



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبدالحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M2/IP/2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Industries pétrochimiques

Spécialité : Génie pétrochimie

Thème

***ETUDE DE LA SECTION DE FRACTIONNEMENT POUR
RECUPERER DU GPL PERDU AU NIVEAU DU COMPLEXE GL2/Z***

Présenté par :

1. TOUALBIA Badra.
2. MOSTEFAI Hadjer Fatima Zohra.

Soutenu le 22 / 09 / 2024 devant le jury composé de :

Président	: Mr. A. DAHMANE	MAA	UMAB - Mostaganem
Examinatrice	: Mme .D. HALIMA	MAB	UMAB - Mostaganem
Encadreur	: M ^{me} .N. HADDOU	MCB	UMAB - Mostaganem

Année Universitaire : 2023/ 2024

Remerciements

Ce projet n'aurait pas abouti sans la bénédiction du Bon Dieu, qui nous a donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail et qui a entendu nos prières.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de manière directe ou indirecte à l'aboutissement de ce travail.

Tout d'abord, nous adresse mes respectueux remerciements à tous les membres du jury qui m'ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de mon travail.

Nous remercions également profondément M^{me}. H.DELALI Maitre Assistante B à l'université de Mostaganem, pour avoir accepté de présider ce jury.

Nous exprimons mes profonds remerciements à D^r. M^r .A. DAHMANE, Maître Assistante A à l'université de Mostaganem, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant d'examiner ce travail et de participer à ce jury.

Nous s'adressons également à D^r. M^{me} N. HADDOU, notre encadrant, nos remerciements pour son soutien et encouragements.

Nous présentons toutes nous expressions de remerciement et notre profonde gratitude à tout l'ensemble du personnel du complexe GL2Z surtout celui des départements : instrumentation, DRH, production et sécurité pour leur orientation, suivie, assistance et disponibilité.

Ainsi à tous les enseignants pour leurs efforts tout au long de nos années d'études.

Dédicaces

Je dédie ce travail à ma mère ma raison de vivre qui était loin de moi mais elle était toujours avec moi qui m'a encouragé à aller de l'avant et qui m'a donné tout son amour pour reprendre mes études.

À mes sœurs et frères.

*À toute ma famille **Et** à tous ceux que j'aime.*

MOSTEFAI HADJER FATIMA ZOHRA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

En premier lieu, à mes parents, qui ont consenti des sacrifices incommensurables pour mon éducation et mon bien-être. Ils se sont entièrement investis pour me soutenir tout au long de ma formation et sont à l'origine de ma réussite. Que Dieu les garde et les protège.

*À toute ma famille, ainsi qu'à mes chers frères Midou et Mohamed, à ma cousine et sœur de sang Sanaa, et à tous mes amis qui m'ont toujours **encouragé**.*

À tous ceux que j'aime.

TOUALBIA BADRA

SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicace	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste de tableau	
Résumé	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I. Présentation générale du complexe GNL2	2
I. Présentation du complexe GNL2/Z	2
I.1. Situation géographique du complexe	2
I.2. Description et fonctionnement du complexe GNL2/Z	3
I.2.1. Le complexe GL2/Z est constitué de trois zones principales	3
I.2.1.1. La zone de procédé	3
I.2.1.2. Zone d'utilité.....	4
I.2.1.3. Zone de stockage et de chargement	15
I.3. Description de la section fractionnement	16
I.3.1. La dééthanisation	17
I.3.2. La dépropanisation	18
I.3.3. La Débutanisation	19
I.4. Conclusion	21
CHAPITRE.II. ETUDE DE PROBLEME	
II.1. Introduction	22
II.2. Origine du mot gaz naturel	22
II.3. Origine du gaz naturel	22
II.4. les composants du gaz naturel	23
II.5. Importance du gaz naturel	24
II.6. Principe de procédé de liquéfaction	25
II.7. Problèmes d'exploitation rencontres	26
II.7.1. Introduction	26
II.7.2.Calcul du Bilan de Matière	28
II.7.3. Calcul le débit GN dans la charge d'alimentation	28
➤ Calcule la quantité d'éthane d'appoint MCR consommé dans train 200 et 400	33
➤ Calcul la quantité d'éthane vers appoint MCR (train 200)	34
➤ Calcule la quantité d'éthane vers appoint MCR (train 400)	35

SOMMAIRE

➤ Calcul de quantité d'éthane dans le gaz naturel liquéfié GNL	36
➤ Calcul de quantité d'éthane dans le fuel -Gaz	38
II.8. CONCLUSICON GENERALE	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
LES ANNEXES	

Liste des abréviations

GN : Gaz naturel

GNL : Gaz naturel liquéfié

C₁: Méthane

C₂: Ethane

C₃: Propane

C₄: Butane

He : Hélium

N₂ : Azote

MEA : Monoéthanolamine

1 ppm : 1 partie par million

MCR : Mélange des composants

F : Débit molaire.

X57 CA-CB : les deux réchauffeurs.

X01E : tour de lavage.

X16C : échangeur principale.

X51F : ballon tampon

X51E : dé-éthaniseur.

X51C : condenseur de dé-éthaniseur.

X52F : ballon de reflux de dé-éthaniseur.

X52C : rebouilleur de dé-éthaniseur.

151J/JA : pompe à reflux de dé-éthaniseur.

X52E : dé-propaniseur.

X53C : condenseur de dé-propaniseur.

X53F : ballon de reflux de dé-propaniseur.

X54C : rebouilleur de dé-propaniseur.

152J/JA : pompe à reflux de dé-propaniseur.

X60C : sous refroidisseur de butane.

X53E : dé-butaniseur.

X55C : condenseur de dé-butaniseur.

X54F : ballon de reflux de dé-butaniseur.

X56C : rebouilleur de dé-butaniseur.

X53J/JA : pompe à reflux de dé-butaniseur.

X56J/JA : pompe de réinjection.

X31E : colonne d'adsorption du CO₂.

X41C : échangeur à propane.

X41F : ballon séparateur.

X41DA/DB/DC : les trois sécheurs de la section déshydratation.

X42D : démercuriseur.

X31C : préchauffeur.

X03C-X04C-X05C-X06C : les quatre échangeurs à propane (chiller).

X17C : échangeur de gaz de rejet.

TF : transmetteur de débit.

Liste des figures

Figure.I.1. Situation Géographique du complexe GL2/Z	02
Figure.I.2. zone de procès	04
Figure.I.3. Section d'absorption CO ₂ et régénération MEA.....	07
Figure.I.4. Section de déshydratation	08
Figure.I.5. Séparation et liquéfaction.....	10
Figure.I.6. Boucle propane	11
Figure.I.7. Boucle MCR	12
Figur..I.8 Fractionnement.	13
Figure.I.9. Schéma de principe du procédé de GNL	15
Figure.I.10. Zone de stockage et chargement	16
Figure.I.11. La section dééthanisation	18
Figure.I.12. La section dépropanisation	19
Figure.I.13. La section débutanisation	20

Liste des tableaux

Tableau.I.1. Composition du gaz naturel	05
Tableau.I.2. les compositions du MCR	12
Tableau II.1 Les Pourcentage molaire du GN et leur température d'ébullition.....	23
Tableau II.2. La composition moyenne du gaz naturel de HSSI R'MEL.	24
Tableau II.3. Propriété physique de GN a l'alimentation des trains.	24
Tableau II.4. Condition d'entrée du GN a l'alimentation.....	24
Tableau II.5. La consommation d'énergie dans le monde en 1978 -1990.....	25
Tableau II.6. Composition du GNL	25
Tableau II.7. Condition de stockage du GNL	26
Tableau II.8. Les paramètres à l'entrée du train 200 et 400. (<i>Période 1 juin 2024</i>)	30
Tableau. II.9. La charge GN d'alimentation	31
Tableau. II.10. La charge de boucle MCR	33
Tableau.II.11. Composition du soutirage latérale (train 200)	34
Tableau.II.12. Composition du soutirage latérale (train 400)	35
Tableau. II.13. Production GNL du mois	36

Tableau.II.14. Composition chimique du GNL	37
Tableau.II.15. La charge des deux chaudières ABB et IHI	38
Tableau. II.16. La composition chimique du FG dans chaudière ABB	38
Tableau.II.17. La composition chimique du FG dans chaudière IHI	39
TableauII.18. Résultats récapitulatifs	40

Résumé

Nous avons réalisé notre stage pratique au sein du complexe GL2/Z, spécialisé dans la conversion du gaz naturel en gaz naturel liquéfié, ce qui rend le produit prêt pour la commercialisation à l'échelle locale et internationale.

Cette expérience nous a permis, d'une part, de vérifier que les quantités de GPL disponibles sont exploitables et répondent aux normes de qualité du marché, et, d'autre part, de constater un déficit dans la production de GPL en raison de la présence significative **du** problème au fond du déethaniseur. Par ailleurs, nous avons pu confirmer les quantités de GPL potentiellement récupérables pour la production de polyéthylène, conformément à la nouvelle stratégie de SONATRACH.

Abstract

We completed our practical internship at the GL2/Z complex, which specializes in converting natural gas into liquefied natural gas, making the product ready for commercialization on both local and international markets.

This experience allowed us, on one hand, to verify that the available LPG quantities are exploitable and meet market quality standards, and, on the other hand, to identify a shortfall in LPG production due to a significant presence of **problem** in the ethane separator. Additionally, we were able to confirm the quantities of LPG potentially recoverable for polyethylene production, in line with SONATRACH's new strategy.

ملخص

قمنا بإجراء تدریباتنا العملية في مجمع GL2/Z ، المتخصص في تحويل الغاز الطبيعي إلى غاز طبيعي مميّع مما يجعل المنتج جاهزاً للتسويق على الأسواق المحلية والدولية.

وقد أتاح لنا هذا التدریب، من جهة، التحقق من أن كميات الغاز النفطي المميّع المتاحة قابلة للاستغلال وتلبي معايير الجودة السوقية، ومن جهة أخرى، اكتشاف نقص في إنتاج الغاز النفطي المسال بسبب وجود مشكل في أسفل فاصل الايثان. بالإضافة إلى ذلك، تمكنا من تأكيد الكميات المحتملة من الغاز النفطي المميّع القابلة للاسترجاع لإنتاج البولي إيثيلين، بما يتماشى مع الاستراتيجية الجديدة لشركة سوناطراك.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Algérie est un acteur clé dans l'exportation des hydrocarbures, avec une part prédominante de gaz naturel liquéfié. Elle joue un rôle crucial dans le commerce international du gaz, se classant au 9^e rang mondial pour la production de gaz et au 1^{er} en Afrique. Le gisement le plus significatif est celui de Hassi R'Mel, situé dans le sud du pays, tandis que les principales unités de liquéfaction se trouvent dans le nord, à Arzew et Skikda.

Le gaz naturel, l'énergie fossile la moins polluante et l'une des énergies les plus compétitives du marché, il est considéré comme la troisième source d'énergie la plus consommée au niveau mondial, après le pétrole.

Le complexe GL2/Z se consacre principalement à la production et à la commercialisation du Gaz Naturel Liquéfié (GNL).

Notre projet, mené au sein des départements de production et technique du complexe GL2/Z, vise à améliorer l'efficacité et à mesurer la perte d'éthane dans ce complexe, qui pourrait potentiellement être récupérée pour la production de polyéthylène. Donc, nous évaluerons la quantité d'éthane en utilisant des bilans matières pour l'entrée du complexe, l'appoint MCR, le fuel gaz, et la sortie.

Pour mener à bien cette étude, nous avons procédé de la façon suivante :

Le premier chapitre consistera à présenter une description générale du complexe GL2/Z avec une analyse approfondie et une description des sections de séparation et de fractionnement (déeéthanisation , dépropanisation , Débutanisation) ..

Le second chapitre aura pour but d'étudier le problème, nous déterminerons la quantité d'éthane en réalisant des bilans matières à chaque étape du processus de production.

Enfin on termine cette étude par une conclusion générale.

1. PRESENTATION DU COMPLEXE GL2/Z

Le complexe GL2/Z est l'un des importants complexes de la branche LTH (Liquéfaction et transformation des hydrocarbures. il a été réalisé par la société américaine « Pullman Kellogg Plant service Alegria Inc. », Cette usine a été conçue pour le transport du GN sous forme liquide provenant de HASSI R'MEL par gazoducs. Il assure la liquéfaction de 41.25 millions de m³/jour de gaz naturel .Voici un aperçu succinct de son historique :

- Signature du contrat : 09 Février 1976
- Lancement des travaux d'engineering : 15 Avril 1977.
- Pose de la première pierre : 27 Février 1978.
- Première production de GNL : 11 Février 1981.
- Première expédition de GNL : 20 Juillet 1981.

I.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DU COMPLEXE

Le complexe GL2/Z est un site industriel de production de gaz naturel liquéfié (GNL) situé dans la zone industrielle d'Arzew dans le village de BETHIOUA, il est implanté en bordure de la mer et distante de 40 Km à l'ouest d'Oran et de 450 Km d'Alger, Il s'étend sur une superficie de 72 hectares. Sa situation en bord de mer lui permet d'exploiter l'eau pour refroidir les équipements, produire de l'eau distillée et lutter contre les incendies, tout en facilitant le transport du GNL via des méthaniers.

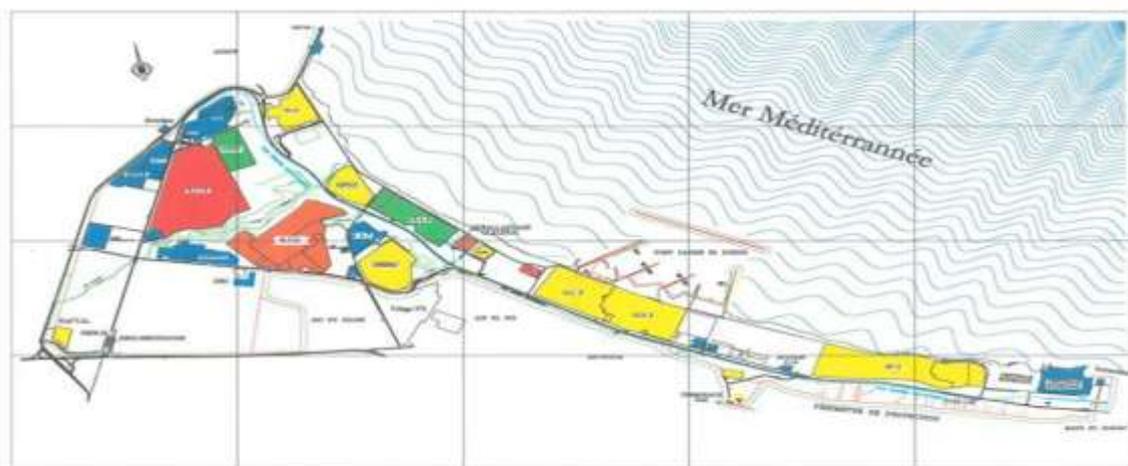


Figure.I.1. Situation Géographique du complexe GL2/Z.

I.2. DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT DU COMPLEXE GL2/Z

GL/2Z comprend six trains de liquéfaction **identiques indépendants**, fonctionnant en parallèle. Son processus de liquéfaction transforme le gaz de son état gazeux à l'état liquide, réduisant ainsi considérablement son volume. En refroidissant le gaz à environ -162°C , on le comprime jusqu'à 600 fois son volume initial, facilitant ainsi le transport en grandes quantités par méthaniers pour l'exportation.

Le GNL est stocké dans trois Bacs calorifugés d'une capacité de 100 Mille m^3 chacun. Par un procédé de fractionnement du gaz (Air Product), on récupère du propane à 380 Mille t/an, du butane 330 Mille t/an, de la gazoline 200 Mille t/an et de l'hélium. Le propane et le butane sont acheminés par canalisation vers le complexe GL1Z alors que la gazoline est **stocké** dans un bac de stockage de 14 Mille Tonne pour être exportée, l'hélium est conditionné **est** fourni à HELIOS pour sa commercialisation.

I.2.1. Le complexe GL2/Z est constitué de trois zones principales

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

I.2.1.1. LA ZONE DE PROCES

La zone de procédé est constituée de six trains identiques fonctionnant en parallèle. Ils sont alimentés de GN qui provient de Hassi-R'mel à une pression de 46 bars et à des températures ambiantes. Chacun produit 9000 m^3 /jour/train du GNL.

Le GN contient des hydrocarbures lourds et légers ainsi que des huiles, de l'eau, du gaz carboniques (CO_2) de l'azote, de l'hélium (He) et de mercure (Hg).

Chaque train est composé de sections suivantes :

- **Section traitement de gaz**
 - Dé-mercurisation.
 - Dé-carbonatation.
 - Déshydratation.

- **Section de séparation et de liquéfaction**
 - Séparation.
 - Liquéfaction.

- **Section fractionnement**
 - Déméthanisation.
 - Dépropanisation.
 - Débutanisation.



Figure.I.2. zone de procès.

I.2.1.2. ZONE UTILITES

Cette zone est principalement autonome et fournit toutes les utilités nécessaires pendant le démarrage et la mise en marche des six trains de liquéfaction ainsi que des installations de production. Le fonctionnement de l'usine de production de GNL requiert divers fluides et sources d'énergie, tels que la vapeur d'eau, l'eau de refroidissement, et l'air comprimé...etc.

Sources d'énergie : La vapeur d'eau est la source d'énergie choisie pour le complexe :

Trois chaudières haute pression 62 bars de 40 tonnes^{heure} par train. Une chaudière basse pression 4,5 plus deux chaudières IHI à 400 t). Cette vapeur **servent** à entraîner les équipements, tels que les turbogénérateurs et la turbopompe d'alimentation en eau de chaudière.

Source refroidissement : L'eau, utilisée comme source de refroidissement, est transportée par un ensemble de six pompes de grande puissance, chacune ayant une capacité de 37 000 m³/h. Ces pompes d'eau de mer assurent la distribution nécessaire pour le refroidissement dans les échangeurs au niveau des trains de liquéfaction et des utilités du complexe.

Production d'électricité : L'électricité est fournie par trois turbogénérateurs, chacun ayant une capacité de 20 MW, ainsi qu'une source SONELGAZ avec une tension de 60 kV. En conditions normales de fonctionnement, deux turbogénérateurs suffisent pour répondre à la demande énergétique totale d'environ 36 MW.

Unité de dessalement : Le complexe dispose de six unités de dessalement, chacune ayant une capacité de 45 m³/h, qui produisent de l'eau dessalée (eau distillée) pour alimenter les chaudières de 225 m³/h.

Production d'air comprimé : Une grande partie de l'instrumentation du complexe utilise la technologie pneumatique. L'air comprimé est produit par un ensemble de quatre compresseurs destinés au séchage et à la liquéfaction des hydrocarbures, avec un compresseur de secours disponible en cas de besoin

I.2.1.2.1. Procède de liquéfaction du gaz naturel du GL2/Z

Le gaz naturel, à sa sortie du gisement de HassiR'Mel, est un mélange d'hydrocarbures avec une teneur en méthane supérieure à 80 %. Il contient également de l'éthane, du propane, du butane, du pentane, ainsi que quelques traces d'hydrocarbures lourds. Le tableau suivant récapitule la composition du gaz naturel provenant de HassiR'Mel

Tableau.I.1. Composition du gaz naturel.

Composants	%Molaire moyen
N ₂	0,801
CH ₄	90,748
C ₂ H ₆	7,688
C ₃ H ₈	0,751
i-C ₄ H ₁₀	0,009
n-C ₄ H ₁₀	0,003
i-C ₅ H ₁₂	0,000

Le gaz naturel, entrant dans chaque train à un débit de 3 320 000 Nm³/h, doit être traité avant sa liquéfaction.

Afin d'éviter les problèmes de corrosion causés par le mercure, le complexe GL2/Z est équipé d'un démercuriseur capable d'éliminer le mercure du flux de gaz naturel.

Le dioxyde de carbone (CO₂) est extrait du gaz naturel par lavage à contre-courant dans une colonne d'absorption utilisant une solution de MEA.

Après la décarbonatation, le gaz naturel, encore saturé d'eau, passe ensuite dans la section de déshydratation pour éliminer l'humidité résiduelle.

I.2.1.2.2. Section de traitement de gaz

- **Démercurisation**

Le gaz doit être débarrassé du mercure (Hg), car cet élément attaque les équipements en aluminium. Tout d'abord, le gaz passe dans un ballon séparateur où les hydrocarbures liquides sont récupérés au fond du ballon.

À son entrée dans le train, le gaz naturel est régulé à une pression de 42 bars par une vanne, puis il passe dans le ballon séparateur X31 F, où tous les hydrocarbures liquides en suspension sont séparés et éliminés pour éviter l'encrassement du circuit. Ensuite, le gaz est chauffé à 38 °C dans le préchauffeur X31C, utilisant de la vapeur à 4,5 bars, avant d'entrer dans le démercuriseur X42D équipé de billes d'alumine pour retenir le mercure.

- **Décarbonatation**

La fonction de cette section est d'éliminer le CO₂ contenu dans le gaz naturel pour éviter la solidification de ce gaz dans les parties froides de l'installation. Le dioxyde de carbone (CO₂) est absorbé par une solution de **Monoéthanolamine** (MEA) à 15 % de concentration, réduisant ainsi la teneur en CO₂ à environ 70 ppm, selon la réaction suivante :



L'absorption se fait à contre-courant dans une colonne à plateaux. La solution riche en CO₂, qui quitte le fond de l'absorbeur, est ensuite régénérée dans une colonne à basse pression et haute température. Le schéma de ce processus est illustré dans la figure.

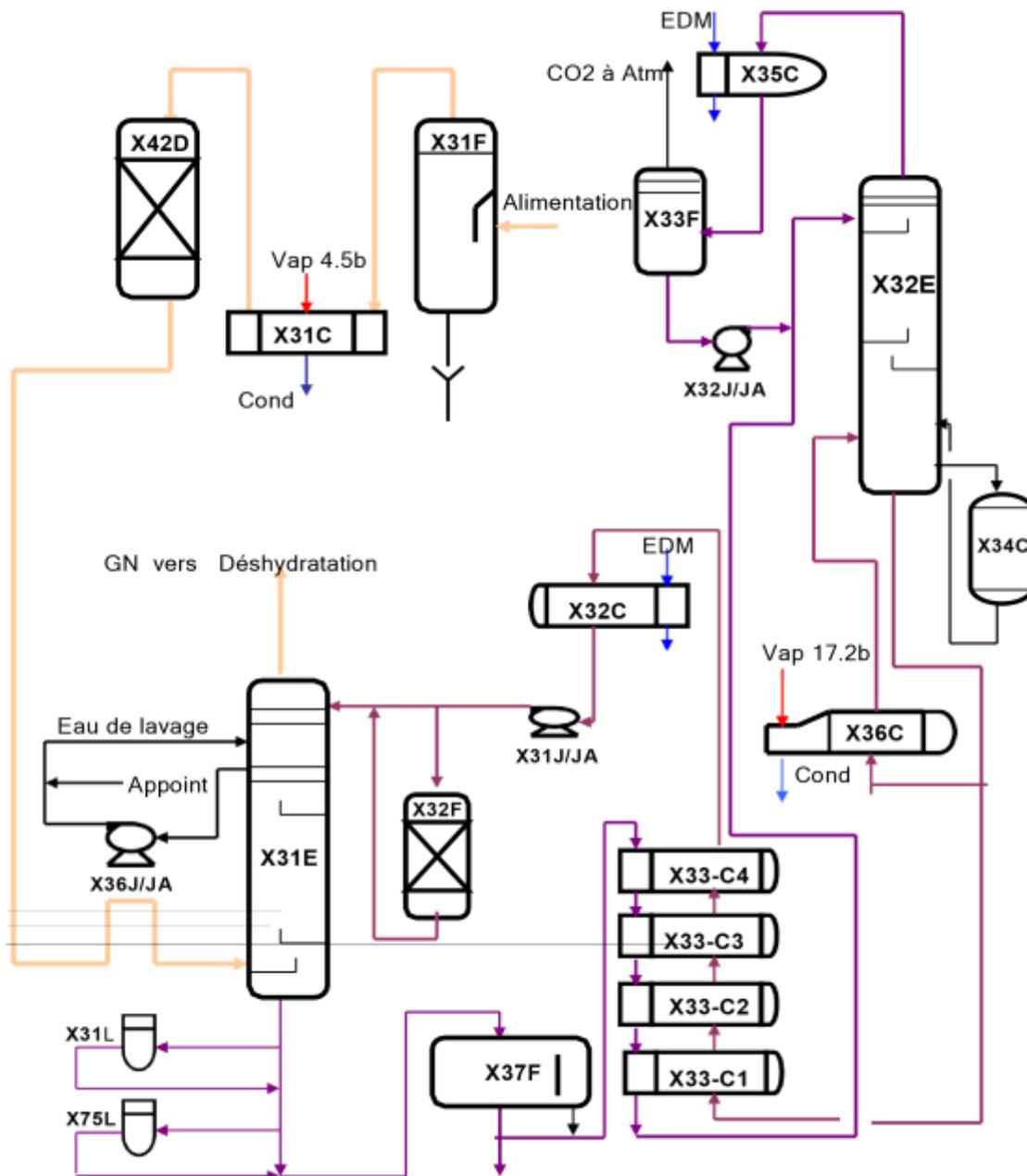


Figure.I.3. Section d'absorption CO₂ et régénération MEA.

- **Déshydratation**

Après la décarbonatation, le gaz naturel, encore saturé d'eau, doit être séché. Il entre ensuite dans la section de déshydratation, où il est traité pour réduire sa teneur en eau à moins de 0,5 ppm, en passant à travers un ensemble de trois sécheurs à tamis moléculaire. Le gaz entre d'abord dans un échangeur à propane X41C et en ressort à environ 21°C, permettant ainsi de condenser la majeure partie de l'humidité et d'éviter la formation d'hydrates, ce qui

pourrait perturber les étapes suivantes du processus. Le gaz passe ensuite dans le ballon séparateur X41 F, où l'eau partiellement condensée est séparée et évacuée. Le schéma est décrit dans la figure suivante.

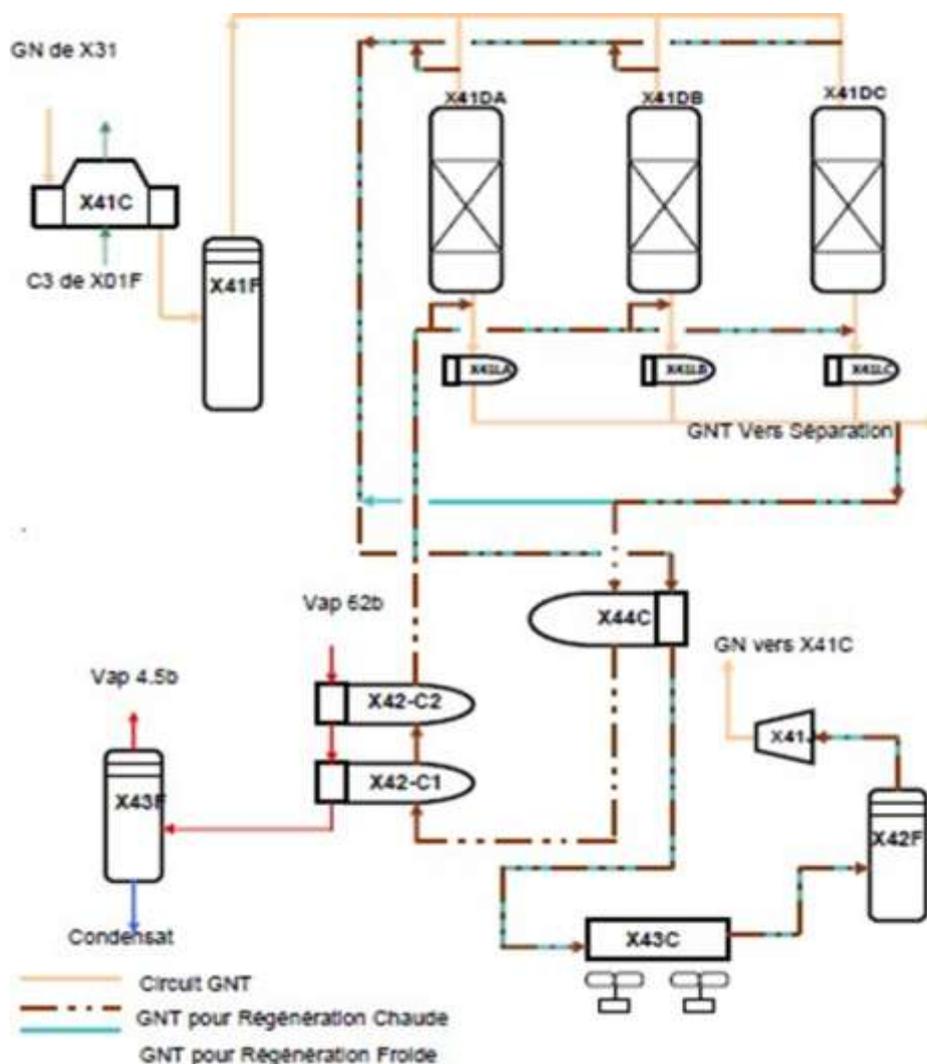


Figure.I.4. Section de déshydratation.

- **Régénération des sécheurs**

Chaque sécheur, après 16 heures de fonctionnement, est régénéré pour éliminer l'eau par désorption dans un cycle de 8 heures. Ce cycle se compose de trois phases : régénération chaude, régénération froide et période d'attente.

- **Section de pré refroidissement au propane**

Dans le cycle de pré refroidissement au propane, le GN passe de la température ambiante à une température de -35°C .

I.2.1.2.3. Section de séparation et de liquéfaction

➤ Séparation

La première séparation entre les hydrocarbures légers et lourds s'opère au niveau de la tour de lavage par distillation. Cette opération s'effectue dans une colonne à plusieurs plateaux dans la quelle circulent à contre-courant un liquide et de la vapeur. Ces deux phase venant d'un condensateur de tête et en fond d'un rebouilleur. Les produits les plus volatiles s'accumulent avec la vapeur et vont en haut de colonne, à l'inverse les produit lourds passent en phase liquide et sont soutirés par le fond de la colonne. Le méthane se retrouve donc en tête de colonne tan que les produit C₂ ; C₃ ; C₄ et C₅ sont dirigé 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 est recueillie dans le ballon de reflux et riche en méthane, sera acheminé vers le faisceau central de l'échangeur principal pour être liquéfié.

➤ Liquéfaction

La liquéfaction du gaz ne peut se produire que si le gaz est refroidi en dessous de son point de rosée, une température qui dépend de la pression. Pour le gaz naturel, la condensation intervient dans un intervalle de température situé entre le point de rosée et le point de bulle. L'énergie nécessaire est fournie par un réfrigérant à composants mixtes, le MCR, qui a été préalablement refroidi. À ce stade, le GNL est détendu et dirigé vers le déazoteur, où sa teneur en azote est réduite par une simple détente. Le GNL est ensuite pompé et stocké dans des réservoirs à une pression de 1,030 bars et à une température de -162°C. Voir la figure suivante

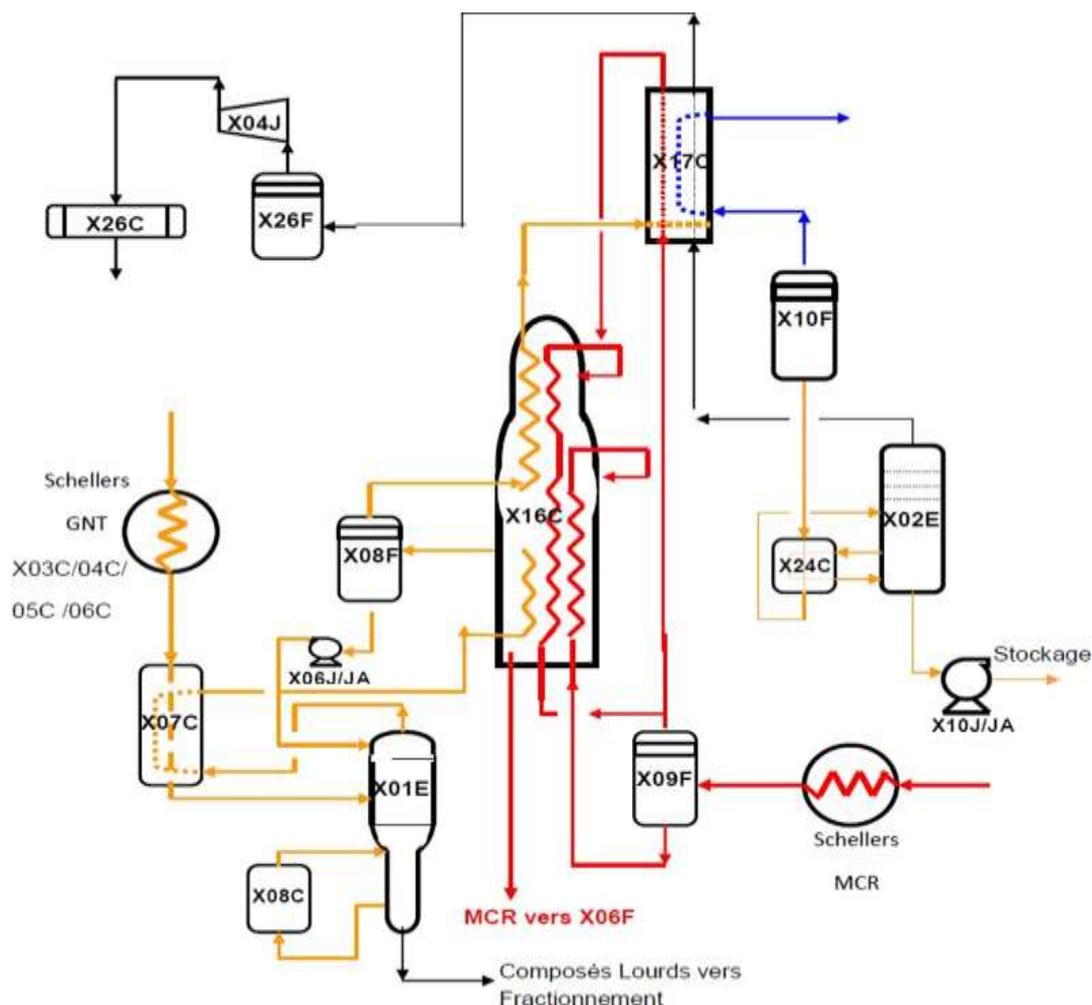


Figure.I.5. Séparation et liquéfaction.

I.2.1.2.4. Section compression

➤ La boucle propane

La boucle de propane, structurée en quatre étages, permet de refroidir le gaz naturel et le MCR par étapes successives. Après compression et condensation, le propane subit quatre phases de détente refroidissante, ce qui lui permet d'échanger son énergie thermique avec le MCR, comme illustré dans la figure I.6. Le gaz naturel, passant à travers les échangeurs à propane X03C, X04C, X05C et X06C, est refroidi jusqu'à atteindre une température de -30,5°C. À ce stade, il se transforme en une phase biphasique, avec une phase condensée contenant des composés lourds tels que l'éthane, le propane, le butane et les C₅₊. Le gaz d'alimentation provenant de l'unité de déshydratation est refroidi par paliers successifs à travers ces mêmes échangeurs, atteignant également -30,5°C.

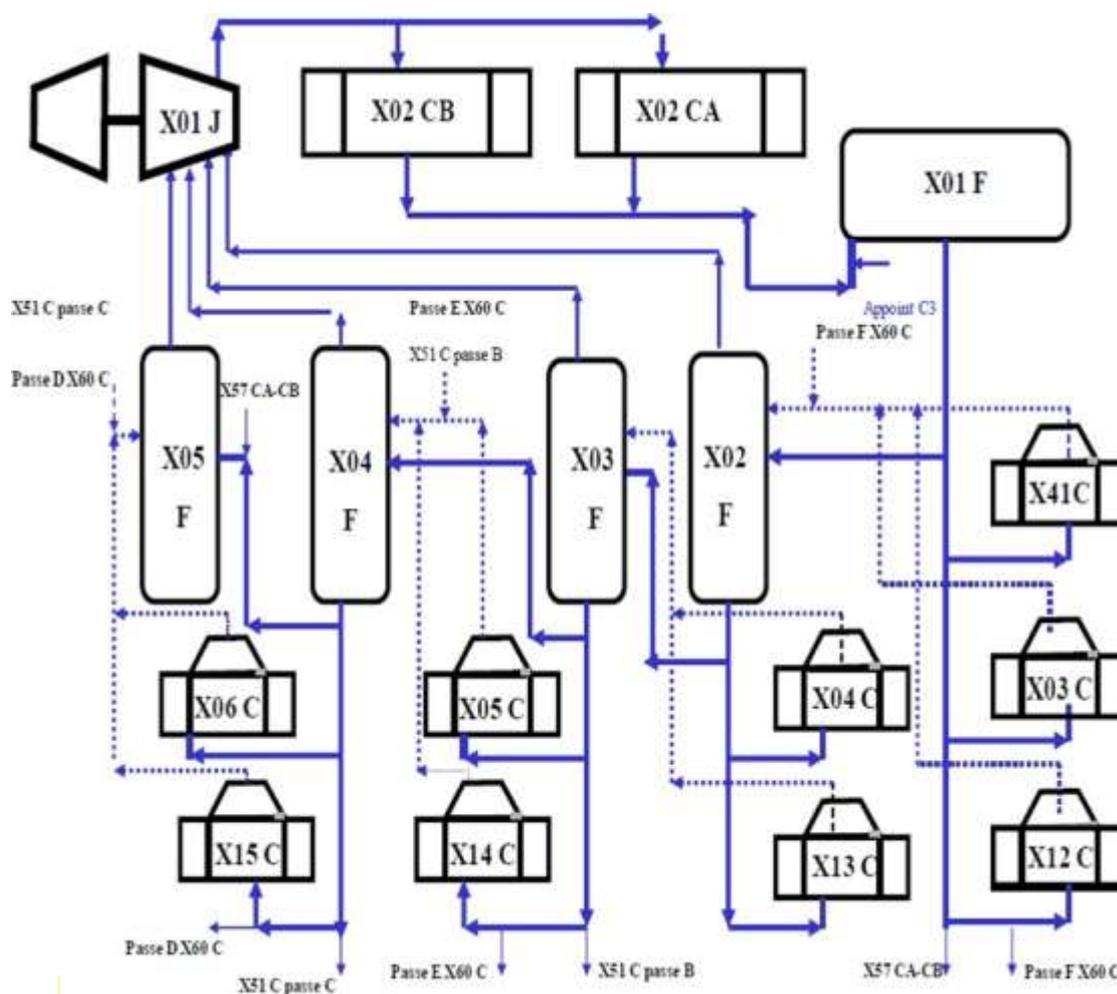


Figure.I.6. Boucle propane.

➤ La boucle MCR

Le MCR sert à liquéfier le GN dans l'circule dans une boucle fermée à deux compresseurs pour liquéfier le gaz naturel (GN). À basse pression (1,9 bars et 35°C), le MCR 1 est comprimé à 12,3 bars et chauffé à 37°C avant d'être refroidi à 32,2°C dans un échangeur à eau de mer. Il est ensuite comprimé à 44,7 bars et chauffé à 132,1°C. Après refroidissement à 32,2°C puis à -30,5°C dans les échangeurs à propane, il sort à 4,8 bars. Ce refroidissement condense les composés lourds, comme l'éthane et le propane, qui sont séparés dans le ballon MCR2. Les vapeurs et liquides traversent l'échangeur principal à 42,7 bars et -30,5°C. Le liquide est détendu, vaporisé et injecté à -117,4°C dans la calandre, refroidissant le GN à

environ -110°C. Les vapeurs MCR condensées sont détendues à 29,3 bars, vaporisées et réinjectées à -149°C, ce qui liquéfie complètement le GN à -148°C. Les MCR sont ensuite renvoyés au ballon d'aspiration MCR 1er étage à 1,9 bars et -35°C. Le tableau suivant **détaillé** les compositions du MCR :

Tableau.I.2. Compositions du MCR .

CONSTITUANT	Pourcentage moléculaire
Azote	3,2
Méthane	40,2
Ethane	54,4
Propane	2,2

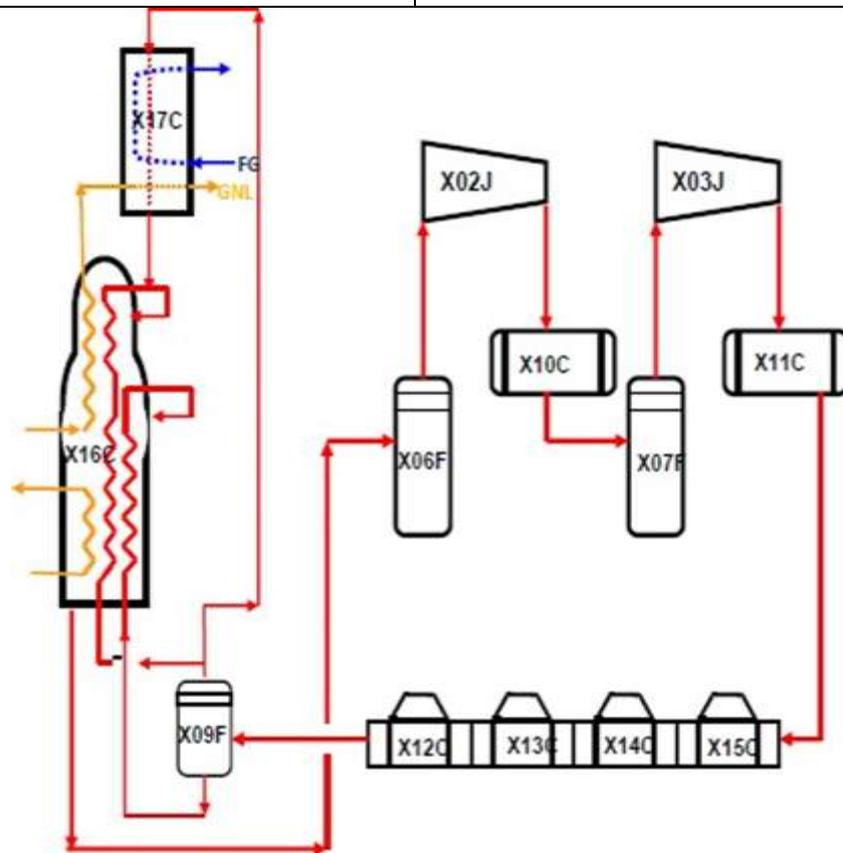
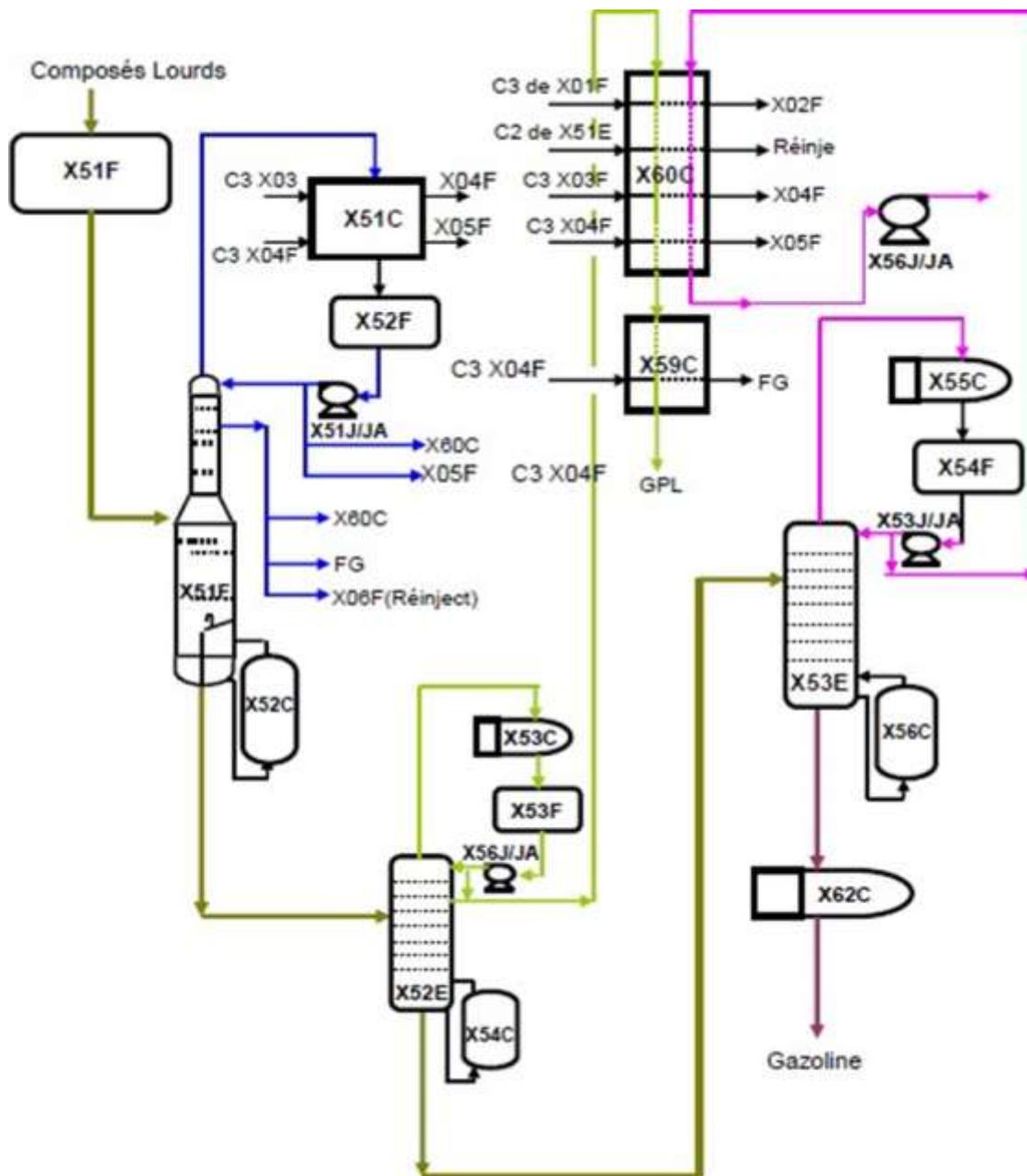


Figure.I.7. Boucle MCR.

I.2.1.2.5. Section fractionnement

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 comme il est montré dans la figure :



Figur.I.8 Fractionnement.

➤ **Le dé-éthaniseur**

La section de fractionnement subit un processus de dééthanisation. La colonne de dééthanisation a pour rôle de séparer l'éthane du flux d'alimentation. Cet éthane est destiné à être utilisé comme d'appoint à la réfrigération MCR, tandis que l'éthane récupéré en haut de la colonne est réinjecté dans le GNL. L'excès de ce dernier est employé comme combustible dans le système de fuel gaz. Les produits résiduels, constitués de composants lourds, sont envoyés à la colonne de dépropanisation.

➤ **Le dé-propaniseur**

Représente la deuxième colonne de fractionnement. Il permet de séparer le propane des autres composants ainsi que des éléments situés en tête de colonne. Le propane en tête de colonne est principalement dirigé vers GP1/Z pour être commercialisé ou réinjecté dans le GNL. Une partie est également utilisée comme apport dans la boucle MCR et comme réfrigérant au propane. Le liquide provenant du fond du dépropaniseur, une fois débarrassé du propane, est dirigé vers le débutaniseur grâce à la régulation du niveau.

➤ **Le dé-butaniseur**

Les fractions lourdes de la colonne de dépropanisation servent d'alimentation pour la dernière colonne de distillation de la section de fractionnement. Le produit en tête de colonne, principalement du butane à 98,8 %, est dirigé vers GP/Z pour être commercialisé ou réinjecté dans le GNL. En revanche, la gazoline récupérée au fond de la colonne est soit commercialisée à l'étranger, soit envoyée vers GP1/Z.

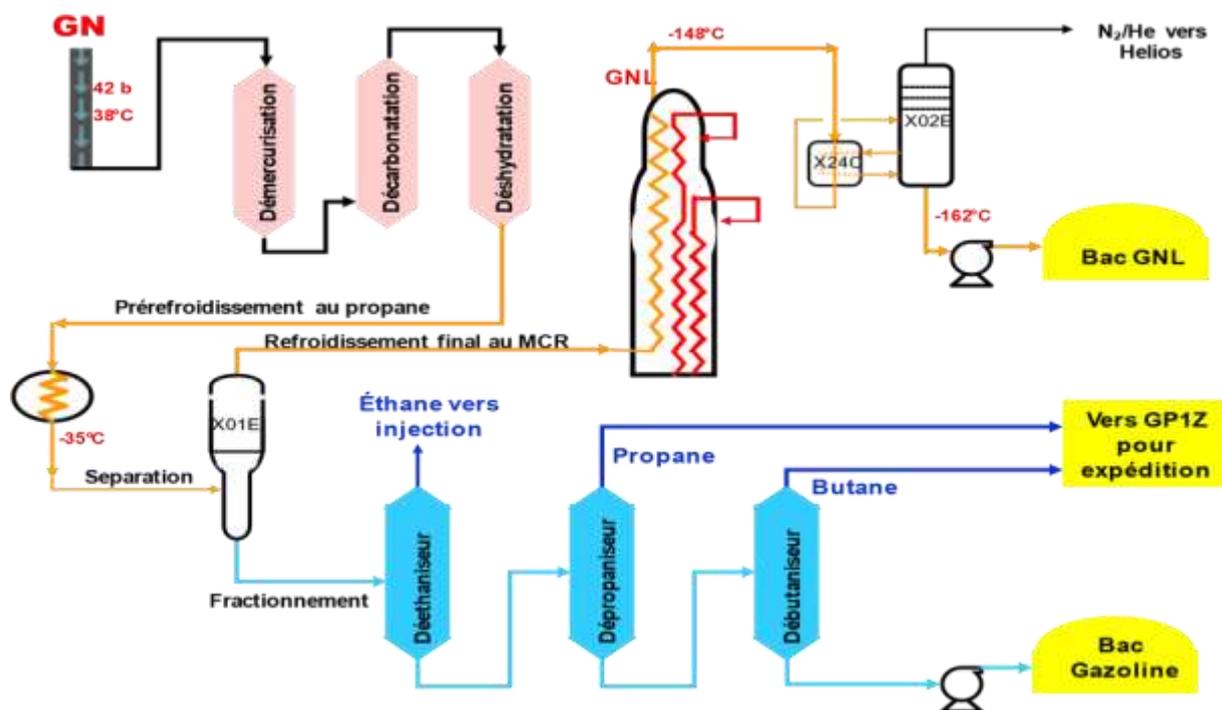


Figure.I.9. Schéma de principe du procédé de GNL.

I.2.1.3. ZONE DE STOCKAGE ET DE CHARGEMENT

➤ Stockage

Le GNL est stocké à une pression de 1,03 bar et à une température de -160°C dans trois bacs aériens, chacun ayant une capacité de $100\,000\text{ m}^3$, et gérés par les pompes de chaque train. Les réservoirs peuvent être remplis par le haut ou par le bas. Les vapeurs générées par le GNL sont collectées dans un réservoir commun aux trois réservoirs, avec une pression réglée à 1,05 bar **absolus**. La gazoline produite est stockée dans deux réservoirs, chacun ayant une capacité de $14\,500\text{ m}^3$.

➤ Chargement

Les installations de chargement facilitent le transfert du GNL des réservoirs vers les cuves des méthaniers. Cinq pompes de chargement assurent le pompage du GNL, qui est dirigé à travers un collecteur commun **jusqu'aux quais N°2**. Chaque quai est équipé de quatre bras de chargement articulés, permettant un raccordement flexible aux brides du navire. Un cinquième bras est réservé à la collecte des vapeurs du méthanier lors de la phase de refroidissement du chargement.



Figure.I.10. Zone de stockage et chargement.

I.3. DESCRIPTION DE LA SECTION FRACTIONNEMENT

L'usine de fractionnement est alimentée par les produits du fond de la tour de lavage **situé** en amont de l'échangeur principal, cette unité est installée pour séparer les composants des produits suivants :

- Ethane d'appoint pour le réfrigérant mixte MCR et le GNL.
- Propane d'appoint pour le système propane, le MCR et le GNL.
- Butane d'appoint du GN d'alimentation de l'échangeur principal.
- Gazoline comme produit commercialisable.
- Butane et propane destinés à la commercialisation GPL.
- Gaz combustible de procédé des chaudières.

L'unité de fractionnement comprend trois (03) systèmes de distillation en cascade suivant qui sont :

- Le dé-éthaniseur.
- Le dépropaniseur.
- Le débutaniseur .

I.3.1. La dééthanisation

La section dééthanisation est un processus industriel visant à séparer l'éthane du gaz naturel venant du fond de la tour de lavage **cette** séparation donne du C2 pur, pour qu'il soit utilisé dans d'autres parties de l'usine. Le C3 et **C4seront** dirigés vers la section dépropanisation.

Les équipements de la section dééthanisation

- Ballon tampon X51F.
- Dééthaniseur X51E.
- Condenseur de tête X51C.
- Ballon de reflux X52F.
- Rebouilleur X52C.
- Pompes de reflux 151J/JA.

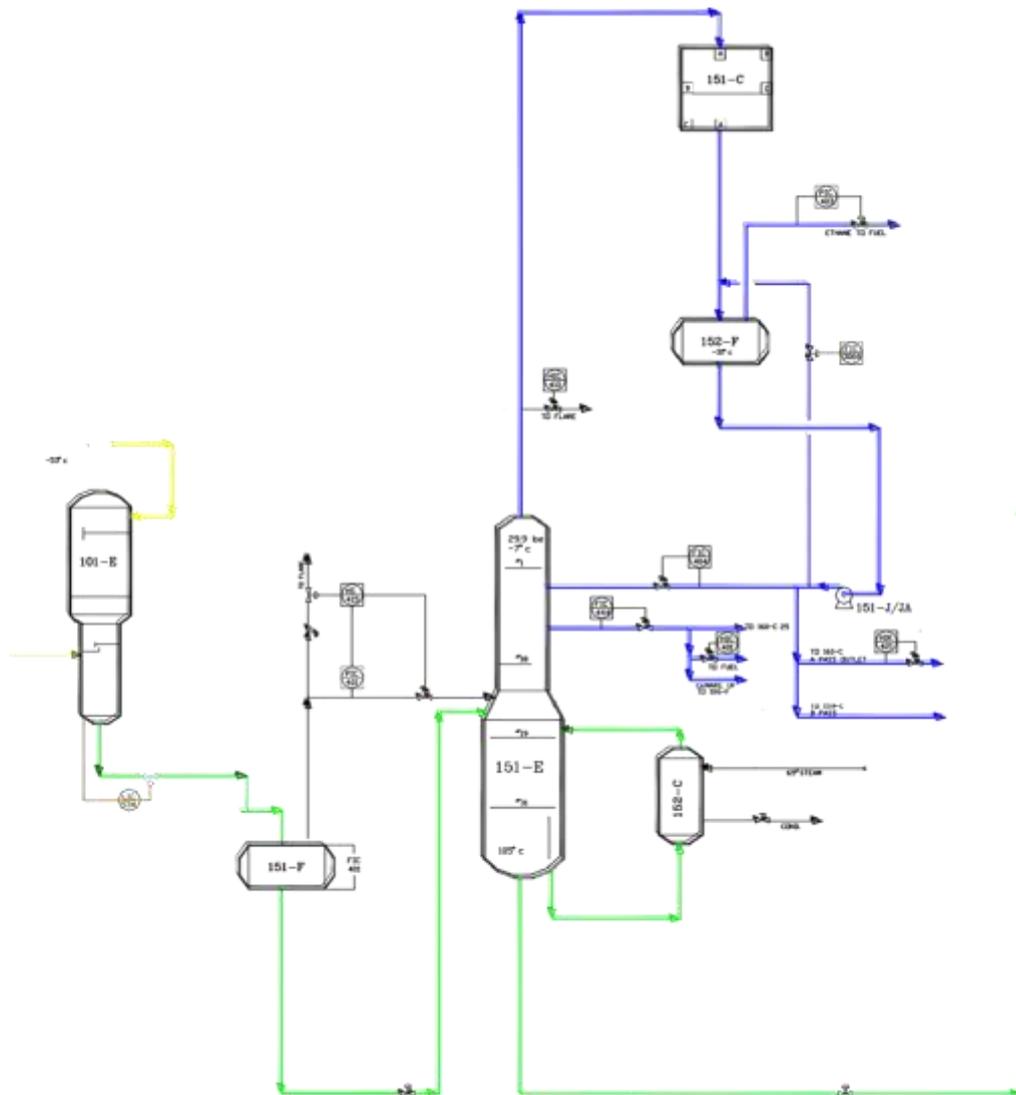


Figure.I.11. La section dééthanisation.

I.3.2. La dépropanisation

La section de dépropanisation a pour but de produire du propane afin de répondre aux besoins respectifs de la boucle propane, de recyclage de la tour de lavage et d'ajuster le PCS de GNL. Les hydrocarbures légers sont séparés des hydrocarbures lourds en s'élevant vers le sommet de la colonne et le résidu de fond est dirigé vers la colonne du débutaniseur.

Les équipements de la section dépropanisation

- Dépropaniseur X52E.
- Condenseur de tête X53C.
- Ballon de reflux X53F.

- Rebouilleur X54C.
- Pompes de reflux 152J/JA.

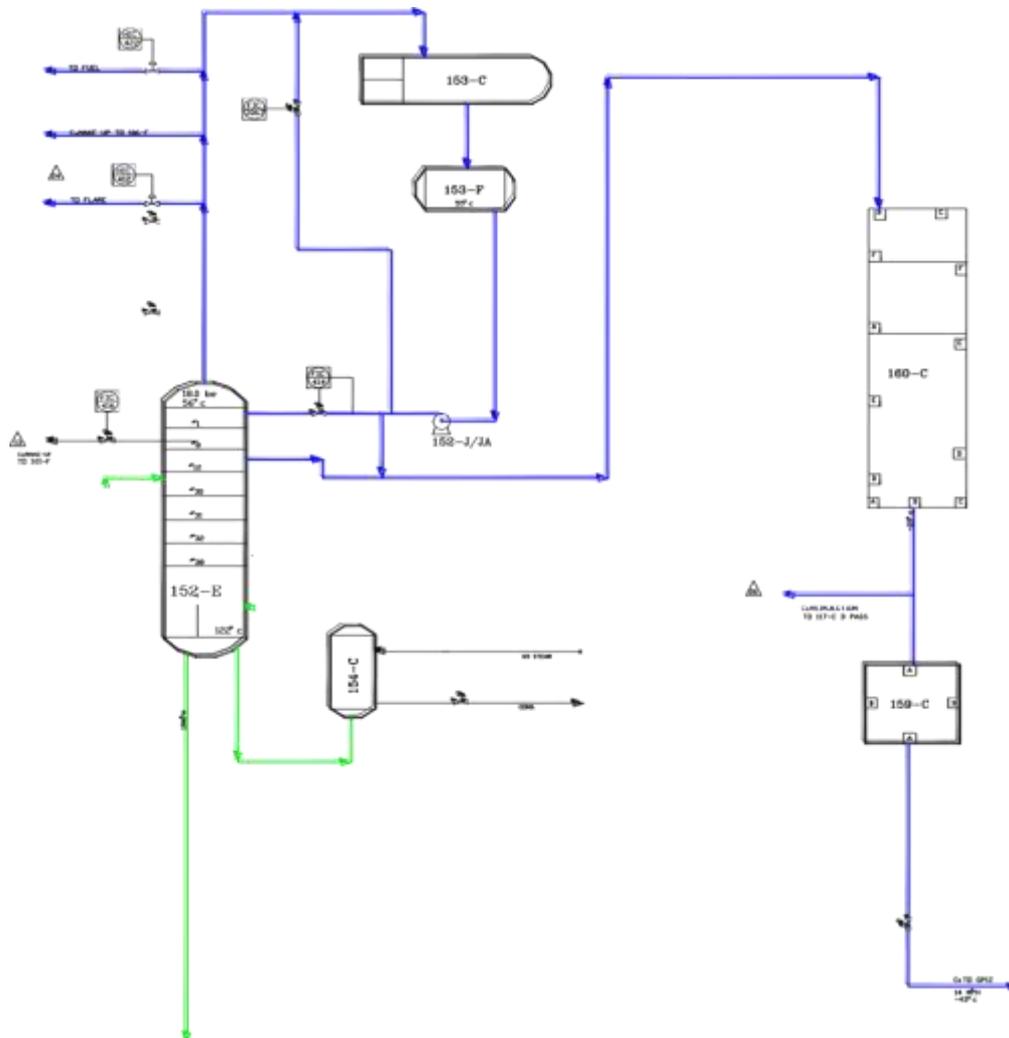


Figure.I.12. La section dépropanisation.

I.3.3. La Débutanisation

Elle permet de séparer le butane du reste des composants et **ce** en tête de colonne. Ce produit est également utilisé comme appoint au réfrigérant à composants multiples (MCR), la gazoline est récupérée en fond de colonne. Elle est commercialisée vers l'étranger **ou** elle est dirigée vers GP1/Z.

Les équipements de débutanisation

- Dépropaniseur X52E.
- Condenseur de tête X55C.
- Ballon de reflux X54F.
- Rebouilleur X56C.
- Pompe de reflux X53J/JA.

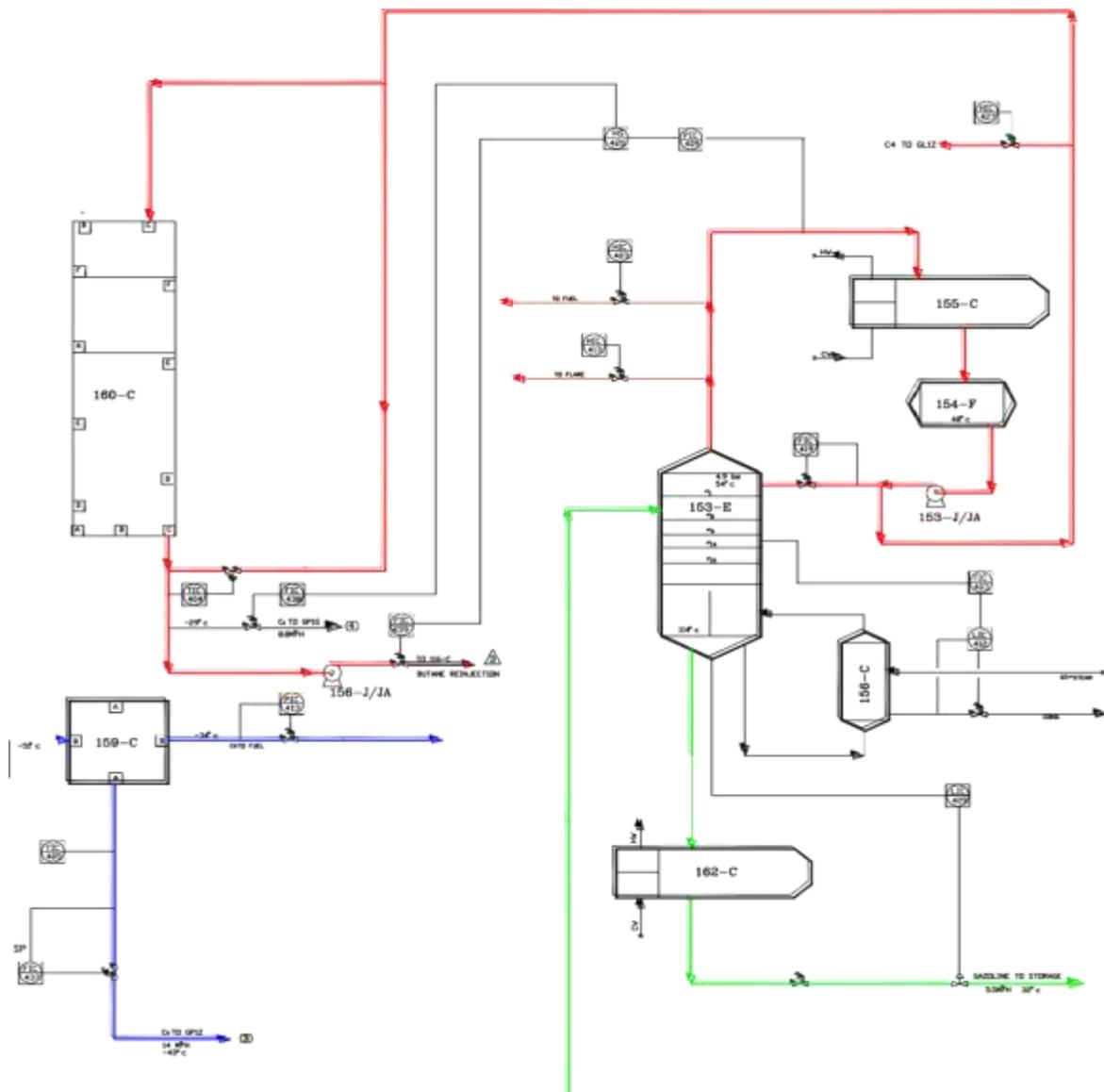


Figure.I.13. La section débutanisation.

I.4. CONCLUSION

Ce chapitre présente de manière générale le complexe GL2/Z et son fonctionnement dans le cadre du processus de liquéfaction du gaz naturel pour sa commercialisation. Nous **avons détaillé** le processus de fractionnement, avec une attention particulière à la réinjection de certains produits dans le GNL, la boucle MCR **et dans** le FG. Les principales sections abordées incluent la dééthanisation, la dépropanisation, et la débutanisation, illustrant comment ces étapes sont intégrées dans le traitement et la gestion des produits dérivés.

II.1. Introduction

Le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures **légères** comprenant du méthane CH_4 en **grande** proportion ainsi, que d'autre hydrocarbure gazeux **taux** l'éthane, le propane, butane, pentane et le hexane, en **proportion** décroissantes, sa composition **révèle** en outre suivant le cas, la présence d'hélium, d'azote **de gaz carbonique, sulfure et de la vapeur d'eau.**

Les genèses de gaz naturel **et** tout à fait analogue à la genèse du pétrole (qui est un **mélange** d'hydrocarbure **lourd**) et résulte de la décomposition de la matière organique essentiellement **sous marinai** déposé au cours des époques et **en** forme sous les couche sédimentaire .c'est la raison pour laquelle les couche dans **les qu'elles** se trouvent piégé **du** gaz naturel sont **on générale** plus **profonde.**

Une certaine quantité du gaz **naturelle** se présente toujours en **associations** avec les gisements du pétrole, c'est le cas de **hassi messaoud.**

II.2. Origine du mot gaz naturel

Au moyen âge, dès le XVI^{ème} siècle le GN était **connue** en Europe, **en** France **on** site une **curieuses** fontaine qui **brule** près de Grenoble, **si** le mot gaz a été **forgée** par le **savon FLUMAND BAP TISTE HELMONT,** vers 1609, l'expression GN a été **imposer** **quelque** **année** plus tard en 1795 par un **notre savon** italien **Lazzaro,** **cette** nouvelle appellation fut **adopter** aux USA pour désigner le méthane, mot qui n'existait pas encore. **En fin** le chimiste **ALLEMAND AUGUSTE** proposa en 1865 le nom de méthane pour le gaz **du** marais.

II.3. Origine du gaz naturel

Le gaz **naturelle** à une origine identique à celle du pétrole, il s'est formé il y a 300 **million** **d'année** **Cond** **d'immense** **foret** couvraient la terre, **lorsque** des couche de micro-organisme vivants **Sant venues** se déposer au fond des océans et sur les rivages des **continent.**

Sa composition moyenne **set** donnée dans le tableau I.1

II.4. Les composants du gaz naturel

Le gaz naturel provenant du HASSI R'MEL à liquéfier a la composition regroupée dans le tableau. II.1, ainsi que ses propriétés physiques et les conditions d'alimentation des trains dans le tableau. II.2 et II.3.

Tableau II.1 Les Pourcentage molaire du GN et leur température d'ébullition.

COMPOSANT	PROPORTION EN % (molaire)	Température D'ébullition (°c)
Hélium (Hé)	0.19	-269
Azote N ₂	5.8	-196
Méthane CH ₄	83	-162
Ethane C ₂ H ₆	7.1	-90
Propane C ₃ H ₈	2.25	-45
i-butane C ₄ H ₁₀	0.6	-12
n-Butane C ₄ H ₁₀	0.4	0
i-pentane C ₅ H ₁₂	0.15	+28
n-Pentane C ₅ H ₁₂	0.12	+36
Gaz carbonique CO ₂	0.21	-78
Vapeur d'eau H ₂ O	50 ppm	-----
Mercure Hg	Trace	-----

Tableau II.2. La composition moyenne du gaz naturel de HSSI R'MEL.

Composants	Pourcentage molaire moyen (%)
N ₂	5.435
Hé	0.18
CO ₂	0.195
CH ₄	83.57
C ₂ H ₆	7.499
C ₃ H ₈	2.00
i-C ₄ H ₁₀	0.314
n-C ₄ H ₁₀	0.532
i-C ₅ H ₁₂	0.12
n-C ₅ H ₁₂	0.058
n-C ₆ H ₁₄	0.13

Tableau II.3. Propriété physique de GN a l'alimentation des trains.

Poids moléculaire	18.88 g/mole
Teneur en eau	50ppm

Tableau II.4. Condition d'entrée du GN a l'alimentation.

Pression	42.5 bars absolue
Température	De -1.1°C à 38°C
Débits	Environ 300.000 m³/h/1 train

II.5. Importance du gaz naturel

La contribution du GN dans le bilan énergétique mondial peut se résumer dans le tableau 5 donnant la consommation d'énergie dans le monde en 1978, et celle et de 1990.

Tableau II.5. La consommation d'énergie dans le monde en 1978 -1990.

Source d'énergie	Consommation en milliard de TEP	
Année	1978	1990
Charbon	1.8	3.1
Pétrole	3.10	4.4
GN	1.25	1.9
Energie nucléaire	0.15	0.8
Energie hydro-électrique	0.40	0.65

II.6. Principe de procédé de liquéfaction

L'usine de liquéfaction du GN D' ARZEW GL2Z a été conçue pour assurer le transport sous forme liquide du GN .Les propriété physique et la composition chimique du GNL est regroupée dans les tableaux 6 et 7.

Tableau II.6. Composition du GNL

Composants	% Molaire moyen
Hé	0.2
N ₂	5.90
CH ₄	84.52
C ₂ H ₆	7.77
C ₃ H ₈	1.52
i-C ₄ H ₁₀	0.04
n-C ₄ H ₁₀	0.03
i-C ₅ H ₁₂	0.02

Tableau II.7. Condition de stockage du GNL

Masse moléculaire	18.2 g/mole
Pression	1.03 bars absolue
Température	-162. °C

L'usine de liquéfaction comprend six trains de liquéfaction indépendants qui fonctionnent en parallèle avec une capacité de production du GNL de 9000 m³ /h, dans chaque train le gaz d'alimentation passe par trois différentes étapes de traitement. (Chapitre. I).

II.7. Problèmes d'exploitation rencontrés.

II.7.1.Introduction

Dans ce chapitre nous toucherons notre problématique représentée dans la détermination de la quantité d'éthane perdu dans le complexe,

Donc on cherche la quantité consommé d'éthane. On a établi les bilans de matière au niveau de la section de séparation et de fractionnement pour pouvoir déterminer quantité consommé d'éthane dans les deux trains qui était en marche la période de stage et comparez avec la quantité initiale du GN qui entre dans le complexe.

Avant d'entamer cette étude, il est nécessaire de revenir sur la problématique de sujet et de positionner les résultats sur l'optimisation de récupération de l'éthane au niveau du complexe GL2/Z. Le choix de l'étude a été porté exclusivement sur l'éthane et cela pour la vision de la nouvelle stratégie à l'horizon 2030 de SONATRACH et les projets qui seront lancés en coopération avec des sociétés étrangers qui permettent à la recherche des moyens pour réduire la quantité des gazes brulés dans la zone de raffinage d'Arzew, où ces gaz seront dirigé à l'avenir pour produire du polyéthylène de toutes sortes par polymérisation et par un vapocraquage on obtient l'éthylène. Ces derniers sont des produits d'importance commerciale. Le projet d'extraction d'éthane se trouve en phase d'engineering par la société TECHNIP dont le but de récupérer l'excès d'éthane.

L'éthane est utilisé au niveau du GL2/Z comme :

- Appoint vers boucle MCR.
- Appoint vers réseau fuel gaz.
- Vers l'échangeur principal.

Ces caractéristiques physicochimiques sont :

Phase gazeuse

- Masse volumique (1013,25 hPa, à 15°C) = 1,282 Kg m^{-3}
- volume spécifique (1013,25 hPa, 21°C) = 0,799 m³/Kg
- Chaleur spécifique du gaz à pression constante (CV) (1000 hPa et 25°C) = 53J/ (mol.K)
- Chaleur spécifique du gaz à volume constante (CV) (1000 hPa et 25°C) = 44J/ (mol.K)
- Viscosité (1013,25 hPa, 0°C) = 0,0000855 poise
- Solubilité du gaz dans l'eau (1013,25 hPa et 20°C) = 0,052 ml par litre d'eau

Phase liquide

- Masse volumique (1013,25 hPa, au point d'ébullition) = 546,49 Kg m³⁻¹
- Équivalent liquide/gaz (1013,25 hPa, 15°C) : 1 litre > 0,432 m³ de gaz (0,533Kg)
- Point d'ébullition (1013,25 hPa) = -88,7°C (184,45 K)
- Chaleur latente de vaporisation (1013,25 hPa au point d'ébullition) = 488,76 KJ.Kg⁻¹
- Pression de vapeur (à 21°C) = 38300hPa (38,3 bar)

Phase solide (glace)

- Point de fusion = -183, 3(89,85 K).
- Chaleur latente de fusion (1013,25 hPa, au point triple) = 94,977 KJ.Kg⁻¹
- Température d'inflammation = 515°C (788K)

II.7.2. Calcul du Bilan de Matière

Nous avons établi les bilans de matière pour chaque tour séparément, pour cela nous avons demandé quelques analyses qui se fassent pendant une semaine à des endroits bien déterminés. En effet le service laboratoire n'effectue que quelques analyses routinières au niveau de la section fractionnement, tels que l'analyse de composition et débit du GN à l'entrée, Boucle MCR, fuel gaz et le GNL, pendant un mois de juin.

II.7.3. Calcul le débit GN dans la charge d'alimentation

L'étude commence par le calcul de la charge GN et la description de la composition chimique du GN à l'entrée des trains de liquéfaction, nous sommes intéressés aux deux trains fonctionnant pendant le mois de juin 2024.

Pour convertir ce débit en débit molaire, il faut avoir certaines données et utiliser quelques relations de thermodynamique :

Au début il faut calculer les débits dans les conditions réelles soit, de m³/hr en Nm³/hr pour cela il faut utiliser la loi de Guy Lussac pour les gaz réels :

$$\frac{P_1 Q_1}{T_1} = \frac{P_2 Q_2}{T_2} \quad \text{Equation II.1.}$$

Où :

L'indice (1) correspond aux conditions normales soit 0°C et 1.013 bar.

L'indice (2) correspond aux conditions réelles de fonctionnement. Soit 42°C et 41.43 bars.

$$V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{T_1 P_2} \quad \text{Equation II.2.}$$

D'après la loi des gaz réels on a :

$$\rho = \frac{P.M_w}{Z.R.T} \quad \text{Equation II.3.}$$

ρ : Masse volumique du gaz

P : Pression du GN à l'entrée du train.

M_w : Masse molaire du GN :

$$M_w = \sum Z_i M_{wi} \quad \text{Equation II.4.}$$

Z_i : fraction molaire de chaque constituant

M_{wi} : Masse molaire de chaque constituant

$$PV = ZRT \quad \text{Equation II.5.}$$

R : Constante des gaz parfaits.

Z : Facteur de compressibilité

Le Z est déduit directement de l'annexe en fonction des coordonnées réduites (Tr, Pr) tel que :

$$Tr = \frac{T}{T_{cm}} \quad \text{Equation II.6}$$

$$Pr = \frac{P}{P_{cm}} \quad \text{Equation II.7.}$$

T_{cm} : Température pseudo critique

$$T_{cm} = \sum Z_i T_{ci} \quad \text{Equation II.8.}$$

T_{ci} : Température critique de chaque constituant

$$P_{cm} = \sum Z_i P_{ci} \quad \text{Equation II.9.}$$

P_{ci} : Pression critique de chaque constituant

Après avoir calculé la masse volumique, il ne reste qu'à calculer le débit massique du GN et ensuite le débit molaire.

$$Q_m = Q \times \rho \quad \text{Equation II.10.}$$

$$F = \frac{Q_m}{M_w} \quad \text{Equation II.11.}$$

Le débit molaire de chaque constituant peut être calculé :

$$F_i = F \times Z_i \quad \text{Equation II.12.}$$

Les valeurs de tous les paramètres à l'entrée des deux trains 200 et 400 sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau II.8. Les paramètres à l'entrée du train 200 et 400. (Période 1 juin 2024)

Composant	<i>Frac Mol Zi</i>	<i>M_{wi}</i> (lb/lb-mol)	<i>Zi*Mwi</i>	<i>V_m</i>	<i>Zi*V_m</i>
N ₂	0,055	28,01	1,54055	22,40	1,232
C ₁	0,8405	16,04	13,48162	22,38	18,81039
C ₂	0,0746	30,07	2,243222	22,17	1,653882
C ₃	0,0177	44,1	0,78057	21,84	0,386568
iC ₄	0,0025	58,12	0,1453	21,78	0,05445
nC ₄	0,0035	58,12	0,20342	21,50	0,07525
iC ₅	0,0006	72,15	0,04329	21,03	0,012618
nC ₅	0,0007	72,15	0,050505	20,86	0,014602
C ₆₊	0,001	86,18	0,08618	20,60	0,0206
He	0,0022	4	0,0088	22,42	0,049324
CO ₂	0,0018	44,01	0,079218	22,26	0,040068
H ₂ O	0	18,02	0	22,40	0
Total	1,0000	-	18,662675	-	22,349752

Ou

V_m : volume molaire du gaz naturel ($Nm^3/ Kmole$) à ($0^\circ C$ et $1,013bars$).

Le tableau. II.9. regroupe les débits journaliers de charge d'alimentation des deux trains 200 et 400, durant le mois de juin.

Tableau. II.9. La charge GN d'alimentation.

Jours	TRAIN 200 (Nm^3)	TRAIN 400 (Nm^3)	Jours	TRAIN 200 (Nm^3)	TRAIN 400 (Nm^3)
01/06/2024	6215735.803	6544110.768	15/06/2024	6341098.325	6158667.789
02/06/2024	5837777.154	6273739.358	16/06/2024	6433716.905	6248479.746
03/06/2024	5929460,193	5921975,863	17/06/2024	6395359,716	6058564,88
04/06/2024	5881747,591	6090373,281	18/06/2024	6316774,254	6135279,259
05/06/2024	6034240,808	6361680,232	19/06/2024	6065113,668	6433716,905
06/06/2024	6271868,276	6312096,548	20/06/2024	5817195,247	6090373,281
07/06/2024	6203573,767	6229768,921	21/06/2024	5815324,165	6023014,314
08/06/2024	6227897,839	6061371,503	22/06/2024	6117503,976	6271868,276
09/06/2024	6273739,358	6267190,57	23/06/2024	6064178,127	6074469,08
10/06/2024	6225091,215	6164281,037	24/06/2024	6114697,352	6148376,836
11/06/2024	6194218,355	6190476,19	25/06/2024	6098793,152	6147441,295
12/06/2024	5982786,042	5859294,602	26/06/2024	6184862,943	6170829,825
13/06/2024	6122181,682	6055758,256	27/06/2024	6132472,635	5950977,641
14/06/2024	6241930,957	6227897,839	28/06/2024	5914491,533	5870521,096

Le total des deux trains vaut « Q^{GN} » :

$$Q^{GN} = 171453831 + 172342595,2$$

$$Q^{GN} = 343796426.2 \text{ Nm}^3/\text{mois}$$

On convertit le débit de GN de l'unité « Nm^3/mois » à « $\text{K mole} / \text{mois}$ », puis on calcule la quantité d'éthane présente successivement dans :

- La charge GN,
- les appoints MCR,
- fuel gaz,
- charge GNL.

La conversion s'écrit comme suit dans **Equation II.11**:

Ou

Q^{GN} : débit du GN en Nm^3/mois .

F^{GN} : débit du GN en ($\text{K mole} / \text{mois}$).

- Le débit du GN qui alimente le train est mesuré en Nm^3 donc le débit réel du GN à l'entrée est estimé comme suit : $Q^{GN} = 343796426.2 \text{ Nm}^3/\text{mois}$

À partir de l'Equation $\sum Z_i * V_m = 22,34 \text{ Nm}^3 / \text{K mole}$

En remplaçant V_m dans Equation II.11, la F^{GN} valeur de devient :

$$F^{GN} = 15389276,02 \text{ K mole/ mois}$$

La quantité d'éthane soutirée dans le GN vaut:

$$m = F^{GN} * Y_{C_2} * M_{C_2} \quad \text{Equation II.13}$$

$$m=15389276,02*2,24322$$

$$m = 34521531.75\text{Kg/mois}$$

Soit **34521.53175Tonne** d'éthane pur par mois.

➤ Calcule la quantité d'éthane d'appoint MCR consommé dans **train 200** et **400**

Pour réaliser le bilan de la consommation d'éthane dans l'appoint MCR, on a tiré la charge dans la salle DCS, durant le mois du 01/06/2024 au 28/06/2024 qui sont **cité** dans le tableau II.10.

Tableau. II.10. La charge **de boucle** MCR.

Jour	Train 200 (Nm³)	Train 400 (Nm³)	Jour	Train 200 (Nm³)	Train 400 (Nm³)
01/06/2024	7200	2323,5701	15/06/2024	6955,8586	4429,4263
02/06/2024	7200	4188,7078	16/06/2024	7200	4286,2578
03/06/2024	7138,0758	4266,7196	17/06/2024	7200	4611,3138
04/06/2024	6898,4603	5726,3776	18/06/2024	7200	4790,3177
05/06/2024	7200	4258,8778	19/06/2024	7200	4752,105
06/06/2024	6819,2827	1084,8571	20/06/2024	7065,5178	4825,0645
07/06/2024	7192,4325	3276,3813	21/06/2024	4641,2831	4892,0026
08/06/2024	7120,0754	5571,5329	22/06/2024	7017,5	4869,1032
09/06/2024	7200	9693,6666	23/06/2024	68,5	4869,1032
10/06/2024	6771,9315	4107,2635	24/06/2024	7200	4869,1032
11/06/2024	5765	3872,0696	25/06/2024	7200	4869,1032
12/06/2024	4531,9695	4230,6595	26/06/2024	7200	4833,2625
13/06/2024	7036,5536	4320,7921	27/06/2024	7200	4869,1032
14/06/2024	6994,4692	4869,1032	28/06/2024	7200	5034,7113

Le total des deux trains vaut « Q^{GN} » :

$$Q^{GN} = 185616,91 + 128590,5562$$

$$Q^{GN} = 314207.4662 \text{ Nm}^3/\text{mois.}$$

➤ **Calcul la quantité d'éthane vers appoint MCR (train 200)**

Le débit du train 200 noté « Q » est converti en Kmole/mois

Q= 185616,91 Nm³/mois D'après l'équation. II.11 on trouve

$$F=185616,91/22,1215$$

$$F=8390,792216 \text{ Kmole /mois}$$

La composition moyenne molaire du train 200 est représentée dans le tableau II.11.

Tableau.II.11. Composition du soutirage latérale (train 200).

Composant	Z _i	M _i	Z _i * M _i	V _m	Z _i * V _m
N ₂	0,01746	28,0134	0,48911396	22,40	0,391104
C ₁	0,34789	16,043	5,58119927	22,38	7,7857782
C ₂	0,55192	30,07	16,5962344	22,17	12,2360664
C ₃	0,07155	44,097	3,15514035	21,84	1,562652
iC ₄	0,000486	58,123	0,02824778	21,78	0,01058508
nC ₄	0,00539	58,123	0,31328297	21,50	0,115885
iC ₅	0,00054	72,151	0,03896154	21,03	0,0113562
nC ₅	0,00039	72,151	0,02813889	20,86	0,0081354
C ₆₊	0	86,177	0	20,60	0
He	0	4,003	0	22,42	0
CO ₂	0	44,011	0	22,26	0
H ₂ O	0	18,015	0	22,40	0
Total	0,995626	-	26,2303192	-	22,12156228

La quantité d'éthane soutirée de l'appoint MCR venant du train200 « m₁ » vaut :

$$m_1 = Q * Y_{C_2} * M_{C_2}$$

$$m_1 = 8390.792216 * 16.5962344$$

$$m_1 = 139255.5544 \text{ Kg/mois.}$$

Soit **139.2555544 Tonne** d'éthane pur par mois.

➤ Calcule la quantité d'éthane vers **appoint MCR (train 400)**

Le débit du train 400 noté « Q » est converti en Kmole/mois

$$\text{Débit } Q = 128590,5562 \text{ Nm}^3/\text{mois}$$

D'après l'équation. II.11.

$$F = 128590,5562 / 22,1215$$

$$F = 5812.922098 \text{ Kmole /mois}$$

La composition moyenne **de** train 400 est représentée dans le tableau II.12.

Tableau.II.12. Composition du soutirage **latérale** (train 400).

Composant	Z _i	M _i	Z _i * M _i	V _m	Z _i *V _m
N ₂	0,02062	28,0134	0,57763631	22,40	0,461888
C ₁	0,44275	16,043	7,10303825	22,38	9,908745
C ₂	0,42488	30,07	12,7761416	22,17	9,4195896
C ₃	0,09529	44,097	4,20200313	21,84	2,0811336
iC ₄	0,0067	58,123	0,3894241	21,78	0,145926
nC ₄	0,00824	58,123	0,47893352	21,50	0,17716
iC ₅	0,00086	72,151	0,06204986	21,03	0,0180858
nC ₅	0,00066	72,151	0,04761966	20,86	0,0137676
C ₆₊	0	86,177	0	20,60	0
He	0	4,003	0	22,42	0
CO ₂	0	44,011	0	22,26	0
H ₂ O	0	18,015	0	22,40	0
Total	1	-	25,6368464	-	22,2262956

La quantité d'éthane soutirée de l'appoint MCR venant du train 400 « m₂ » vaut :

$$m_2 = F * Z_{C2} * M_{C2}$$

$$m_2 = 5812.922098 * 12.7761416$$

$$m_2 = 74266.71583 \text{ Kg/mois}$$

Soit **74.26671583 Tonne** d'éthane pur par mois.

La quantité totale d'éthane soutirée est la somme des deux trains soit :

$$m_T = m_1 + m_2 = 139255.5544 + 74266.71583 = 213522.2702 \text{ Kg/mois.}$$

➤ **Calcul de quantité d'éthane dans le gaz naturel liquéfié GNL**

Nous avons regroupés les débits du GNL dans le complexe (trains 200 et 400) du mois **JUIN** 2024, dans le tableau.II.13.

Tableau. II.13. Production GNL du mois.

Jour	Complexe (Nm ³ /h)	Jour	Complexe (Nm ³ /h)
01/06/2024	14728225,28	15/06/2024	9675367,2
02/06/2024	13244456,92	16/06/2024	9637945,552
03/06/2024	9488258,958	17/06/2024	8934418,561
04/06/2024	9743661,708	18/06/2024	9788567,686
05/06/2024	9749274,956	19/06/2024	9852184,489
06/06/2024	9856862,195	20/06/2024	9764243,615
07/06/2024	9776405,651	21/06/2024	9722144,26
08/06/2024	9617363,645	22/06/2024	9732435,214
09/06/2024	9339507,905	23/06/2024	9602394,985
10/06/2024	9286182,056	24/06/2024	9597717,279
11/06/2024	9368509,683	25/06/2024	9480774,628

12/06/2024	9636074,469	26/06/2024	9433062,026
13/06/2024	9703433,436	27/06/2024	9283375,433
14/06/2024	9867153,148	28/06/2024	9494807,746
Totale	277398259,9		

Donc le débit total du GNL : $Q = 277398259,9 \text{ Nm}^3/\text{mois}$.

La conversion du débit en Kmole donne : $F = 12406004,47 \text{ Kmole /mois}$

La composition chimique du GNL dans les trains 200 et 400 est représentée dans le tableau II.14. Ci-dessous:

Tableau.II.14. Composition chimique du GNL.

Composants	Z_i	M_i	$Z_i * M_i$	V_m	$Z_i * V_m$
N ₂	0,00749	28,0134	0,20982037	22,40	0,167776
C ₁	0,91166	16,043	14,6257614	22,38	20,4029508
C ₂	0,07316	30,07	2,1999212	22,17	1,6219572
C ₃	0,00758	44,097	0,33425526	21,84	0,1655472
iC ₄	0,00006	58,123	0,00348738	21,78	0,0013068
nC ₄	0,00005	58,123	0,00290615	21,50	0,001075
Total	1,0000	-	17,3761517	-	22,360613

La quantité d'éthane:

$$m_{C_2} = 12406004,47 * 2,1999212 = 27292232,24 \text{ Kg/mois}$$

Soit **27292.23224 Tonne** d'éthane pur par mois.

➤ Calcul de **quantité d'éthane dans le fuel -Gaz**

Le système **fuel gaz** consiste à récupérer les gaz perdus sortant des sections pour les utiliser comme source d'alimentation en gaz combustible dans les chaudières ABB et IHI, les analyses se **fait** trois fois par mois selon le tableau.II.15 suivant:

Tableau.II.15. La charge des deux chaudières ABB et IHI.

Jour	La charge ABB (10^3 Nm^3)	La charge IHI (10^3 Nm^3)
08-06-2024	1394	295
14-06-2024	1414	322
20-06-2024	1406	485
Total	4214	9560

Le débit total de la charge pendant le mois de juin a été donné au niveau du service production par analyse **d'échantillon** au service laboratoire :

Alors : $F = 188426,53 (\text{Kmol}/\text{mois})$.

La composition chimique du **fuel gaz** dans les chaudières est présentée dans les tableaux.II.16 et II.17 suivant :

Tableau. II.16. La composition chimique du FG dans chaudière ABB.

Composants	Z_i	M_i	$Z_i * M_i$	V_m	$Z_i * V_m$
N_2	0,22488	28,0134	6,299653392	22,40	5,037312
C_1	0,69388	16,043	11,13191684	22,38	15,5290344
C_2	0,06648	30,07	1,9990536	22,17	1,4738616
C_3	0,00827	44,097	0,36468219	21,84	0,1806168
iC_4	0,00048	58,123	0,02789904	21,78	0,0104544
nC_4	0,00044	58,123	0,02557412	21,50	0,00946
iC_5	0,00015	72,151	0,01082265	21,03	0,0031545

nC₅	0,00019	72,151	0,01370869	20,86	0,0039634
C₆₊	0,00026	86,177	0,02240602	20,60	0,005356
He	0,00054	4,003	0,00216162	22,42	0,0121068
CO₂	0,00444	44,011	0,19540884	22,26	0,0988344
Total	1,00000		20,093287		22,3641543

La quantité d'éthane :

$$m_1 = 188426,53 * 1,9990536 = 376674,7331 \text{ Kg/mois}$$

Soit **376,6747331 Tonne** d'éthane pur par mois.

Tableau.II.17. La composition chimique du FG dans **chaudière IHI**.

Composants	Z_i	M_i	Z_i*M_i	V_m	Z_i*V_m
N ₂	0,37037	28,0134	10,375323	22,40	8,296288
C ₁	0,50843	16,043	8,15674249	22,38	11,3786634
C ₂	0,10364	30,07	3,1164548	22,17	2,2976988
C ₃	0,01558	44,097	0,68703126	21,84	0,3402672
iC ₄	0,00055	58,123	0,03196765	21,78	0,011979
nC ₄	0,00052	58,123	0,03022396	21,50	0,01118
iC ₅	0,00001	72,151	0,00072151	21,03	0,0002103
He	0,0009	4,003	0,0036027	22,42	0,020178
Total			22,40206733		22,3564647

Le débit total de cette chaudière est : $Q = 956000 \text{ (Nm}^3\text{/mois)}$

Alors : $F = 42761,6805 \text{ (Kmol/mois)}$

La quantité d'éthane : $m_2 = 42761,6805 * 3,1164548 = 133264,844$ Kg/mois

Soit **133,264844 Tonne** d'éthane pur par mois.

Donc le totale des deux chaudières sera : $m_T = 133,264844 + 376,6747331 = 509.9395771$

Soi **509.9395771 Tonne** d'éthane pur par mois.

CONCLUSICON

Nous récapitulons nos résultats à savoir le débit et la quantité d'éthane calculé durant le mois, dans le tableau.II.18 suivant :

TableauII.18. Résultats récapitulatifs.

Extraction C ₂	A partir GN	Boucle MCR (trains 200)	Boucle MCR (trains 400)	Fuel gaz	A partir GNL
Quantité de C ₂ en T/mois	34521.53175	139.2555544	74.26771583	509.9395771	27292.23224
Débit totale d'un mois 2 Train/Tonne	15389276.02	8390,792216	5812.922098	231188,2105	12406004.47

Quantité d'éthane dans le GN **entré** = quantité d'éthane consommée dans le complexe

$$m_{C_2/GN} ? = (m_{C_2/GNL} + m_{T/MCR} + m_{T/FG})$$

$$m_{C_2/GN} = 28015.69509 \text{ T /mois}$$

$$m_{\text{consommé}} = 28014,59529 \text{ T/mois}$$

$$L'écart 34491, 4959 - 28014,59529 = \mathbf{1.09979738 \text{ Tonne/mois}}$$

A partir des résultats regroupés dans le tableau II.18 nous remarquons qu'il a un écart entre les deux quantités, et cette quantité qui n'est pas consommée dans le complexe sera brûlée et torchée vers l'atmosphère.

Cette quantité importante d'éthane va être récupérer pour la réalisation du notre projet, qui consiste à réduire la quantité des gazes brûlés dans la zone de raffinage d'Arzew, où ces gaz seront dirigé à l'avenir pour produire du polyéthylène de toutes sortes par polymérisation.

Et on remarque aussi d'après la charge MCR dans les trains 200 et 400 et la quantité d'éthane extraite une surconsommation de l'éthane dans l'échangeur principale de train 200.

II.8. Conclusion Générale

Le complexe GL2/Z a pour **objective** principal la production et la mise en vente du Gaz Naturel Liquéfié (GNL). En parallèle de la liquéfaction plusieurs soutirages gaziers sont extraits et commercialisés dont les GPL (ethane, propane et butane) et la gazoline.

Les bilans **matières** que nous avons **établies**, ont permis de trouver la quantité du GPL perdue dans GN **entrée** dans le complexe et la quantité consommée dans les deux trains de liquéfactions.

L'étude de la section de fractionnement au complexe GL2/Z a mis en lumière des aspects essentiels pour améliorer la récupération du GPL perdu. En examinant de manière approfondie les paramètres opérationnels et en identifiant les sources de pertes, nous avons pu proposer des mesures concrètes pour optimiser les processus de fractionnement.

L'analyse a révélé des problèmes critiques, notamment des déséquilibres dans la composition du fluide, des défaillances dans les systèmes de condensation, et des défis liés à la pression de tête du déethaniseur. En réponse, les recommandations formulées visent :

- Remettre en état de marche les analyses de torchage en ligne pour un meilleur suivi des quantités et qualités des produits.
- Réparer l'échangeur principal de MCR du train 200,400 pour éviter la surconsommation de l'éthane.

La mise en œuvre de ces recommandations devrait permettre d'accroître significativement la récupération du GPL, tout en maintenant la qualité du gaz naturel liquéfié. Cela contribuera non seulement à une meilleure exploitation des ressources, mais aussi à une optimisation des opérations du complexe GL2/Z, en adéquation avec les objectifs stratégiques de SONATRACH.

Bibliographie

[1] Manuel opératoire de liquéfaction du complexe GNL2/Z.

[2] S.Gualloua, F.Kaddour, « Optimisation du taux d'extraction d'éthane au niveau du complexe GL2/Z », Mémoire de fin d'études de master, Université de Mostaganem, (2020).

[3] Senoussi, Touati, « Etude de simulation et optimisation de la section fractionnement au niveau du complexe GL2/Z », Mémoire de fin d'études de master, Université de Mostaganem, (2019).

[4] Rapport d'audit du complexe GL2/Z.

[5] L.Bouabdellah, L.Deya Eddine « Quantification des gaz à effet de serre par la méthode empreinte carbone au niveau du complexe GL2Z. » Mémoire de fin d'études de master, Université de Boumerdes, (2022).

[6] D. Habib « Suivi fonctionnement de la section de décarbonatation au niveau d'un train de liquéfaction du complexe GL2/Z Description du procédé et problèmes rencontrés », Mémoire de fin d'études de master, Université de Mostaganem, (2019).

[7] B.Otmane, B.Ibrahim « Phénomène de moussage au niveau de la section Décarbonatation du train 100 dans Le complexe GNL2/Z », Mémoire de fin d'études de master, Université de Mostaganem, (2021).

[8] N. Hamza, O.Abedlkarim « Optimisation des paramètres de l'extraction de l'éthane au niveau de l'unité de fractionnement : cas du complexe GL1/Z », Mémoire de fin d'études de master, Université de Mostaganem, (2019).

[9] A. Sabrina « Analyse et réévaluation de l'autoconsommation d'énergie dans une unité de liquéfaction de gaz naturel a procède APCI », Mémoire de fin d'études de master, Ecole National polytechnique, (2011).

[10] K.LADJALIA, T. TOUATIA « Etude et optimisation de la section de récupération du GPL au niveau du complexe GL2/Z », Mémoire de fin d'études de master, Université de Mostaganem, (2022).

[11] C.Abir, M. Ahlam « Optimisation des paramètres de récupération de l'éthane au niveau du complexe GL2/Z », Mémoire de fin d'études de master, Université de Mostaganem,(2023).