseurs. Le propane liquide séparé est renvoyé vers le réservoir de stockage via les pompes 72-MJ06-A/B (fonctionnement alterné). En cas de détection d'un niveau haut d'interphase (72-LT-0011), l'huile de lubrification récupérée est évacuée vers le système AOC (fluide accidentellement contaminé) via une vanne manuelle.

La pression du ballon est régulée automatiquement par le contrôleur 72-PIC-0016 et la vanne 72-PV-0016, tandis que le niveau de liquide est maintenu par 72-LIC-0013 et 72-LV-

0013. Un déclenchement automatique des compresseurs est prévu si un niveau très haut (HH) est atteint, détecté par les capteurs 72-LT-0014-A/B/C.

Enfin, en cas de basse pression à l'entrée des compresseurs, une vanne de recyclage (72-PV-0032) s'ouvre pour vaporiser le propane liquide au bas du ballon à l'aide d'un arroseur, maintenant ainsi une pression suffisante. Pour la sécurité, le ballon est équipé de soupapes de surpression 72-PRV-0014-A/B.

## **II.9 CONCLUSION**

Ce chapitre a permis de détailler le procédé de l'unité 72, englobant la réfrigération, le stockage et le chargement du GPL. Nous avons également identifié des caractéristiques principales des réservoirs de stockage internes et externes, ont été cruciales pour comprendre la formation des BOG (Boil-Off Gas) et ainsi, mettre en lumière les mécanismes de leur récupération. Cette compréhension approfondie est essentielle pour analyser et résoudre les éventuels dysfonctionnements au sein de la section de réfrigération de l'unité 72.

### **III.1 INTRODUCTION**

Durant notre stage pratique au complexe GL3/Z, nous avons constaté des fermetures répétées de la vanne 72-ESDV0001. Ce problème impacte la stabilité de la section de réfrigération, notamment en raison des variations de température et de débit.

Dans ce chapitre, nous analyserons en détail les causes de ces fermetures inopinées et évaluerons leur impact sur le fonctionnement de l'unité. Suite à cette analyse, nous proposerons des solutions et des recommandations concrètes pour résoudre ce problème récurrent et améliorer la fiabilité de l'unité.

### **III.2 PRESENTATION DU PROBLEME**

Pendant notre stage au complexe GL3/Z, nous avons constaté plusieurs problèmes dans le processus. Nous avons choisi de nous concentrer sur un problème spécifique : la fermeture répétée de la vanne 72-ESDV0001 dans la section de réfrigération propane/butane de l'unité 72. Cette vanne, située sur la ligne d'alimentation du bac de stockage de butane (72-MF01), se ferme automatiquement lorsque la température du butane atteint  $-8^{\circ}\text{C}$  ou moins. Ce signal est envoyé par l'instrument 72-TALL-0033 afin d'éviter d'atteindre la température critique de  $-10^{\circ}\text{C}$  fixée pour le bac. Une fois la vanne fermée, le butane est redirigé vers le bac de stockage via la ligne de by-pass de la section de réfrigération, en passant par la vanne 72-XV0042.

Cette situation entraîne plusieurs conséquences négatives :

1. Pertes de butane dues au "boil-off".
2. Pertes de butane lors des opérations de réchauffement des lignes après qu'elles aient atteint de basses températures.
3. Pertes de butane vers la BDC (Blowdown Drum/Démarrage de la torche).
4. Noircissement de la torche et pollution atmosphérique.

#### **III.2.1 Cause du problème**

Pour cerner l'origine du problème, nous avons analysé les variations des paramètres de fonctionnement de la section de réfrigération. Cette analyse a été effectuée sur une période donnée à l'aide du logiciel PIMS, ce qui nous a permis de retenir les dates présentées dans le tableau III.1.

Tableau *Error! No text of specified style in document..1*: Période de la fermeture d'ESDV0001.

Date	Période de la fermeture d'ESDV0001	
	Début	Fin
2/2/2025	05.09	08.31
3/2/2025	21.53	00.31
4/2/2025	23.26	01.07
5/2/2025	00.08	05.43
6/2/2025	16.14	08.57
9/2/2025	06.55	08.08
10/2/2025	13.14	16.14
11/2/2025	23.53	02.38
12/2/2025	03.17	09.38
13/2/2025	04.55	08.28

Les dates indiquées dans le tableau III.1 révèlent de multiples fermetures de la vanne 72-ESDV0001 dans la section de réfrigération. Ces fermetures peuvent parfois durer jusqu'à 16 heures, ce qui entraîne une baisse significative de la production de propane et de butane. Le tableau III.2 illustre directement cette diminution de production des produits.

*Tableau **Error! No text of specified style in document.**2: Influence de la fermeture de la vanne 72-ESDV0001 sur la production GPL.*

Date	Production des produits GPL (m <sup>3</sup> /h)	
	Butane	Propane
2/2/2025	249	643
4/2/2025	276	753
5/2/2025	255	898
6/2/2025	286	710
9/2/2025	281	758
11/2/2025	301	799
12/2/2025	263	798
13/2/2025	210	785

Après l'analyse des données détaillées en annexe A, nous avons identifié deux états de fonctionnement distincts pour l'unité 72 :

- Etat 1 : instabilité de l'unité ;
- Etat 2 : stabilité de l'unité.

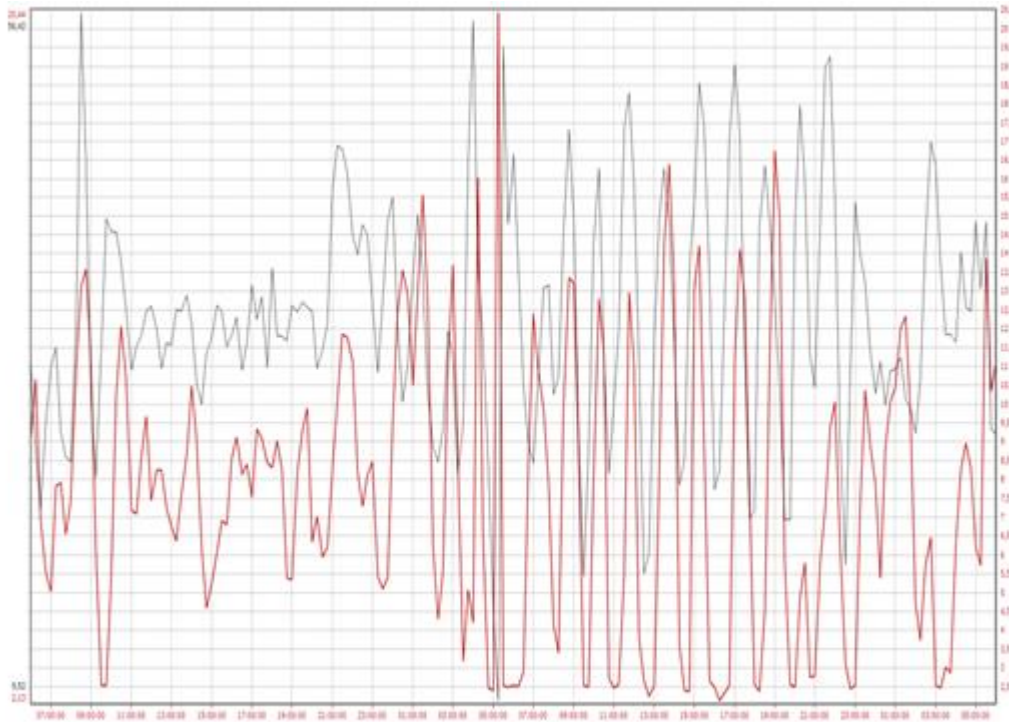
### III.3 ETAT D'INSTABILITE DE L'UNITE

En analysant les données de la période d'instabilité, nous avons relevé deux irrégularités principales :

- Des fluctuations significatives des débits de propane et de butane.
- Une baisse de la température d'entrée du propane et du butane, descendant parfois à 26°C ou moins.

#### III.3.1 Fluctuation du débit propane et butane

La figure III.1 illustre les fluctuations de débit de propane et de butane traitées par l'unité de réfrigération durant la période de janvier à février 2025. Afin de mieux comprendre et expliquer ces variations, les sections suivantes détailleront les schémas du procédé d'extraction du propane (C<sub>3</sub>) et du butane (C<sub>4</sub>) à partir du gaz naturel (GN).



*Figure Error! No text of specified style in document.1: Variation du débit propane/butane..*

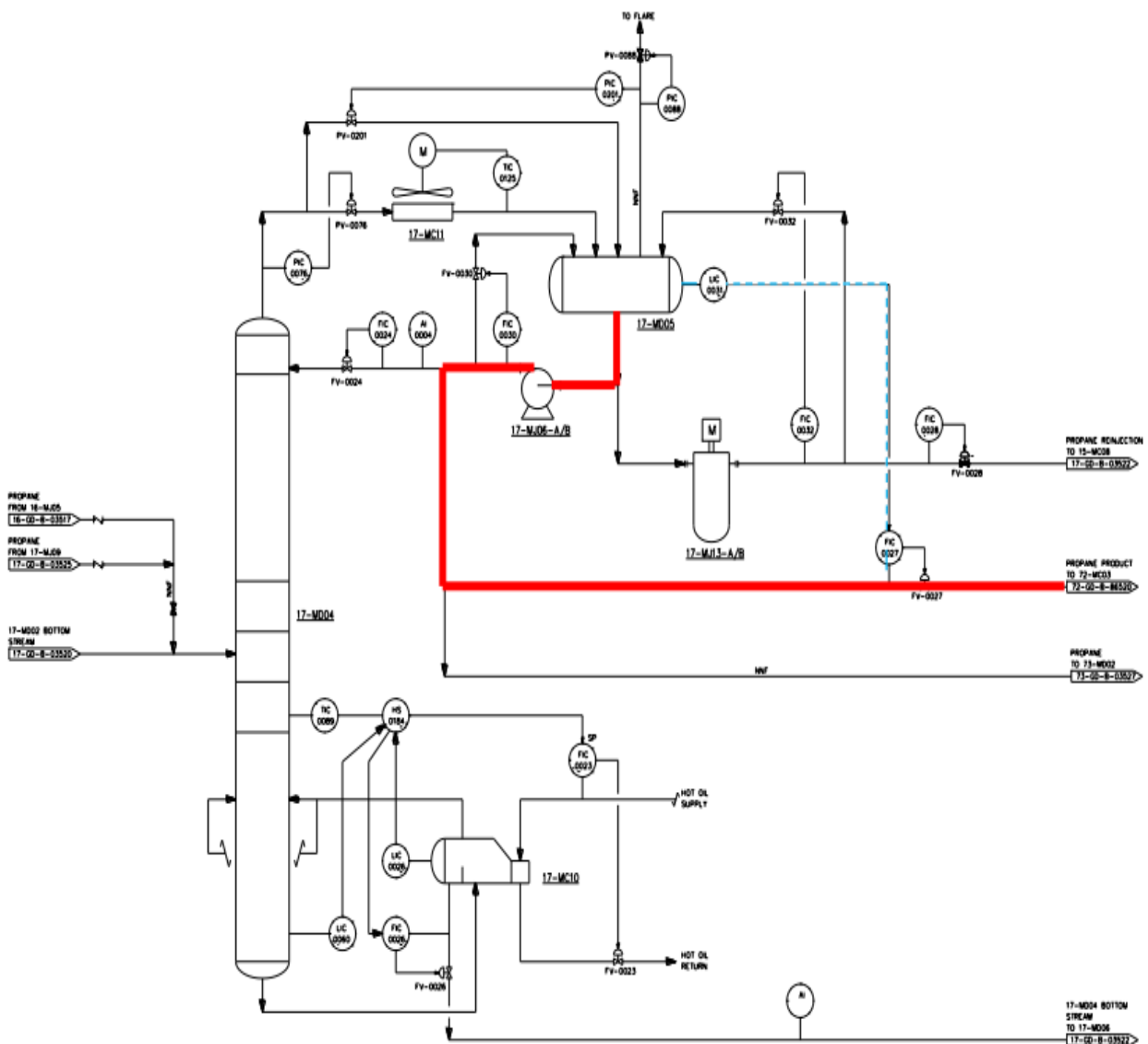
### III.3.1.1 Fluctuation du débit de propane

La colonne de dépropanisation, schématisé sur la figure III.2, a pour fonction de séparer le propane de la fraction C3+, qui provient du GNT après son passage dans la colonne de dééthanisation. Le produit de tête du dépropaniseur est ensuite condensé grâce à l'aéro-réfrigérant 17-MC11 avant d'être dirigé vers le ballon de reflux (17-MD05). Pour maintenir une température optimale du propane condensé, le contrôleur 17-TIC-0125 ajuste l'ouverture des pales du ventilateur. Une fois liquéfié, une portion du propane est renvoyée en haut de la colonne pour le reflux, tandis que le volume restant est transféré vers les unités de stockage à l'aide des pompes centrifuges de reflux 17-MJ06A/B.

Le système de contrôle du dépropaniseur gère le flux de propane en utilisant un transmetteur de niveau (17-LT-0031) dans le réservoir de reflux (17-MD05) et un transmetteur de débit (17-

FT-0027) sur la ligne de distribution. La vanne 17-FV0027 stabilise le niveau du réservoir en régulant le propane vers le stockage, tandis que la vanne 72-FV0027, contrôlée en cascade par le régulateur de niveau 17-LIC0031, gère le débit vers l'unité 72.

Quand le niveau du propane dans le réservoir 17-MD05 atteint sa consigne, la vanne 17-FV0027 s'ouvre pour transférer le propane vers l'unité 72. Cependant, l'unité 72 ne recevant qu'un faible débit de gaz naturel pauvre en propane (elle est conçue pour deux trains), le niveau dans le réservoir chute rapidement. Ce faible apport ne suffit pas à maintenir le niveau, entraînant la fermeture automatique de la vanne 17-FV0027 jusqu'à la stabilisation du système.



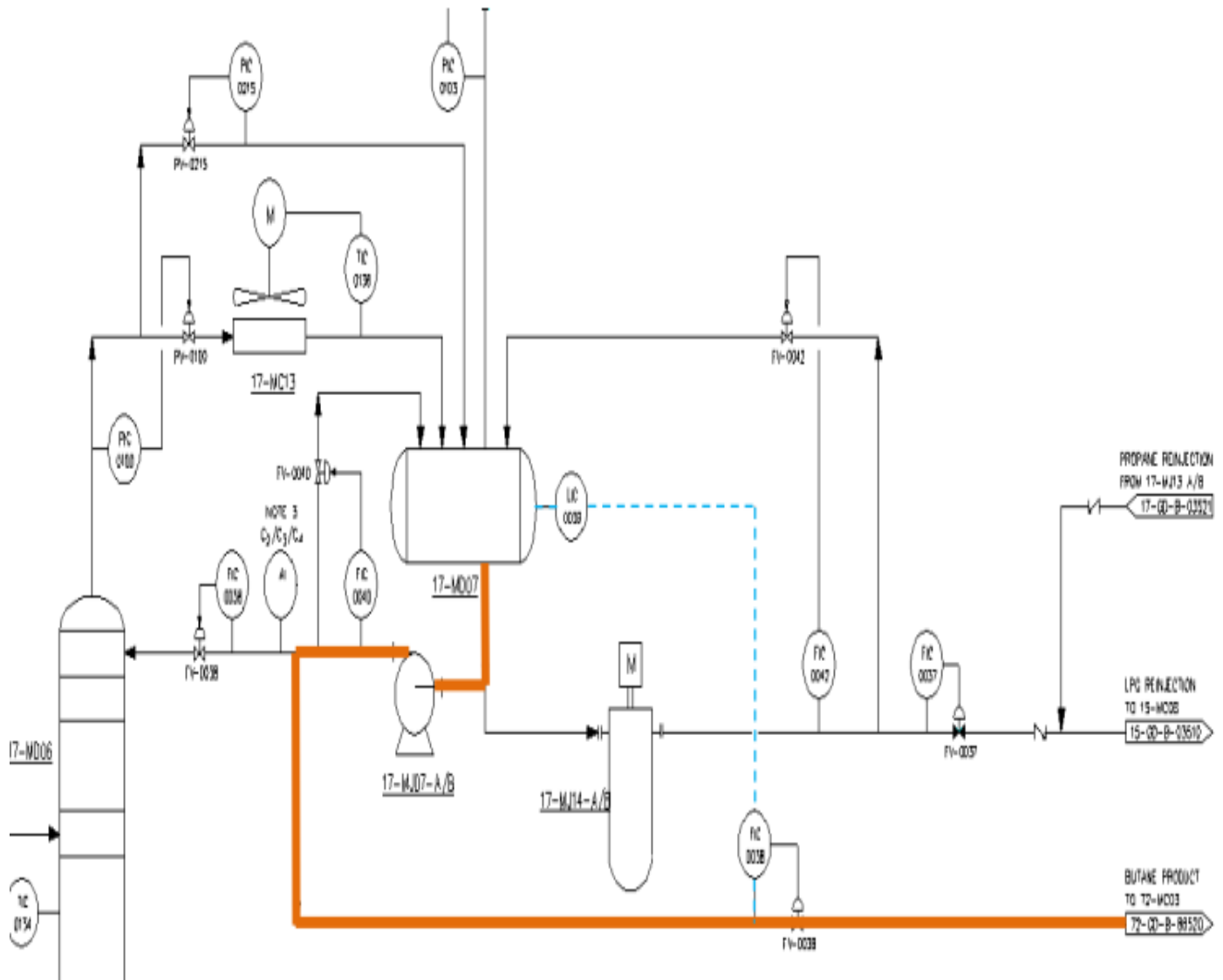
*Figure Error! No text of specified style in document..2: Procédé d'extraction de propane de la charge du GN.*

### III.3.1.2 Fluctuation du débit de butane

La colonne débutaniseur, illustré sur la figure III.3, sépare le butane (récupéré en haut) des pentanes et de la gasoline (récupérés en bas). Le butane gazeux est condensé par un aéro-réfrigérant (17-MC13) et recueilli dans un ballon de reflux (17-MD07). Un contrôleur (17-TIC-0136) ajuste la température du butane en régulant les ventilateurs.

Une partie du butane liquéfié retourne à la colonne comme reflux, et le reste est pompé (par 17-MJ07A/B) vers le stockage. Le niveau de butane dans le ballon de reflux est géré par un contrôleur (17-LIC-0039) qui ouvre ou ferme une vanne (17-FV-0038) située sur la ligne de sortie vers le stockage. Cette vanne s'ouvre lorsque le niveau atteint ou dépasse 60 %, transférant le butane vers l'unité 72.

Actuellement, l'unité 72, bien que conçue pour traiter le butane de deux trains, n'en reçoit qu'un seul avec une faible production de butane. Cela entraîne un niveau de butane instable dans le ballon de reflux. En conséquence, la vanne 17-FV-0038 s'ouvre et se ferme de manière intermittente, ce qui signifie que l'unité 72 reçoit un flux de butane irrégulier.



*Figure Error! No text of specified style in document..3: Procédé d'extraction de butane de la charge du GN.*

### III.3.2 Conséquences de la fluctuation de débit

#### III.3.2.1 Instabilité de la boucle de régulation de pression en fonction de la température

L'échangeur BP Propane/Butane (72-MC04) est équipé d'un transmetteur de pression (72-PT-0004) côté calandre et d'un élément/transmetteur de température (72-TE/TT-0007) sur la ligne

de sortie du butane, côté tubes. La vanne de régulation 72-PV-0004, située sur la ligne de vapeur de propane (côté calandre), a pour rôle de contrôler la température de sortie du butane en modulant la pression du propane dans la calandre.

Le contrôleur direct 72-PIC-0004 est en cascade avec la boucle 72-TIC-0007. Si la température du butane dépasse  $-5,5\text{ °C}$ , la consigne de pression (2,3 barg) est réduite. Cela provoque l'ouverture de la vanne 72-PV-0004 lorsque la pression du propane est trop élevée. La vanne 72-PV-0004 s'ouvre si la pression mesurée dépasse la consigne définie dans le contrôleur 72-PIC-0004, et se referme dans le cas inverse.

Cependant, la réponse de cette vanne est lente, surtout face aux variations du débit d'entrée. Quand la charge de butane augmente, la vanne s'ajuste en fonction du signal de température (TIC-0007) en modifiant la pression. Or, cette variation de pression n'a pas un effet immédiat sur la température du butane, ce qui crée un délai de stabilisation.

Le problème majeur provient des fluctuations rapides et fréquentes de la charge de butane. Dès que la boucle de régulation commence à se stabiliser, une baisse soudaine de la charge survient. Cela entraîne un refroidissement rapide du butane dû à la faible pression dans l'échangeur 72-MC04. Comme la régulation est lente, la température chute fortement, pouvant atteindre  $-20\text{ °C}$ .

Parfois, l'opérateur intervient manuellement en modifiant la consigne du régulateur de température 72-TIC-0007 afin d'anticiper une augmentation de la pression dans l'échangeur 72-MC04. Le tableau III.3 suivant illustre cette action durant la journée du 31 janvier 2025, où nous avons remarqué une fermeture répétée de la vanne 72-ESDV0001.

À chaque baisse de débit, l'opérateur augmente manuellement le point de consigne pour accélérer la fermeture de la vanne 72-PV-0004. Le but est de faire remonter la pression, une mesure préventive pour éviter la fermeture de la vanne de sécurité 72-ESDV-0001. Cependant, cette action n'est pas toujours suffisante, et la vanne de sécurité se ferme parfois.

En conclusion, la boucle de régulation ne réagit pas assez rapidement aux fluctuations brusques et fréquentes du débit de butane, ce qui provoque une chute significative de la température.

*Tableau **Error! No text of specified style in document..3**: Changement de SP 72-TIC0007 avec la variation de température et de débit.*

Date/ heure	72-FI0006	72-TIC0007.PV	72-TIC0007.SP
31/01/2025 00 :42	8,4	-2,1	-2,5
31/01/2025 07 :04	4,79	-6,17	-2,5
31/01/2025 07 :46	4,76	-3,7	-4
31/01/2025 08 :29	17,55	-7,2	-2,5
31/01/2025 09 :11	5,91	-4,43	-3,5
31/01/2025 11 :18	6,08	-4,93	-5,3
31/01/2025 12 :43	5,7	-5,14	-5
31/01/2025 14 :09	10,43	-4,91	-5,5
31/01/2025 15 :33	7,61	-5,8	-5
31/01/2025 16 :15	9,84	-5,28	-4

### III.3.2.2 Chute de pression dans le ballon 72-MD04 et 72-MD03

Les fluctuations des charges en propane et en butane ont un impact direct sur la pression de vapeur dans les ballons 72-MD04 et 72-MD03. Une diminution de la quantité de vapeur de propane entraîne une chute de pression. Ce phénomène est accentué par une mauvaise régulation de la charge des compresseurs, ce qui aggrave d'autant plus la baisse de pression.

En conséquence, la pression dans le ballon 72-MD04 devient insuffisante pour alimenter correctement l'échangeur 72-MC04 en propane, et le niveau de propane dans ce ballon est alors presque nul.

Le système de régulation de la charge des compresseurs utilise une électrovanne pour contrôler les phases de chargement et de déchargement. Auparavant, un problème de conception avec cette électrovanne entraînait des blocages des compresseurs dans l'un des deux modes de fonctionnement. Lorsque le compresseur se retrouvait bloqué en mode chargement, une chute de pression était observée dans le ballon d'aspiration. Ce problème a été réglé.

**III.3.3 Instabilité des températures propane et butane à l'entrée de la section 72**

Le propane et le butane arrivent à l'unité 72 à une température inférieure à celle prévue par le design, ce qui provoque :

**III.3.3.1. La chute de pression dans le ballon 72-MD04 et absence de niveau dans l'échangeur 72- MC04**

Dans l'échangeur de chaleur 72-MC03, le butane provenant de l'unité de fractionnement transite par le côté tube, tandis que le propane, s'écoulant côté calandre, assure son refroidissement. Le propane utilisé dans ce processus est ensuite dirigé vers le ballon 72-MD04 sous forme de vapeur.

L'injection de propane sous-refroidi dans l'échangeur 72-MC03 diminue l'efficacité de l'évaporation due à l'échange thermique avec le butane. Cela conduit à un apport limité de vapeur dans le ballon 72-MD04, provoquant une chute de pression. Si l'on ajoute à cela les variations de débit ainsi qu'une régulation inadéquate des compresseurs, cette pression diminue encore plus.

Le diamètre de la ligne d'alimentation du ballon 72-MD03, situé en point bas, est supérieur à celui de la ligne alimentant l'échangeur 72-MC04, situé en hauteur. Étant donné la faible pression dans le ballon 72-MD04, le niveau de cet échangeur est presque toujours nul.

**III.3.3.2 Instabilité de la boucle 72 TIC0007**

Un faible débit de vapeur de propane dans l'échangeur 72-MC04 ralentit la réaction de la boucle de régulation 72-TIC0007. Cette diminution du débit de propane empêche une augmentation efficace de la pression lorsque le débit de butane diminue.

Les données recueillies le 1er février 2025 (voir Tableau III.4) illustrent l'influence des températures du propane et du butane sur la pression de l'échangeur.

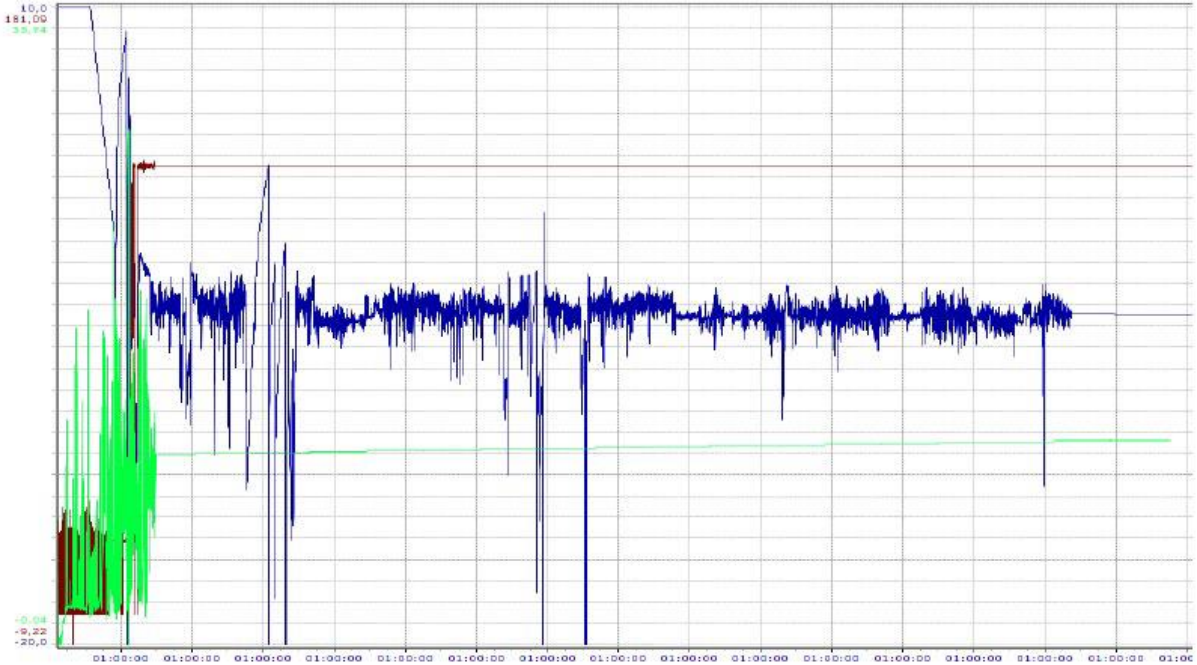
Ce cas de figure montre que le traitement de butane et de propane sous-refroidis a une influence négative sur la pression de fonctionnement de l'échangeur 72-MC04. Même si le contrôleur 72-PIC0004 demande une pression plus élevée, cette dernière ne peut être atteinte. Ce déséquilibre complique significativement le contrôle thermique du procédé.

*Tableau Error! No text of specified style in document..4: Influence de la température propane/butane sur la pression du 72-MC04.*

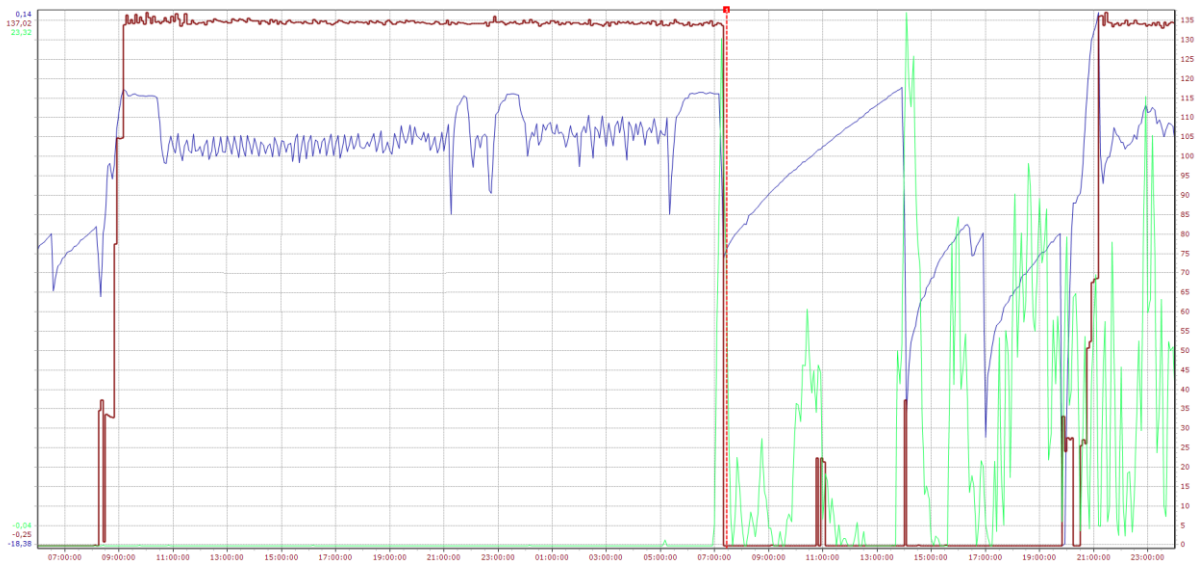
Date	72PIC0007 PV	72PIC0007 SP	72TIC0008 PV	72TIC0007 PV
1/2/2025 7.21	2.69	3	16.83	20.81
1/2/2025 7.27	2.64	2.99	13.67	18.82
1/2/2025 7.35	2.61	2.99	11.91	17.39
1/2/2025 7.36	2.58	2.99	11.77	17.25
1/2/2025 7.37	2.59	2.99	11.53	17.12
1/2/2025 7.38	2.62	2.99	11.44	16.94
1/2/2025 7.39	2.65	2.99	11.09	16.82
1/2/2025 7.45	2.69	2.99	10.53	16.31
1/2/2025 7.47	2.69	2.99	10.39	16.2
1/2/2025 7.48	2.68	2.99	10.42	16.12
1/2/2025 7.49	2.69	2.99	10.31	16.04
1/2/2025 7.50	2.72	2.99	10.32	15.96
1/2/2025 7.51	2.8	2.99	10.32	15.86
1/2/2025 7.52	2.81	2.99	10.03	15.8

III.4 ETAT DE STABILITE DE L'UNITE

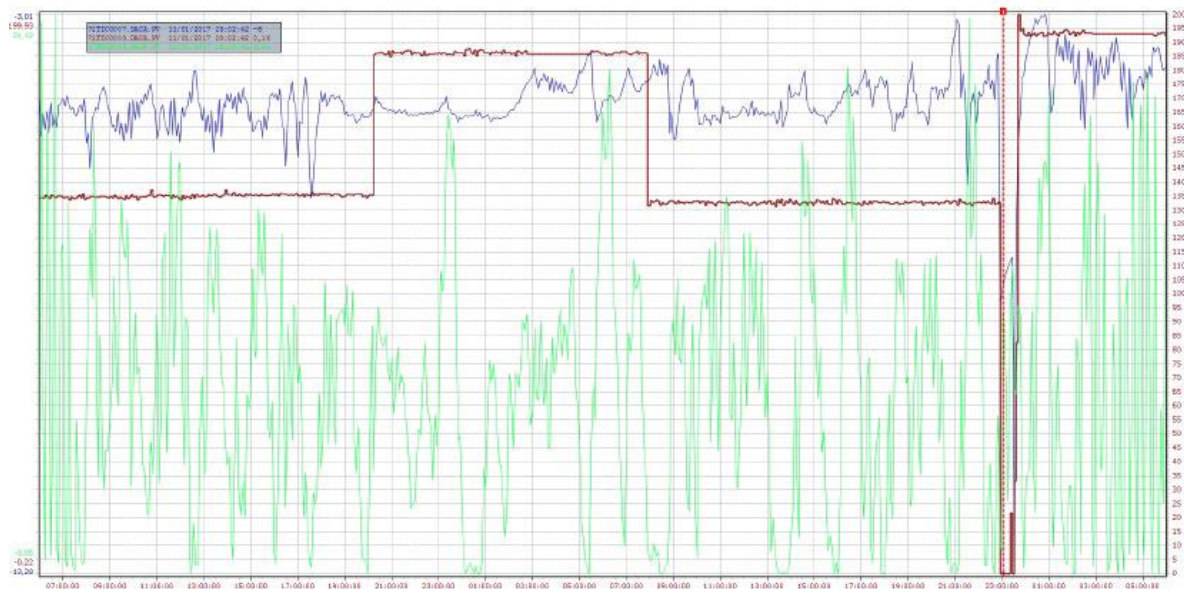
Les deux cas suivants illustrent des périodes de stabilité du fonctionnement de la section de réfrigération :



*Figure Error! No text of specified style in document..4: Variation de la température de sortie du butane et le débit de circulation durant la période de stage.*



(a)



(b)

■ Débit retour circulation
 ■ Température de sortie butane ver bac
 ■ Débit butane

*Figure Error! No text of specified style in document.5: Température de sortie du butane et le débit de circulation.*

Durant notre période de stage, les variations de débit et la chute de température du butane/propane n'ont pas eu d'impact notable sur le processus, illustré sur la figure III.4. Pour pallier ces problèmes, une pompe de circulation a été mise en service pour stabiliser la section de réfrigération. Paradoxalement, et ce malgré l'utilisation de cette pompe, un grand nombre de déclenchements a été enregistré durant cette période, comme le montre le tableau III.1.

La figure III.5 montre des fermetures de la vanne ESDV0001 dans les dates suivantes :

- La figure III.5 (a) à cause du déclenchement de la pompe de circulation.
- La figure III.5 (b) à cause du chargement de butane et cela implique l'arrêt de la circulation butane.

Durant la journée du 9 avril 2025, la section réfrigération est restée stable sans recours à la ligne de circulation du butane, à condition que le débit traité soit supérieur ou égal à 7 m<sup>3</sup>/h et que la température du propane et du butane dépasse 30 °C. Ce cas de stabilité est illustré sur le tableau III.5 suivant.

*Tableau III.5 : Variation des différents paramètres le 9-04-2025.*

	72TIC0007	72TIC0008	72FIC0003	17FIC0027	17FIC0038
9 /4 /2025 11 :50	-6	16.99	200	11.252	1513
9/4/2025 1.16	-5.5	-1.072	200	0	4.900
9/4/2025 8.00	-6.8	20.072	200	32.48	10.54
9/4/2025 9.00	-5.3	29	200	33.31	11.2
9/4/2025 10.00	-5.3	30	200	33.747	10.901
9/4/2025 12.00	-5.3	30.953	200	29.146	9.311
9/4/2025 14.00	-6.6	20.104	200	29.47	9.69

### III.5 RESUME D'ANALYSE

Les principaux problèmes de la section réfrigération qui ont entraîné la fermeture de la vanne 72-ESDV0001 sont la fluctuation du débit et le traitement d'un débit sous-refroidi de propane et de butane.

Ces deux causes ont directement provoqué les dysfonctionnements suivants :

- Chute de la pression dans les ballons d'aspiration des compresseurs.
- Absence de niveau de propane dans l'échangeur 72-MC04.
- Perturbation de la boucle 72-TIC0007.
- Instabilité de la température du butane vers le bac.

### III.6 SOLUTION ET RECOMMANDATION

Après une analyse approfondie, il est clair que l'unité 72 est particulièrement sensible aux variations de charge et de température du propane et du butane. Pour assurer son fonctionnement optimal, la stabilisation de ces deux paramètres est cruciale.

Cela implique de garantir :

- Une charge suffisante et stable des deux produits d'alimentation (butane et propane).
- Une pression adéquate au niveau du 72MD04 (supérieure à 4 barg) pour maintenir le niveau du 72MC04.

Afin de prévenir les perturbations dans la section de réfrigération, nous avons formulé plusieurs propositions de solutions.

### **III.6.1 Stabiliser la charge**

#### **III.6.1.a Utiliser la ligne de circulation butane**

La quantité de propane et de butane produite dépend directement de la composition du gaz naturel en entrée, ce qui signifie qu'elle n'est pas maîtrisable. Pour stabiliser le débit de butane, nous proposons d'utiliser la ligne de circulation et la pompe associée afin de maintenir un flux constant dans l'échangeur 72-MC04. Cependant, cette solution est limitée, car la ligne de circulation devient indisponible en mode chargement.

Ainsi, bien que cette approche ne soit pas une solution à long terme, elle s'avère utile pour prévenir la fermeture de la vanne 72-ESDV0001.

#### **III.6.1.b Utiliser le by-pass de la vanne 17-FV0038**

Lorsque la vanne 17-FV0038 se ferme et que la charge de butane chute, le by-pass assure le maintien d'un débit minimal.

### **III.6.2 Installation d'une vanne trois voies**

Comme le montre la figure III.6, nous recommandons d'installer une vanne à trois voies. Cette vanne permettra de contrôler précisément la température du butane avant son acheminement vers le bac de stockage. Elle fonctionnera en dérivant une partie du butane chaud (issu de l'entrée de l'unité avant le 72-MC03) pour la mélanger au butane sortant du 72-MC04. La consigne de son fonctionnement (ouverture/fermeture) proviendra du capteur de température en sortie du 72-MC04. L'avantage majeur de cette solution est qu'elle éliminera le risque de fermeture de la vanne de sécurité 72-ESDV0001.

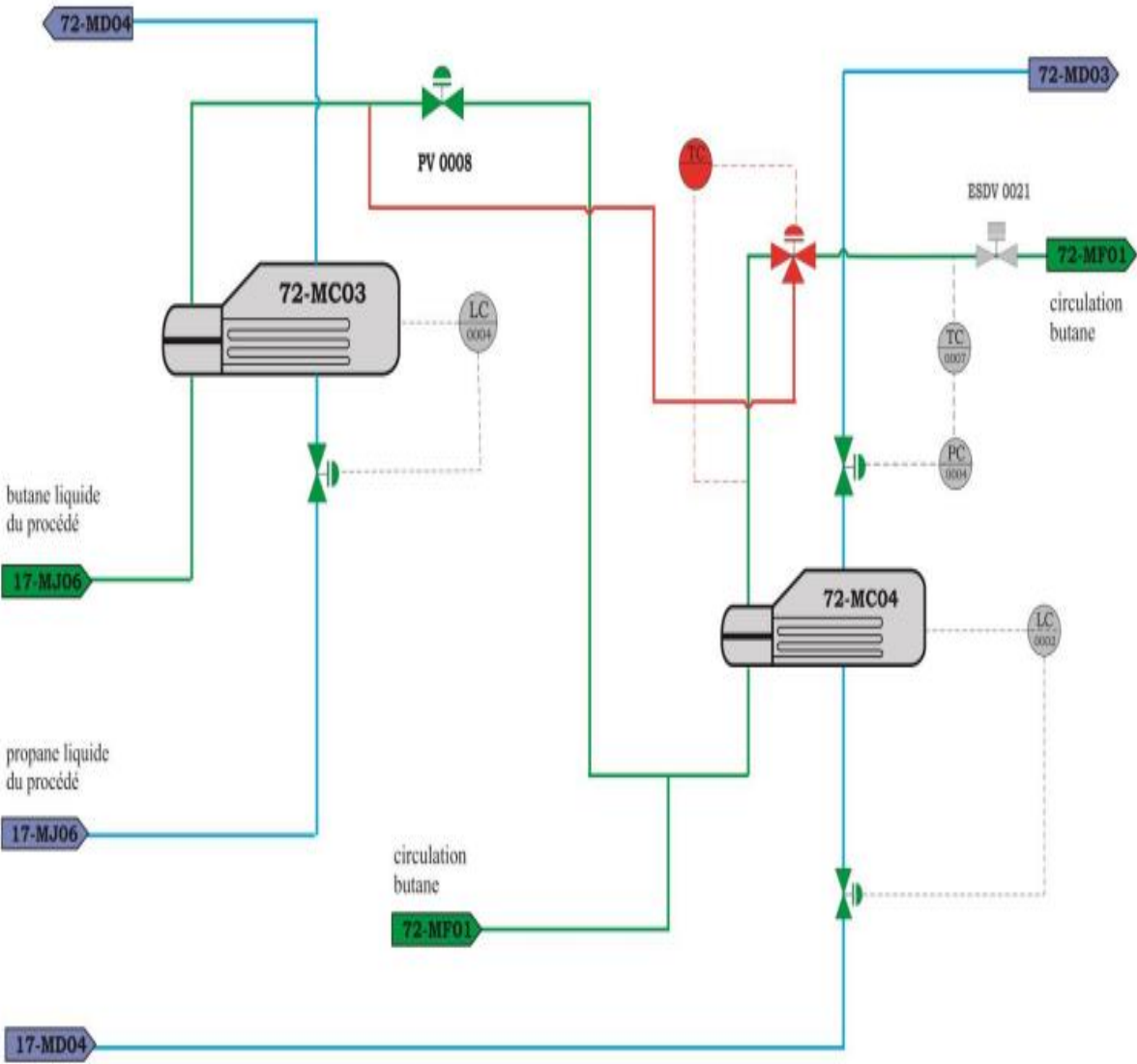


Figure Error! No text of specified style in document..6: emplacement de la vanne trois voix.

### III.6.3 Analyse comparative des solutions proposées

Afin de faire face aux problèmes rencontrés au niveau de la section réfrigération et d'assurer sa stabilité, nous avons exploré diverses solutions. Le tableau III.6 ci-dessous présente une analyse comparative de ces solutions, en détaillant leurs avantages et leurs inconvénients.

Tableau **Error! No text of specified style in document..5**: les avantages et inconvénients des solutions proposées.

<i>Solution</i>	<b>Côtés positifs</b>	<b>Côtés négative</b>
Utilisation de la ligne de circulation butane	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La boucle 72-TIC0007 est stable, garantissant une température de sortie du butane régulière.</li> <li>➤ Réduction des émissions de butane par torchage lors du refroidissement de la ligne de chargement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Instabilité de la température en cas d'arrêt du débit de circulation.</li> <li>➤ Consommation énergétique accrue.</li> </ul>
Utilisation du by-pass de la vanne 17-FV0038	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Prévention de la fermeture de la vanne 72-ESDV0001.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Implique la présence continue de l'opérateur sur site.</li> <li>➤ Exige un suivi continu des niveaux des ballons 72-MD05 et 72-MD07 par l'opérateur console.</li> </ul>
Installation d'une vanne trois voix	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Éliminer tout risque de fermeture de la vanne 72-ESDV0001.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nécessité d'une phase d'étude avant l'application du projet.</li> <li>➤ Un arrêt de la section réfrigération est requis pour l'exécution des travaux.</li> </ul>

D'après le tableau III.6, l'installation d'une vanne à trois voies est la meilleure solution. Le coût de cette installation reste à déterminer.

### **III.7 CONCLUSION**

En conclusion, les fermetures fréquentes de la vanne 72-ESDV0001 sont principalement dues aux variations de débit et aux températures insuffisantes du propane et du butane. Ces phénomènes perturbent de manière significative la régulation thermique de la section de réfrigération. Pour y remédier et assurer la stabilité opérationnelle de l'unité 72, plusieurs solutions ont été explorées et proposées, dont l'utilisation de la ligne de circulation, le by-pass de la vanne 17-FV0038, et l'installation d'une vanne à trois voies. Cette dernière représente la meilleure proposition pour empêcher les fermetures répétées de la vanne 72-ESDV0001.

Notre stage au complexe GL3/Z a été une expérience pratique enrichissante, nous permettant d'étudier en profondeur la section de réfrigération de l'unité 72. Cette immersion nous a éclairés sur l'importance économique et environnementale de la récupération du butane.

Dans ce rapport, nous avons analysé en détail les causes de la fermeture intempestive de la vanne 72-ESDV0001. Nous avons examiné l'impact des variations de température et de débit sur la stabilité de la section de réfrigération et avons formulé plusieurs recommandations :

- Augmentation de la température du mélange propane/butane à l'entrée de la section de réfrigération pour améliorer sa stabilité.
- Optimisation de la boucle de régulation 72-TIC0007 avec la 72-PV0004, en proposant une modification pour contrôler la température de sortie du butane en fonction de la charge.
- Démarrage de la pompe de circulation ou l'utilisation du by-pass de la vanne 72-FV0038 pour garantir un débit suffisant.
- Installation d'une vanne à trois voies à la sortie du butane vers le bac de stockage. Cette solution, bien que nécessitant une étude de faisabilité approfondie, représente une mesure définitive pour prévenir la fermeture de la vanne 72-ESDV0001.

Nous préconisons l'application combinée de ces solutions pour stabiliser durablement la section de réfrigération, la vanne à trois voies étant la solution la plus prometteuse pour résoudre définitivement le problème de la vanne 72-ESDV0001.

## Annexe A

Tableau 1: Variation des paramètres influant sur la section de réfrigération durant le mois février 2025.

Date	72TIC 0007. PV	72TIC 0007. SP	17FIC 0027 PV	17FIC 0038. PV	72PIC 0004. PV	72PIC 0004. SP	72TIC 0008. PV	72TIC 0005. PV	72PIC 0018. PV
02/02/2025 04 :00	-2,25	-2,5	55,88	4,2	2,74	2,73	25,02	23,22	3,26
02/02/2025 04 :07	-2,26	-2,5	47,96	2,84	2,67	2,68	25,56	23,22	3,06
02/02/2025 04 :08	-2,24	-2,5	44,77	6,7	2,67	2,66	25,61	23,28	3,11
02/02/2025 04 :10	-2,36	-2,5	39,62	14,17	2,69	2,69	25,66	23,37	3,13
02/02/2025 04 :14	-3,7	-2,5	37,38	17,41	2,91	2,89	25,72	23,43	2,97
02/02/2025 04 :15	-3,73	-2,5	38,96	16,05	2,92	2,86	25,72	23,34	3,01
02/02/2025 04 :17	-3,24	-2,5	42,07	12,13	2,94	2,86	25,71	22,98	3,15
02/02/2025 04 :18	-3,02	-2,5	40,38	9,9	2,89	2,84	25,7	22,99	3,12
02/02/2025 04 :29	-2,09	-2,5	33,69	6,93	2,75	2,75	25,56	23,25	2,9
02/02/2025 04 :35	-1,53	-2,5	29,28	2,85	2,58	2,59	25,37	22,38	2,88
02/02/2025 04 :36	-1,53	-2,5	28,18	2,72	2,56	2,56	25,34	22,18	2,91
02/02/2025 04 :37	-1,52	-2,5	27,04	2,45	2,54	2,52	25,29	22,27	2,96
02/02/2025 04 :38	-1,55	-2,5	26,12	2,54	2,51	2,54	25,28	23,25	2,53
02/02/2025 04 :59	-1,36	-2,5	15,58	2,35	1,94	1,95	24,53	23,83	2,32
02/02/2025 05 :00	-1,33	-2,5	15,71	2,4	1,91	1,91	24,51	23,84	2,35
02/02/2025 05 :08	-1,3	-2,5	8,3	16,6	1,69	1,65	24,52	23,89	2,17
02/02/2025 05 :09	-5,86	-2,5	7,93	20,93	1,87	3	24,51	23,87	2,29
02/02/2025 05 :10	-11	-2,5	6,93	20,29	1,95	2,95	24,52	23,91	2,43
02/02/2025 05 :18	-7,07	-2,5	16,84	20,42	2,26	2,52	24,56	24,02	2,56
02/02/2025 05 :22	-6,51	-2,5	36,78	20,41	2,3	2,47	24,56	24,03	2,74
02/02/2025 05 :24	-7,68	-2,5	54,72	30,55	2,31	3	24,54	24,04	2,7
02/02/2025 05 :25	-10,02	-2,5	57,27	16,06	2,31	3	24,58	23,87	2,69
02/02/2025 05 :30	-8,81	-2,5	54,05	2,54	2,34	2,79	24,55	23,96	2,9
02/02/2025 05 :31	-8,82	-2,5	52,76	2,49	2,34	2,8	24,51	23,97	2,89
02/02/2025 05 :32	-8,41	-2,5	52,07	2,47	2,33	2,7	24,51	23,99	2,68
02/02/2025 05 :58	-7 :03	-2,5	45,88	2,46	2,51	2,7	23,77	23,51	2,54
02/02/2025 05 :59	-7 :03	-2,5	46,08	2,5	2,51	2,7	23,72	23,25	2,55
02/02/2025 06 :35	-6 :22	-2,5	30,86	3,04	2,68	2,77	22,53	23,56	2,55
02/02/2025 06 :44	-6 :41	-2,5	28,45	8,3	2,58	2,84	20,66	23,08	2,54
02/02/2025 06 :54	-6 :45	-2,5	26,2	9,74	2,63	3	14,65	21,33	2,56
02/02/2025 06 :55	-8 :18	-2,5	23,36	9,13	2,64	3	14,33	21,2	2,58
02/02/2025 06 :56	-8 :61	-2,5	25,9	1,77	2,6	3	14,06	21,05	2,62
02/02/2025 06 :57	-8,43	-2,5	25,57	2,84	2,59	3	17,77	10,88	2,75
02/02/2025 06 :58	-8,06	-2,5	25,67	2,63	2,59	3	13,7	20,75	2,51
02/02/2025 06 :59	-7,82	-2,5	26,1	38,94	2,6	3	13,22	20,58	2,52
02/02/2025 07 :22	-8,66	-2,5	33,38	10,74	2,67	3	16,3	20,4	2,51
02/02/2025 07 :54	-7,21	-2,5	33,3	5,83	2,41	2,99	8,92	17,18	2,52

02/02/2025 08 :06	-6,79	-2,5	30,56	2,83	1,19	2,99	8,02	16,14	2,58
02/02/2025 08 :17	-6,48	-2,5	33,11	4,65	1,6	2,99	7,21	15,5	2,6
02/02/2025 08 :18	-6,48	-2,5	34,34	4,71	1,63	2,99	7,09	15,4	2,55
02/02/2025 08 :19	-6,45	-2,5	35,29	4,67	1,66	2,99	7,03	15,26	2,96
02/02/2025 08 :20	-8,3	-2,5	35,75	4,73	1,68	2,99	296	15,18	3,33
02/02/2025 08 :25	-18,48	-2,5	39,3	6,96	1,82	2,99	6,8	14,92	3,36
02/02/2025 08 :29	-12,18	-2,5	39,93	9,81	2,54	2,99	8,45	14,66	3,83
02/02/2025 08 :31	-9,22	-2,5	41,65	10,04	2,84	2,99	16,46	14,55	4,51
02/02/2025 08 :32	-7,85	-2,5	40,14	10,4	3	2,99	17,97	14,46	3,84
02/02/2025 08 :33	-6,54	-2,5	41,63	10,47	3,07	2,99	18,23	14,42	4,08
02/02/2025 08 :45	-2,51	-2,5	48,43	13,37	3,07	2,99	9,16	14,01	3,78
02/02/2025 08 :59	-4,7	-2,5	41,87	13,11	2,94	2,99	13,14	18,46	3,33
02/02/2025 09 :40	-3,89	-2,5	26,96	2,48	3,01	2,99	10,32	15,96	3,36
02/02/2025 10 :09	-4,52	-2,5	48,16	12,19	3,02	2,99	20,44	18,67	3,83
02/02/2025 16 :31	-2,88	-2,6	37,28	2,49	2,99	3	26,24	25,68	4,51
02/02/2025 18 :59	-0,35	-2,5	37,44	16,91	3,07	3	23,3	24,96	3,33
02/02/2025 19 :41	-4,18	-3	21,23	2,85	2,97	3	23,73	24,55	2,97

Tableau 2: Variation des paramètres influant sur la section de réfrigération durant le mois février 2025.

Date	72TIC 0007	72TIC 0007 SP	17FI 0027	17FIC 0038	72LIC 0002	72PIC 0004 PV	72PIC 0004 SP	72LIC 0008	72PIC 0018
26/2/2025 07 :27	-9.83	-4	29.96	9.37	72.02	2.25	1.61	2.94	2.71
26/2 :2025 13 :36	-12.34	-4	29.85	9.33	83.08	2.26	1.72	1.49	2.72
26/2/2025 15 :00	-8.73	-4	29.82	9.32	83.05	2.26	1.83	1.38	2.72
26/2/2025 08 :01	-12.41	-4.5	29.52	9.22	18.68	2.27	2.84	39.8	2.72
26/2/2025 14 :00	-10.39	-4.5	25.15	7.77	12.1	2.46	1.61	43.17	2.82
26/2/2025 14 :32	-10	-4.5	25.14	7.77	15.54	2.46	1.67	43.83	2.82
26/2/2025 15 :59	-7.53	-4.5	25.14	7.76	24.73	2.46	1.84	44.16	2.82
26/2/2025 17 :47	-9.89	-4.5	25.08	7.75	36.21	2.47	2.04	44.56	2.82
26/2/2025 19 :25	-7.85	-4.8	25.05	7.74	2.47	2.47	2.23	44.92	2.82