

Faculty of Sciences and Technology
Department of Process Engineering
Ref :...../U.M/F.S.T/2026

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم هندسة الطرائق
رقم : / ج.م.ك.ع.ت // 2026

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **Industries Pétrochimiques**
Option: **Génie Pétrochimique**

Thème

Optimisation du Débit de Reflux du Fractionnateur au Niveau du GP1/Z

Présenté par: **Mr. MEHAMLI Mohamed Abdelkrim**

Soutenu le 24/06/ 2026 devant le jury composé de :

Présidente :	Mme. MOHAMED SGHIR. Z	MCB	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Mme. KHELLADI. M	MCA	Université de Mostaganem
Encadreur :	M. MEKHATRIA. D	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2025/2026

Abréviation

Liste des figures

Listes des tableaux

Remerciements

I.	INTRODUCTION.....	1
I.	Description du complexe :.....	4
II.	Les installations principales.....	5
II.I.	Unités de traitement et de séparation	5
II.II.	Unités de reliqufaction	5
	Installations de stockage	5
	Infrastructures de chargement et d'expédition.....	6
	Installations énergétiques et utilitaires	6
	Salles de contrôle et systèmes de sécurité	6
	Unités de traitement complémentaires	6
III.	Organisation du complexe :	7
I.	Direction Générale	7
II.	Sous-direction de la Production	7
III.	Sous-direction de la logistique et du stockage.....	7
	Capacité	9
	Alimentation de l'usine.....	9
	Les utilités.....	9
IV.	Production.....	11
	Section de stockage de GPL :	11
	Section de filtration et de coalescence:.....	12
	Section déshydratation :.....	12
	Cycle de régénération du sécheur (déshydratation)	13
	Section de séparation	15
	Dé-éthaniseur:	16
	Dépentaniseur:.....	17
	Section réfrigération :	18
	Section d'huile chaude:.....	19
	Section stockage.....	20

I.	introduction.....	24
II.	Fractionnateur	25
II.	Alimentation du fractionnateur	25
III.	Mécanisme de séparation et équilibre thermique	27
IV.	Contrôle et instrumentation de la colonne	28
V.	Traitement des produits de tête	29
VI.	Conditionnement et intégration du propane.....	29
VII.	Importance globale de l'unité.....	29
VIII.	Paramètre de fonctionnement :.....	30
I.	Introduction	32
II.	Synthèse des mémoires antérieurs (2023-2024) .	Error! Bookmark not defined.
III.	Définition du système APC	Error! Bookmark not defined.
IV.	Définition des capteurs	Error! Bookmark not defined.
V.	Capteurs utilisés dans le système de contrôle	Error! Bookmark not defined.
IV.	Capteurs de température (TT / TIC).....	Error! Bookmark not defined.
V.	Capteurs de pression (PT / PIC).....	Error! Bookmark not defined.
VI.	Capteurs de débit (FT / FIC).....	Error! Bookmark not defined.
VII.	Rôle global des capteurs	Error! Bookmark not defined.
VI.	Principe de la boucle de régulation du reflux	Error! Bookmark not defined.
VII.	Principe général de la boucle fermée	Error! Bookmark not defined.
VIII.	Rôle de la température du plateau sensible	Error! Bookmark not defined.
IX.	Fonctionnement dynamique de la régulation.....	Error! Bookmark not defined.
I.	Cas d'une augmentation de température	Error! Bookmark not defined.
II.	Cas d'une diminution de température	Error! Bookmark not defined.
X.	Rôle du système APC dans la boucle:	Error! Bookmark not defined.
XI.	Problèmes influençant le contrôle du reflux :	Error! Bookmark not defined.
I.	Absence d'un chromatographe en ligne :.....	Error! Bookmark not defined.
II.	Dysfonctionnement des capteurs et impact sur le système APC	Error! Bookmark not defined.
	Bookmark not defined.	
XII.	Recommandations.....	Error! Bookmark not defined.
XIII.	Conclusion.....	32
I.	Introduction	38

II.	Principe général.....	38
III.	Description du procédé proposé.....	39
I.	Étape 1 : Prélèvement du distillat liquide	39
II.	Étape 2 – Détente à 4 bars	39
III.	Étape 3 – Séparation dans le ballon	40
IV.	Étape 4 – Compression jusqu’à liquéfaction	40
V.	Étape 5 – Réchauffage du propane comprimé	41
VI.	Étape 6 – Réinjection en tête de colonne.....	41
IV.	Effet sur la séparation et la pureté.....	41
V.	Impact sur la température et la stabilité de la colonne	42
VI.	Avantages et inconvénients	42
I.	Avantages	42
II.	Inconvénients	43
VII.	Conclusion du chapitre.....	43
	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	44
	Références bibliographiques	
	Annexes	

Abréviation

SONATRACH: Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures.

GP1/Z: Complexe de séparation du gaz pétrolier liquéfié (Béthioua).

GPL: Gaz pétroliers liquéfié.

GNL : Gaz naturel liquéfié.

RTO : Région Transport Ouest.

V-X101: Fractionnateur De Train N°100.

E-X004 : Préchauffeurs N°1.

E-X005 : Préchauffeurs N°2.

E-X013 : Préchauffeurs N°3.

E-X011 : aérorefrigerants.

BP: Basse Pression.

MP: Moyenne Pression.

HP: Haut Pression.

PPM: Partie Par Million.

PR: Peng–Robinson.

LCR : Local Control Room.

JCR : Jetty Control Room.

BOG: Boil-Off-Gas.

E-X003: Rebouilleurs A/B.

PR: Peng–Robinson.

NGPA: Natural Gas Processing Association (mondiale).

NGP1/Z Natural Gas Processing Association (pour complexe GP1/Z).

Liste des figures

Figure I: situation geo du complexe	5
Figure II: Représentation de la section stockage de la charge GPL	12
Figure III: schéma représentatif de la Section déshydratation	14
Figure IV: Section déshydratation de charge.	15
Figure V; schéma du Fractionnateur.....	16
Figure VI: schéma Dé-éthaniseur	17
Figure VII: schéma représentatif du de-pentaniseur.....	18
Figure VIII: Section séparation.	18
Figure IX: section réfrigération	19
Figure X: schéma représentatif de la Section d'huile chaude	20
Figure XI: shema representatif de BAC de butan.....	20
Figure XII: bacs du stockage.....	21
Figure XIII: navire du transport.....	22
Figure XIV: camion du transport.....	23
Figure XV: schéma d'une colonne a plateau.....	25
Figure XVI: schéma représentatif du la colonne de distillation	27
Figure XVII : schéma représentatif de reflux.....	Error! Bookmark not defined.

Listes des tableaux

Table 1: la composition de charge	26
Table 2: paramètre design d'alimentation.....	28
Table 3: paramètre design du tête	28
Table 4: paramètre design de ballon de reflux	28
Table 5: Les données nominales du fractionnateur	28
Table 6: proposition d'améliorations	Error! Bookmark not defined.

REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier ALLAH le Tout-Puissant de m'avoir donné la force, le courage, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadreur, Monsieur MEKHATRIA, pour sa disponibilité, ses précieux conseils, sa patience et ses orientations éclairées tout au long de la réalisation de ce mémoire. Sa rigueur et son expertise m'ont été d'une grande aide et m'ont permis de mener ce travail dans les meilleures conditions.

Que Mme MOHAMED SGHIER trouve en ces termes l'expression d'une reconnaissance pour avoir accepté de présider ce jury et pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes remerciements vont aussi à Mme KHELLADI pour sa participation à ce jury avoir accepté d'examiner ce travail.

J'adresse également mes vifs remerciements à l'ensemble du personnel enseignant du département de Génie des Procédés, pour la qualité de leur formation, leur dévouement et leur soutien durant toutes mes années d'études.

Mes plus profonds remerciements vont à mes parents, qui ont toujours été mon pilier et mon soutien inconditionnel. Leur sacrifice, leur amour, leurs encouragements et leur confiance ont été la clé de ma réussite. Je dédie ce travail à eux.

Je n'oublie pas non plus mes amis et mes proches, qui m'ont soutenu, écouté et encouragé durant toutes ces années. Leur présence, leur soutien moral et leurs conseils m'ont été d'un précieux réconfort.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce présent mémoire.

I. INTRODUCTION

Le complexe GP1.Z occupe une superficie de 120 hectares au cœur de la zone industrielle d'Arzew. Il se situe dans un emplacement stratégique : la centrale thermique de MERS EL HADJAJ se trouve à l'est, le complexe GNL.Z à l'ouest, tandis que la mer Méditerranée et la route nationale N°11 bordent le site. Connu aussi sous le nom de « JUMBO » à cause de sa grande taille, ce complexe a pour rôle principal de transformer le GPL brut pour fabriquer du propane et du butane prêts à la vente.

Ce site est géré par la SONATRACH, qui est un acteur clé de l'industrie du gaz naturel depuis plus de cinquante ans et un pilier de l'économie algérienne. Créée le 31 décembre 1963, l'entreprise s'occupait d'abord uniquement du transport et de la vente des hydrocarbures. Au fil du temps, elle a développé ses activités pour toucher à tous les domaines du secteur pétrolier et gazier.

Aujourd'hui, le gaz naturel est une énergie d'avenir, car c'est l'une des ressources fossiles les plus propres et les plus efficaces. De son côté, le GPL est une excellente alternative écologique qui permet de réduire les gaz à effet de serre et de garder un air plus propre. Comme il est très polyvalent, le GPL s'utilise aussi bien à la maison que dans l'industrie. On peut également l'associer à d'autres énergies propres pour produire de l'électricité et de la chaleur de manière plus écologique.

Au niveau du fractionnateur, le cœur de la section de séparation, le C3 est récupéré par la partie supérieure et le C4 par la partie inférieure. Le C3 gazeux n'est pas pur ce qui oblige l'unité à opérer un reflux vers le fractionnateur.

Le C3 récupéré après opération de reflux reste toujours impure ce qui nous a incité à optimiser les paramètres de fonctionnement du reflux.

Le fractionnateur (V-X101) est une colonne de distillation atmosphérique/haute pression équipée de 55 plateaux à clapets, assurant une séparation progressive du mélange GPL brut selon les différences de volatilité des constituants. Son objectif c'est de séparer un mélange de C3 et C4.

Dans les conditions opératoires, le C3 n'est jamais pur. C'est pourquoi le procédé adopté au complexe consiste à opérer un reflux et à l'admettre au niveau du plateau 23, point d'injection optimal du fractionnateur, bien que la colonne dispose initialement de trois points d'alimentation possibles.

Le résultat de cette manipulation demeure toujours insuffisant. C'est pourquoi nous avons choisi une autre alternative simulée avec HYSYS.

Le présent travail est divisé en 4 chapitres. Le premier et le second décrivent, respectivement, le complexe et l'unité de fractionnement.

Le 3ème chapitre est consacré à l'analyse et à l'optimisation de la régulation du reflux dans la section séparation.

Le 4^{ème} chapitre étudie une solution pour l'obtention du propane pur par voie de simulation sur HYSYS.

En fin une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre 1: Présentation du complexe

I. Description du complexe :

Le complexe GP1/Z, plus connu sous le nom de « JUMBO », s'impose comme l'une des infrastructures de traitement de gaz de pétrole liquéfié les plus imposantes au monde. Sa capacité nominale de production, qui culmine à 10,8 millions de tonnes par an, témoigne de son envergure industrielle. Au cœur de sa mission se trouve un enjeu hautement stratégique : la transformation du GPL brut acheminé directement depuis les grands gisements du Sud algérien, à l'instar de Hassi-Messaoud et Hassi-R'Mel. Le site sépare et purifie cette matière première pour générer du propane et du butane liquéfiés de qualité commerciale, approvisionnant ainsi le marché national tout en alimentant les flux d'exportation.

Cet ensemble industriel matérialise concrètement la politique algérienne de valorisation des hydrocarbures, en se positionnant comme un maillon indispensable de la chaîne de transformation du gaz naturel et de ses dérivés. C'est précisément cette échelle de production hors norme et ce rôle pivot qui confèrent au complexe sa place de premier plan sur l'échiquier énergétique mondial.

L'histoire du site commence le 11 décembre 1978, date du coup d'envoi d'un chantier d'envergure confié, sous la formule d'un contrat clé en main, à un consortium japonais réunissant les firmes IHI Corporation et Itochu Corporation. Pour absorber l'évolution de la demande et garantir une maîtrise technique parfaite des installations, le déploiement de l'usine s'est orchestré en plusieurs étapes successives.

Le premier jalon a été posé en 1983 avec la finalisation de la phase initiale. La mise en exploitation de quatre premiers trains de traitement a alors doté le complexe d'une capacité de départ de 4,8 millions de tonnes par an, validant par la même occasion les choix technologiques et la viabilité opérationnelle de la structure. Répondant à l'essor de la consommation mondiale et à des impératifs d'optimisation économique, une deuxième phase d'extension a ensuite vu le jour en 1998. L'intégration de deux trains de traitement supplémentaires a permis de franchir un nouveau palier, portant le potentiel global du site à 7,2 millions de tonnes par an.

Le visage actuel du complexe s'est dessiné en mars 2010 lors de l'achèvement de la troisième et dernière extension. L'installation de trois nouveaux trains a permis d'atteindre le seuil actuel de 10,8 millions de tonnes par an, consolidant définitivement le leadership de GP1/Z et sa compétitivité sur un marché international de plus en plus exigeant. Ce développement continu montre une volonté constante d'adapter l'outil industriel aux réalités économiques mondiales.

Sur le plan géographique, le complexe s'étend sur une superficie d'environ 120 hectares au sein de la zone industrielle d'Arzew, un pôle pétrochimique majeur situé sur le littoral algérien. Cette implantation côtière lui offre un avantage logistique déterminant pour l'expédition maritime des produits et la gestion des flux de matières premières.

Le site s'intègre parfaitement dans le tissu industriel local : il est délimité à l'est par la centrale thermique de Mers El Hadjadj et à l'ouest par le complexe GNL/Z. De plus, sa position entre la mer Méditerranée et la route nationale n°11 facilite grandement l'articulation entre les transports terrestres et maritimes. Cette connectivité remarquable avec les réseaux d'énergie et de transport nationaux renforce la position centrale de GP1/Z dans l'économie des hydrocarbures en Algérie.

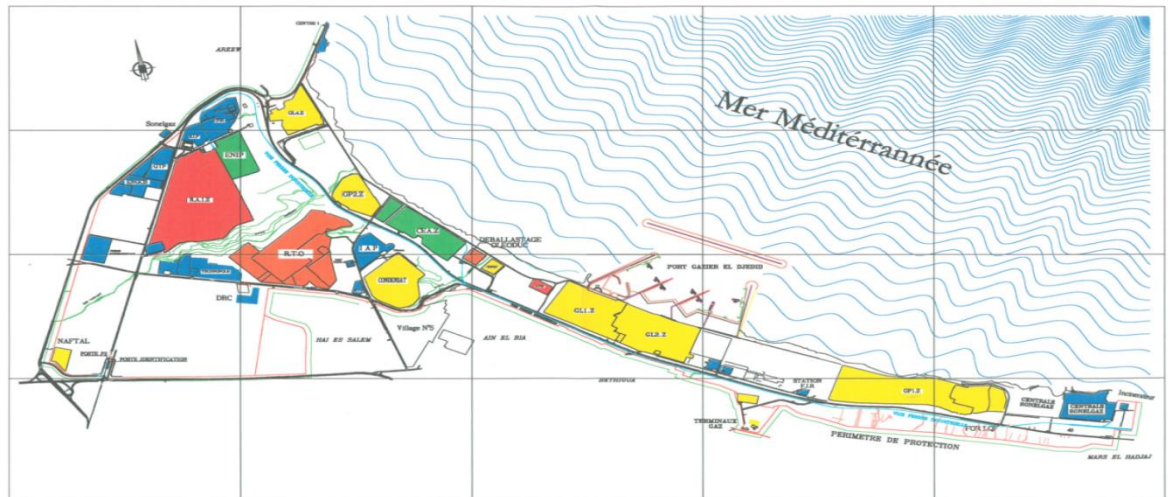


Figure I: situation géographique du complexe

II. Les installations principales

Le complexe GP1/Z possède un ensemble d'installations industrielles et d'unités auxiliaires très performantes. Ces équipements permettent de gérer toutes les étapes importantes du circuit : le traitement du GPL, son stockage dans de bonnes conditions, et enfin son expédition.

Toutes ces structures ont été construites pour respecter des normes de sécurité très strictes, ce qui est indispensable dans ce secteur. De plus, cette organisation permet à l'usine de fonctionner en continu sans interruption, tout en restant assez souple pour adapter la production de butane et de propane selon les besoins du marché.

II.I. Unités de traitement et de séparation

Le cœur du complexe est constitué de **neuf (09) trains de traitement du GPL**, assurant les différentes étapes de séparation, de purification et de fractionnement du gaz brut. Ces unités représentent la base du procédé industriel et permettent d'obtenir les produits finis tels que le propane et le butane.

II.II. Unités de reliquéfaction

Le site comprend également **deux (02) unités de liquéfaction des gaz évaporés (boil-off gas)**. Ces installations permettent de récupérer et de recondenser les vapeurs issues des stockages cryogéniques, contribuant ainsi à la réduction des pertes et à l'amélioration du rendement énergétique global du complexe.

Installations de stockage

Le système de stockage du complexe est particulièrement important et se compose de plusieurs types de réservoirs :

- **22 sphères de stockage** destinées à la charge d'alimentation, d'une capacité unitaire de 1000 m³.
- 04 bacs de propane basse température d'une capacité de 70 000 m³ chacun.
- 03 bacs de butane basse température, également de 70 000 m³ chacun.
- 01 bac de bupro basse température d'une capacité de 70 000 m³.
- 04 sphères de stockage de produits finis (propane et butane) à température ambiante, d'une capacité de 500 m³ chacune.
- 01 sphère de stockage de gazoline de 500 m³.

Ces installations assurent une grande flexibilité dans la gestion des flux de production ainsi qu'une sécurité optimale dans le stockage des hydrocarbures.

Infrastructures de chargement et d'expédition

Le complexe est équipé de moyens logistiques permettant l'exportation et la distribution des produits :

- 02 quais de chargement maritime, capables de recevoir des navires d'une capacité variant entre 4 000 et 5 000 tonnes.
- Une rampe de chargement de camions, destinée à la distribution terrestre des produits.

Installations énergétiques et utilitaires

Afin d'assurer la continuité de fonctionnement du site, plusieurs infrastructures énergétiques sont mises en place :

- Une sous-station électrique alimentée par SONELGAS, assurant l'alimentation principale du complexe.
- Quatre (04) générateurs électriques de secours, utilisés en cas de coupure du réseau principal.
- Une station de pompage d'eau de mer, indispensable pour les besoins industriels et de refroidissement.

Salles de contrôle et systèmes de sécurité

Le complexe dispose de quatre salles de contrôle permettant la supervision et la commande des procédés industriels.

Il est également équipé d'un système de télésurveillance, garantissant le suivi en temps réel des installations et renforçant la sécurité opérationnelle.

Unités de traitement complémentaires

Enfin, le complexe comprend une **unité de démercurisation**, dont le rôle est d'éliminer les traces de mercure présentes dans les flux de gaz afin de protéger les équipements et d'assurer la conformité des produits aux normes internationales.

III. Organisation du complexe :

L'étude de la structure organisationnelle du complexe GP1/Z permet de mieux comprendre son fonctionnement global, sa répartition interne des responsabilités, ainsi que le rôle de chaque entité dans la chaîne de production. Elle met également en évidence la coordination entre les différents services, essentielle pour assurer la continuité et l'efficacité des opérations industrielles.

Le complexe GP1/Z est organisé selon un organigramme hiérarchique bien défini, permettant une gestion optimale des activités et une répartition claire des tâches. Cette organisation repose principalement sur une direction générale, appuyée par deux sous-directions principales, ainsi que plusieurs départements techniques et opérationnels spécialisés.

I. Direction Générale

La Direction Générale constitue l'instance de pilotage du complexe. Elle est responsable de la stratégie globale, de la supervision des activités, ainsi que de la coordination entre les différentes sous-directions. Elle veille également à l'atteinte des objectifs de production, de sécurité et de performance économique du site.

II. Sous-direction de la Production

Cette sous-direction regroupe les unités directement impliquées dans le traitement des hydrocarbures et la transformation du gaz en produits finis.

- **Département de liquéfaction du gaz naturel :**
Ce département est chargé des opérations de liquéfaction du gaz naturel, permettant la production de GPL dans des conditions techniques optimisées. Il assure également le contrôle des paramètres de procédé afin de garantir la qualité du produit final.
- **Département de fractionnement du GPL :**
Il est responsable des opérations de séparation et de fractionnement du GPL en différents composants, principalement le propane et le butane. Ce département joue un rôle central dans le procédé industriel, notamment en termes de rendement et d'optimisation énergétique.

III. Sous-direction de la logistique et du stockage

Cette sous-direction assure la gestion des flux de produits, depuis leur production jusqu'à leur expédition, en garantissant la disponibilité des capacités de stockage et la coordination des livraisons.

- **Département de stockage et de chargement :**
Il prend en charge le stockage des produits finis ainsi que leur chargement vers les moyens de transport (navires, camions, etc.), tout en respectant les normes de sécurité et de qualité.
- **Département de logistique :**
Ce département est responsable de la gestion des stocks, de la planification des expéditions et de l'optimisation des flux logistiques afin d'assurer une distribution efficace des produits

Figure II : organigramme dU complexe

Capacité

Le complexe GP1/Z assure le traitement du GPL brut algérien provenant principalement des champs gaziers et pétroliers situés dans le sud du pays. À partir de cette alimentation, l'unité met en œuvre différents procédés de séparation et de fractionnement permettant la valorisation des hydrocarbures légers.

La capacité de production nominale du complexe est estimée à **10 800 000 tonnes par an de GPL**, comprenant principalement le propane, les butanes commerciaux ainsi que le pentane. Cette production importante permet de répondre à la demande du marché national tout en assurant une part significative destinée à l'exportation.

Grâce à cette capacité élevée et à ses installations industrielles de grande envergure, le complexe GP1/Z occupe une place stratégique dans la chaîne de valorisation des hydrocarbures en Algérie et contribue de manière significative à l'économie nationale.

Alimentation de l'usine

Le complexe GP1/Z est alimenté en gaz de pétrole liquéfié (GPL) brut provenant de plusieurs champs gaziers et pétroliers situés principalement dans le sud algérien. Cette diversité des sources d'approvisionnement permet d'assurer une alimentation continue et stable de l'unité de traitement, tout en garantissant la flexibilité opérationnelle du complexe.

Les principales origines du GPL brut traité au niveau de l'usine sont les champs suivants : Hassi Messaoud, Hassi R'Mel, Ain Amenas, Tin Fouyé Tabankort (TFT), Rhourde Nouss et Gassi Touil.

Ces gisements constituent des pôles majeurs de production d'hydrocarbures en Algérie et jouent un rôle essentiel dans l'approvisionnement du complexe GP1/Z. Leur contribution permet d'assurer un débit régulier de matière première nécessaire au fonctionnement des unités de séparation et de fractionnement, et donc à la production continue de propane, de butane et des autres produits dérivés.

Les utilités

Les utilités constituent l'ensemble des services indispensables au fonctionnement du complexe GP1/Z. Elles assurent l'alimentation des différentes unités de production en fluides et énergies nécessaires au bon déroulement des procédés industriels, tout en garantissant la sécurité et la continuité d'exploitation.

• Fuel (gaz naturel)

Le gaz naturel est utilisé comme combustible principal pour alimenter les différents équipements énergétiques du complexe, notamment les chaudières et certaines unités de production de chaleur.

- **Air comprimé**

L'air comprimé est un élément essentiel dans les systèmes de contrôle et d'exploitation. Il est subdivisé en deux types :

- **Air instrument** : il s'agit d'un air séché et traité afin d'éliminer l'humidité. Il est utilisé dans les systèmes de contrôle-commande, notamment pour l'actionnement des vannes pneumatiques et la régulation des boucles de contrôle.
- **Air service** : il est destiné aux opérations de maintenance, de nettoyage et d'entretien des équipements industriels.

- **Vapeur**

La vapeur est produite à partir de l'eau traitée (eau dessalée) via des chaudières industrielles. Elle constitue un fluide énergétique essentiel utilisé notamment pour les besoins thermiques des procédés, tels que le chauffage et certaines opérations de séparation.

- **Eau**

Le complexe utilise plusieurs types d'eau, chacun ayant une fonction spécifique :

- **Eau distillée** : utilisée dans certains procédés industriels nécessitant une grande pureté.
- **Eau de refroidissement** : employée pour le refroidissement des équipements et la stabilisation des températures de fonctionnement.
- **Eau potable** : destinée aux besoins du personnel et aux services généraux.
- **Méthanol**

Le méthanol est utilisé principalement comme agent antigel pour éviter la formation de dépôts de glace dans les équipements et les lignes exposées à de basses températures.

- **Gasoil**

Le gasoil est utilisé comme carburant de secours pour l'alimentation des groupes électrogènes en cas de défaillance du réseau électrique principal.

- **Azote**

L'azote joue un rôle crucial dans la sécurité industrielle, notamment pour l'inertage des équipements afin d'éviter les atmosphères explosives. Le complexe dispose de deux circuits d'azote :

- **Circuit gazeux (HELIOS)** : utilisé pour les opérations courantes d'inertage.
- **Circuit d'azote liquide** : transformé en azote gazeux pour alimenter plusieurs systèmes critiques, notamment :

- un générateur électrique de secours d'une capacité de 25 617 kW,
- le système de sécurité vide-vite (blow-down),
- les torches (trois haute pression et deux basse pression), utilisées pour brûler les excès de gaz en cas de dysfonctionnement des unités de traitement.

IV. Production:

Section de stockage de GPL :

Dans cette section, l'objectif principal est d'assurer un fonctionnement stable, fiable et sécurisé tout en respectant les exigences de qualité du GPL brut provenant de différentes sources d'alimentation, notamment les champs du sud algérien tels que Hassi Messaoud, Hassi R'Mel, Alrar, In Amenas, Tin Fouyé Tabankort et Rhourde Nouss. La variabilité des caractéristiques de ces sources impose une gestion rigoureuse des paramètres opératoires afin de garantir une alimentation homogène des unités de traitement.

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs axes d'amélioration et d'optimisation peuvent être envisagés. En premier lieu, il est essentiel d'optimiser le contrôle de la pression à l'aide de capteurs de haute précision et de systèmes de régulation automatique performants. Cette démarche permet de maintenir une pression de service stable, condition indispensable au bon fonctionnement des équipements en aval.

De plus, l'amélioration du système de filtration constitue un levier important pour garantir la qualité du GPL brut. L'utilisation de filtres plus performants, associée à un programme de maintenance préventive régulier, permet d'assurer un nettoyage efficace du fluide et de réduire les risques d'encrassement des installations.

Par ailleurs, l'optimisation du processus de dégazage représente un facteur clé pour améliorer la séparation des phases gazeuses et liquides. L'éventuelle installation de systèmes de dégazeurs supplémentaires ou l'amélioration des dispositifs existants permettrait d'augmenter l'efficacité de séparation des vapeurs contenues dans le mélange.

Il est également important de renforcer l'étape de démercurisation, en procédant à l'évaluation et à l'amélioration continue des unités de traitement du mercure. Cette opération est essentielle afin de protéger les équipements sensibles en aval et de garantir la conformité du produit aux normes de qualité et de sécurité internationales.

En complément, un suivi rigoureux des différentes sources d'approvisionnement en GPL brut ainsi qu'une gestion adaptée des caractéristiques spécifiques de chaque champ permettent d'optimiser la qualité globale du mélange traité.

Enfin, l'intégration de technologies modernes telles que l'automatisation avancée et la supervision en temps réel contribue significativement à l'amélioration des performances globales de la section. Ces systèmes permettent une meilleure réactivité, une optimisation des paramètres opératoires et une réduction des pertes énergétiques et matérielles.

Ainsi, la mise en œuvre de ces différentes mesures permet d'assurer un fonctionnement optimal de la section, tout en garantissant la qualité du GPL brut et la stabilité des opérations industrielles.

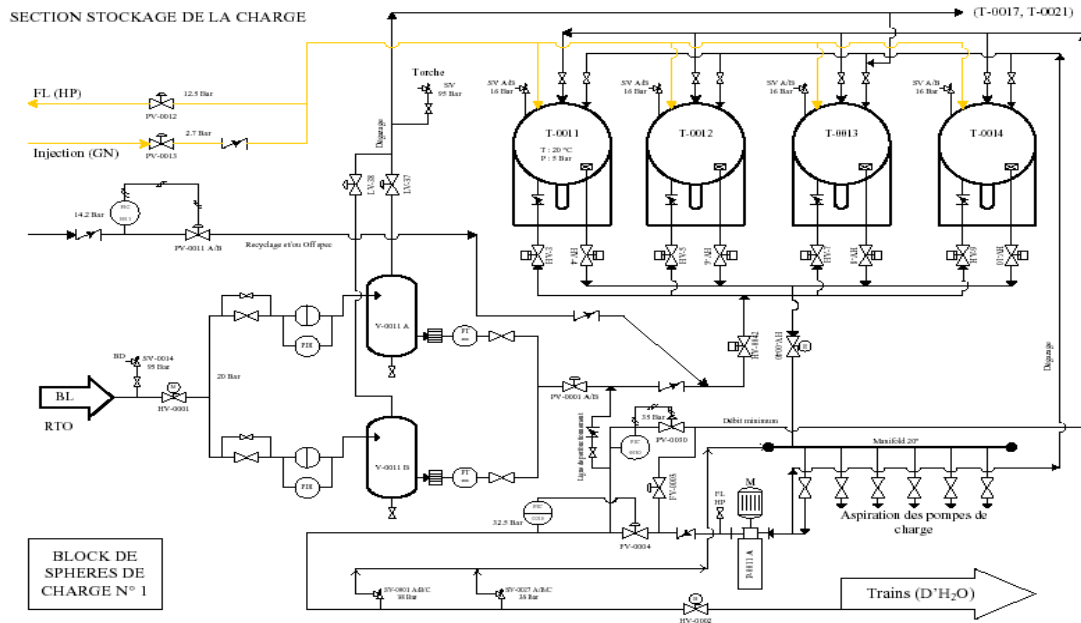


Figure II: Représentation de la section stockage de la charge GPL

Section de filtration et de coalescence:

La section de filtration et de coalescence constitue une étape essentielle dans le traitement du gaz de pétrole liquéfié (GPL), car elle garantit la qualité du fluide avant son acheminement vers les unités de séparation et de fractionnement.

Dans un premier temps, la filtration a pour objectif d'éliminer les particules solides, poussières, résidus et impuretés mécaniques présents dans le gaz brut. Cette opération est réalisée à l'aide de filtres industriels adaptés aux conditions de pression et de débit du procédé. Elle permet d'assurer la protection des équipements en aval, en réduisant les risques d'encrassement, d'érosion et de dysfonctionnement des organes sensibles tels que les compresseurs et les échangeurs.

Ensuite, la coalescence (ou coalescing) vise à éliminer l'eau libre contenue dans le gaz. Ce procédé repose sur l'agglomération des fines gouttelettes d'eau en particules plus grosses, facilitant ainsi leur séparation gravitaire du flux gazeux. Cette étape est particulièrement importante pour éviter les problèmes liés à la présence d'eau, tels que la corrosion, la formation d'hydrates ou la dégradation de la qualité du produit.

Ainsi, l'association de la filtration et de la coalescence permet d'obtenir un gaz propre, sec et conforme aux exigences de traitement. Cette section joue donc un rôle déterminant dans la fiabilité globale du procédé et dans la protection des unités en aval.

Section déshydratation :

La section de déshydratation de la charge est alimentée en GPL brut en provenance de la section de stockage, où la pression est maintenue à environ 30 bars pour l'ensemble des neuf trains de traitement. Cette unité joue un rôle essentiel dans la préparation du fluide avant son introduction dans les sections de réfrigération et de fractionnement.

L'objectif principal de cette section est de réduire la teneur en eau dissoute dans le GPL brut, en la faisant passer d'environ 100 ppm à une valeur proche de 5 ppm. Cette opération est indispensable afin d'éviter la formation de glace ou d'hydrates dans les équipements fonctionnant à basse température, ce qui pourrait entraîner des colmatages, des pertes de charge ou des arrêts de production.

Pour atteindre cet objectif, la section de déshydratation en phase liquide est équipée de **trois** colonnes d'adsorption remplies de tamis moléculaires, fonctionnant selon un cycle continu de 36 heures. Le principe de fonctionnement repose sur une alternance des rôles entre les trois colonnes :

- une colonne en phase d'adsorption, assurant le séchage du GPL,
- une colonne en phase de régénération, permettant l'élimination de l'eau retenue par le tamis moléculaire,
- une colonne en attente, prête à être mise en service.

Le cycle de fonctionnement est organisé de manière séquentielle afin d'assurer une continuité de traitement sans interruption. Ainsi, à la fin de chaque cycle, les rôles des colonnes sont permutés : la colonne en attente devient active, celle en service passe en régénération (d'une durée d'environ 19 heures), tandis que la colonne en régénération rejoint l'état d'attente. L'écoulement du GPL à travers les adsorbants s'effectue de bas en haut durant la phase d'adsorption, afin d'optimiser le contact entre le fluide et le lit de tamis moléculaires.

Il est également important de noter que la section peut fonctionner avec seulement deux adsorbants sur trois, ce qui permet la mise hors service d'une colonne pour maintenance ou inspection, tout en assurant la continuité du séchage grâce au fonctionnement alterné des deux autres unités. Cette gestion est assurée automatiquement par un système de contrôle programmé, basé sur un contrôleur matriciel de cycle, garantissant la bonne séquence des phases d'adsorption, de régénération et d'attente.

Dans le cas étudié, supposons que l'adsorbant A vient de terminer son cycle d'adsorption, que l'adsorbant B est en service, et que l'adsorbant C est en réserve. Le cycle de régénération s'enchaîne alors selon une séquence prédéfinie, assurant la continuité du processus de déshydratation sans interruption de production.

Cycle de régénération du sécheur (déshydratation)

La régénération des colonnes de déshydratation constitue une étape essentielle dans le maintien de la capacité d'adsorption des tamis moléculaires. Elle permet d'éliminer l'eau retenue lors de la phase de service et de rétablir les performances du lit adsorbant. Ce cycle est réalisé selon une succession d'étapes bien définies, utilisant principalement le gaz naturel comme fluide de traitement.

Drainage (≈ 1 heure)

La première étape consiste en la vidange du sécheur. Celle-ci est réalisée par injection de gaz naturel à une pression d'environ 20 kg/cm², permettant de chasser les hydrocarbures résiduels contenus dans la colonne. Le GPL restant est ensuite récupéré et acheminé vers les sphères de stockage de la charge afin de limiter les pertes de produit.

Dépressurisation (≈ 30 minutes)

Cette phase a pour objectif de réduire progressivement la pression du sécheur de 20 kg/cm² à environ 3 kg/cm². Le gaz naturel présent dans la colonne est évacué vers la section de combustible gazeux. Cette étape permet de préparer le lit adsorbant aux conditions de régénération thermique en toute sécurité.

Réchauffage (≈ 11 heures)

Le réchauffage constitue l'étape principale de la régénération. Il est réalisé à l'aide de gaz naturel chauffé dans un four à une température d'environ 280°C. Ce gaz chaud circule à travers le sécheur de haut en bas, permettant l'évaporation de l'eau adsorbée dans les tamis moléculaires. Cette phase assure la restauration complète de la capacité d'adsorption du matériau.

Refroidissement (≈ 5 heures)

Après le réchauffage, le sécheur doit être refroidi afin de revenir à des conditions compatibles avec l'adsorption. Le refroidissement est effectué par circulation de gaz de pétrole liquéfié (GPL) ou de gaz naturel à une température comprise entre 12°C et 45°C, tout en maintenant une pression d'environ 3 kg/cm². Cette étape stabilise le lit adsorbant et évite les chocs thermiques lors de la remise en service.

Remise sous pression (≈ 30 minutes)

Avant le retour en service du sécheur, il est nécessaire de le ramener à sa pression de fonctionnement, soit environ 20 kg/cm². Cette mise sous pression est réalisée par injection de gaz naturel haute pression, assurant une transition sécurisée vers la phase d'adsorption.

Remplissage au GPL et mise en attente (≈ 1 heure)

Enfin, le sécheur est progressivement rempli en GPL, puis placé en mode attente. Cette étape permet de préparer la colonne pour son prochain cycle d'adsorption tout en assurant la continuité du fonctionnement du système de déshydratation



Figure III: schéma représentatif de la Section déshydratation

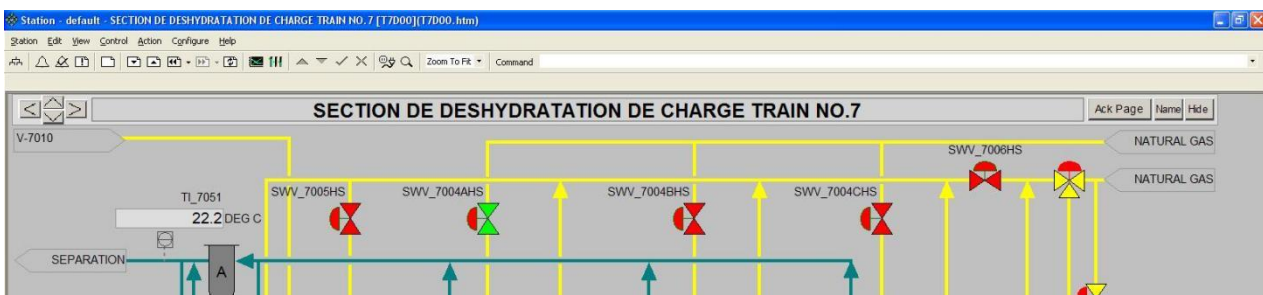


Figure IV: Section déshydratation de charge.

Section de séparation

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) en provenance de la section de déshydratation est tout d'abord acheminé à travers trois échangeurs de préchauffage, afin d'atteindre les conditions thermiques requises pour le fractionnement. À la sortie de ces préchauffeurs, le flux est introduit dans la section de séparation à une température d'environ 71°C, avec un débit contrôlé permettant d'assurer la production des quantités spécifiées de produits finis.

Le cœur de cette section est constitué d'un fractionnateur, qui est une colonne de distillation équipée de 55 plateaux à clapets. Cette configuration permet d'assurer un contact efficace entre les phases liquide et vapeur, favorisant ainsi une séparation optimale des composants du GPL selon leurs volatilités.

Dans cette colonne, les composants légers tels que l'éthane et le propane sont récupérés en tête, tandis que les fractions plus lourdes, principalement le butane et le pentane, sont concentrées au niveau du fond de colonne. Ce principe de séparation repose sur les différences de températures d'ébullition des constituants du mélange.

Le produit de tête est ensuite dirigé vers des aérocondenseurs, où il est partiellement liquéfié avant d'être collecté dans un ballon de reflux. Une partie du liquide condensé est renvoyée vers la colonne sous forme de reflux, via la pompe de reflux, afin d'améliorer l'efficacité de séparation et de stabiliser le profil thermique de la colonne. L'autre partie peut

être orientée vers un dé-éthaniseur (lorsqu'il est présent) pour un traitement complémentaire visant à améliorer la pureté du propane.

Le produit de fond de colonne est, quant à lui, envoyé vers différentes unités en fonction de sa composition et des conditions opératoires. Il peut être dirigé vers la section de réfrigération, vers un dépentaniseur lorsque la teneur en pentane dans la coupe butane dépasse la limite spécifiée, ou encore vers les réservoirs de stockage après passage par les systèmes d'aéro-condensation.

Ainsi, la section de séparation joue un rôle central dans la qualité des produits finis, en assurant un fractionnement précis du GPL et en garantissant le respect des spécifications commerciales du propane, du butane et des coupes lourdes associées.

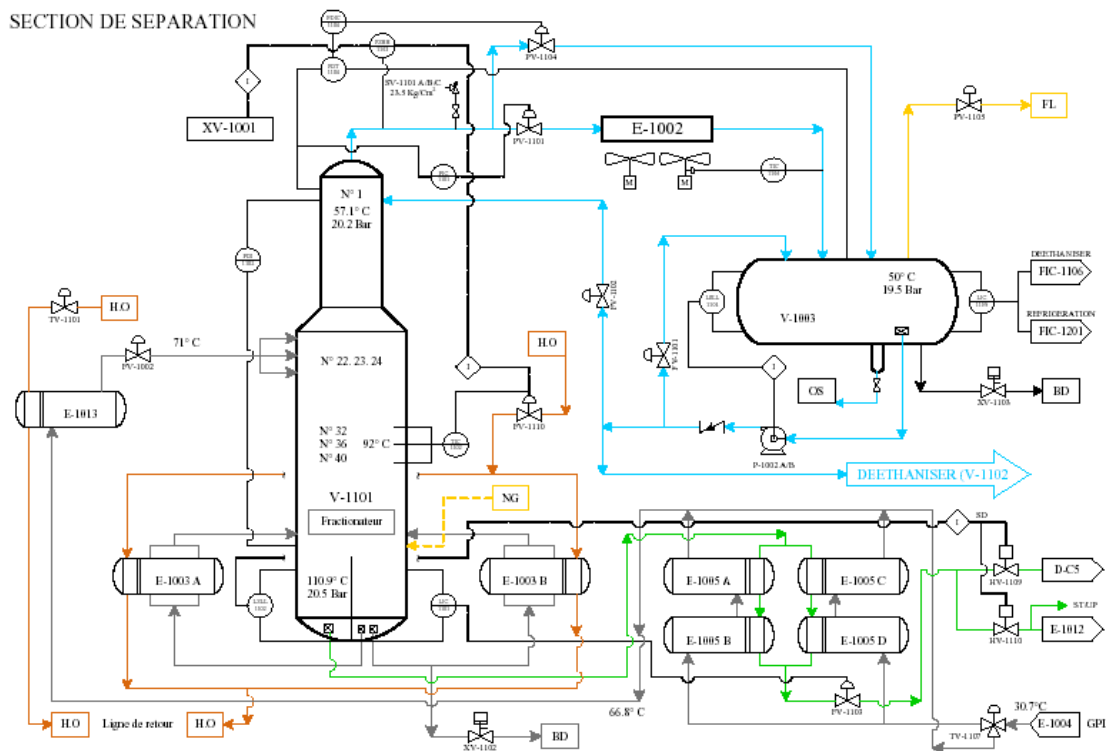


Figure V; schéma du Fractionnateur

Dé-éthaniseur:

Il s'agit d'une colonne de fractionnement appelée dé-éthaniseur, équipée de 25 plateaux à clapets, dont le rôle principal est d'assurer la séparation de l'éthane contenu dans la coupe propane issue de la section de séparation.

Dans cette colonne, le principe de fonctionnement repose sur la différence de volatilité entre les constituants : l'éthane, plus léger, est extrait en tête de colonne, tandis que le propane est récupéré au niveau du fond. Cette séparation permet d'améliorer la qualité du propane produit et de respecter les spécifications commerciales exigées.

Les vapeurs riches en éthane sont ensuite dirigées vers des condenseurs de tête, où elles sont partiellement liquéfiées avant d'être collectées dans un ballon de reflux. Une partie du liquide obtenu est renvoyée vers la colonne sous forme de reflux, afin d'améliorer l'efficacité de séparation et de stabiliser les conditions opératoires internes.

Selon les résultats des analyses de laboratoire et les conditions d'exploitation, les vapeurs d'éthane peuvent être orientées soit vers une torche, en cas d'excès ou de nécessité de sécurité, soit vers un four pour valorisation énergétique en tant que combustible gazeux.

Par ailleurs, l'éthane liquéfié issu du ballon de reflux est également utilisé comme reflux complémentaire dans la colonne de dé-éthaniseur, contribuant ainsi à optimiser le rendement de séparation et à maintenir la pureté du propane produit.

Enfin, le produit de fond de colonne, constitué principalement de propane purifié, est acheminé vers l'étape suivante du procédé, généralement vers la section de réfrigération ou de stockage, selon les conditions d'exploitation du complexe.

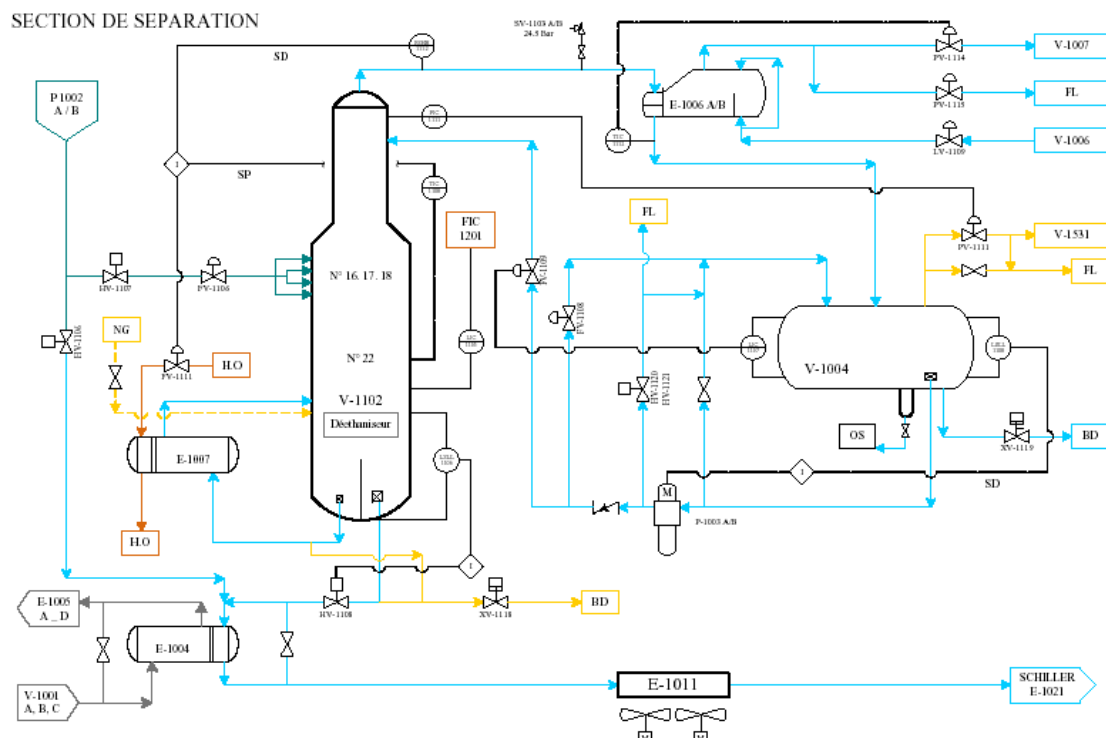


Figure VI: schéma Dé-éthaniseur

Dépentaniseur:

Il s'agit d'une colonne de fractionnement équipée de 50 plateaux à clapets, utilisée principalement pour l'élimination des composés légers de type C5 (pentanes) présents dans les coupes hydrocarbures.

Le rôle de cette unité est d'assurer une meilleure séparation des fractions en réduisant la teneur en pentane dans le produit final, afin de respecter les spécifications de qualité exigées pour le GPL commercial. Cependant, cette colonne ne fonctionne pas en continu. En effet, son utilisation est intermittente, car la teneur en traces de pentane dans le produit reste généralement faible et souvent négligeable dans les conditions normales d'exploitation.

Ainsi, la mise en service de cette unité dépend des résultats d'analyses en laboratoire et des conditions opératoires du procédé. Elle est uniquement sollicitée lorsque la composition du produit sort des limites de spécification, ce qui permet d'optimiser la consommation énergétique et de réduire les coûts d'exploitation tout en maintenant la qualité requise

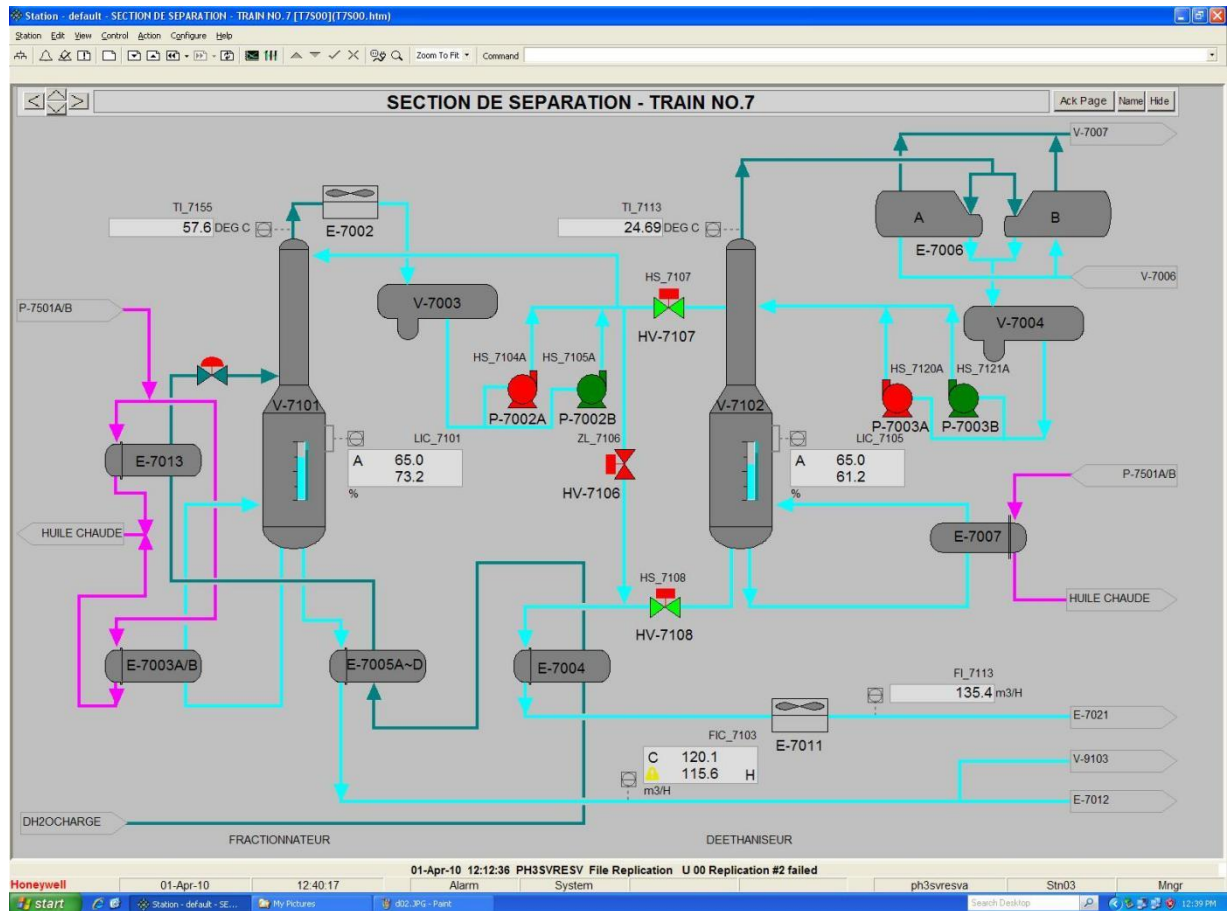


Figure VIII: Section séparation.

Section réfrigération :

Cette section reçoit le propane et le butane de la section de séparation, les refroidit jusqu'aux basses températures correspondant aux points de saturation liquide près de la pression atmosphérique, puis les dirige vers les bacs de stockage à basse température. Chacun des deux produits, propane et butane, traverse trois refroidisseurs (schillers) pour être réfrigérés selon un cycle ouvert par détente successive à trois niveaux de pression : haute pression (HP), moyenne pression (MP) et basse pression (BP), par détente du propane (fluide frigorigère) après compression.

Les vapeurs résultant de l'évaporation du propane réfrigérant dans les schillers, ainsi que les condensats des têtes de l'éthaniseur, sont collectés dans trois ballons d'aspiration à haute pression (HP), moyenne pression (MP) et basse pression (BP) pour être aspirés par un compresseur centrifuge, entraîné par une turbine à gaz dans la phase I, et par un moteur électrique dans les phases II et III. Ensuite, elles sont condensées dans des condenseurs de type aéro-réfrigérant pour être collectées dans le ballon accumulateur.

Le propane réfrigéré passe par un déshydrateur de garde juste après son passage par le premier schiller. Ensuite, il peut soit traverser les deux autres schillers, soit être dirigé directement vers le stockage à température ambiante

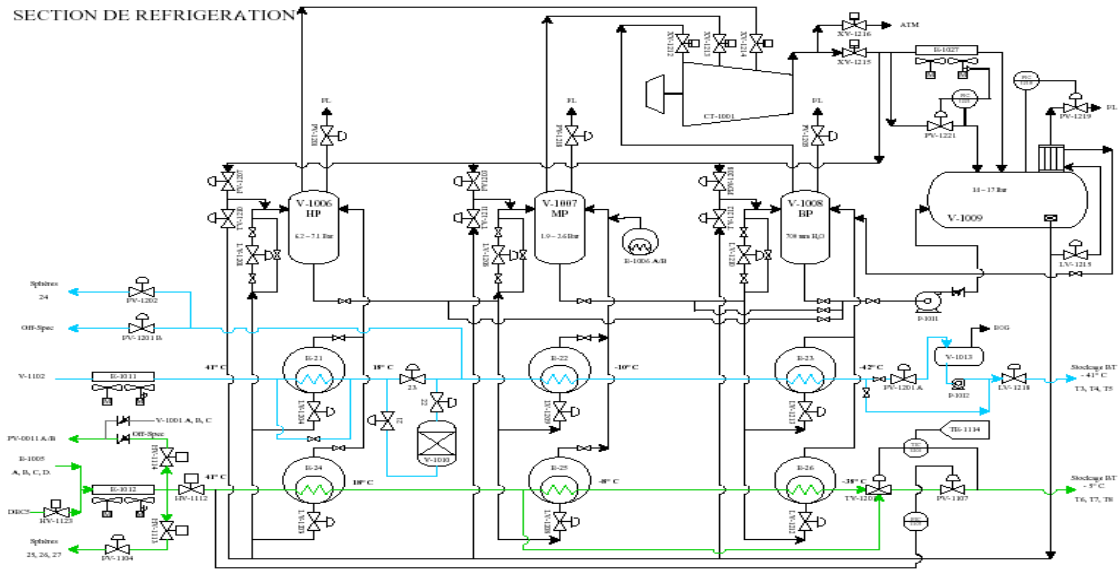


Figure IX: section réfrigération

Section d'huile chaude:

La section du fluide caloporteur sert de source de chaleur pour les rebouilleurs des colonnes de fractionnement ainsi que pour le troisième préchauffeur de la charge GPL. Le fluide caloporteur circulant dans la boucle est l'huile TORADA TC 32, chauffée par le four, atteignant ainsi une température de 180°C à sa sortie.

De plus, le four fournit également la chaleur nécessaire au gaz naturel pour la régénération des tamis moléculaires de la section de déshydratation. Le gaz naturel est chauffé dans un petit serpentin de la section de convection, maintenu à une température constante de 280°C, avec un débit de 2 000 Nm³/h.

SECTION HUILE CHAUDE

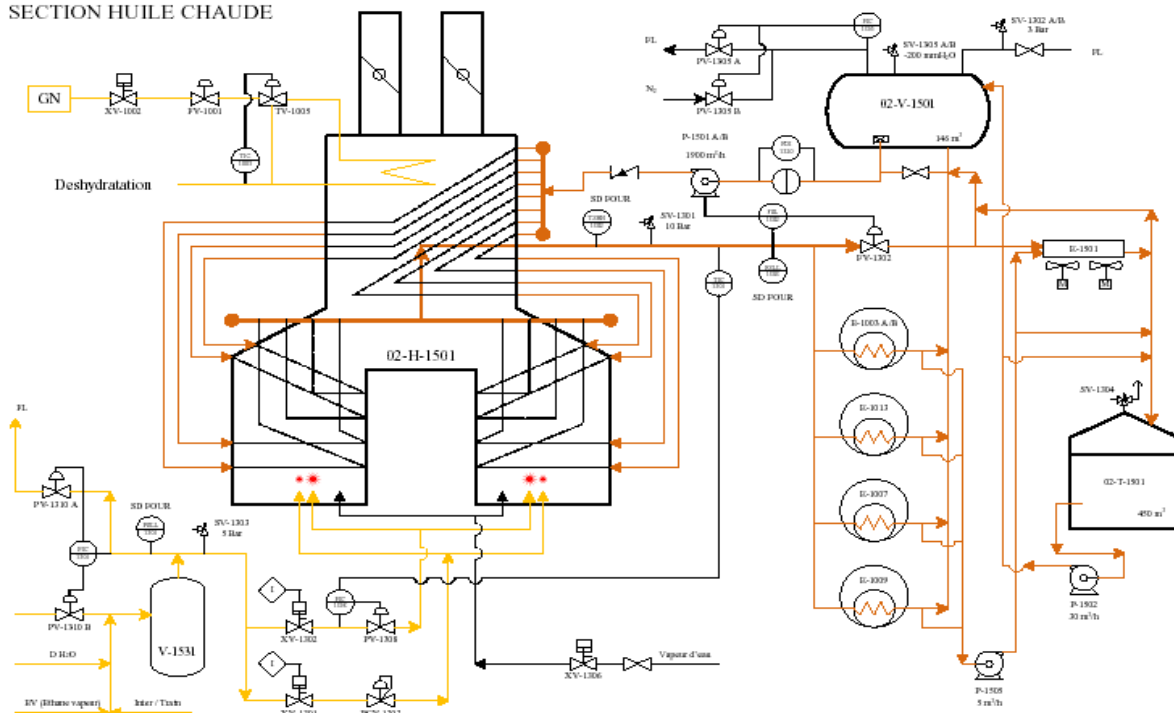


Figure X: schéma représentatif de la Section d'huile chaude

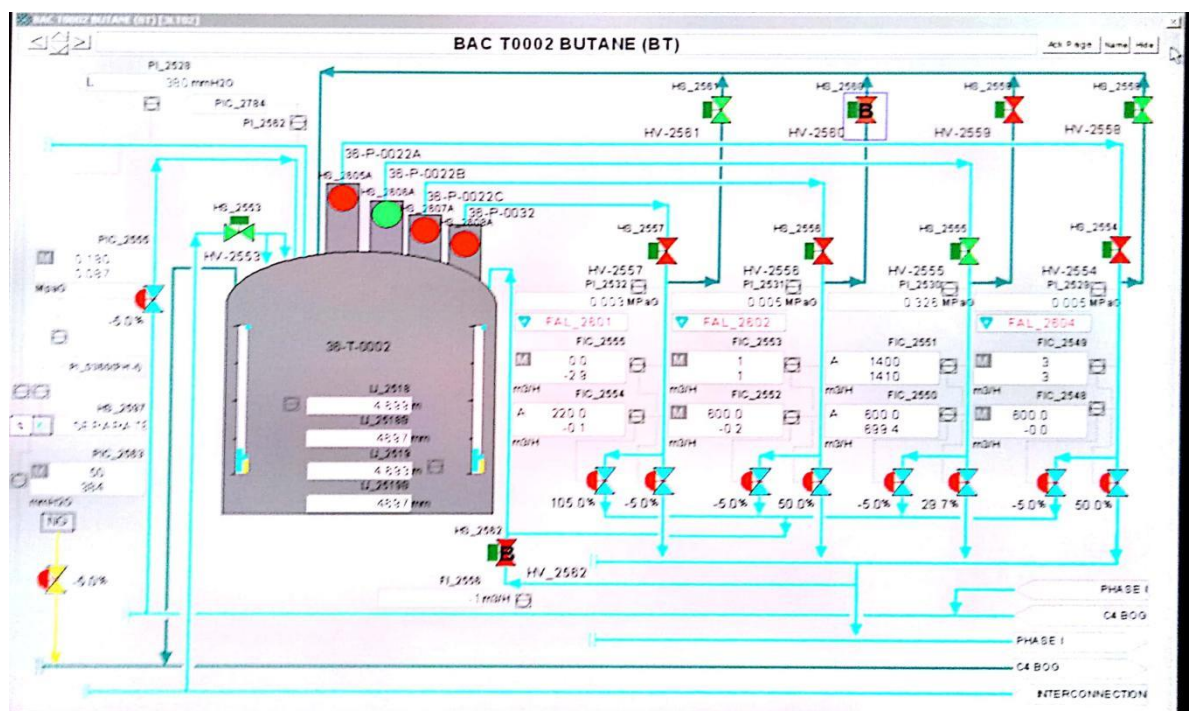


Figure XI: schéma représentatif de BAC de butane

Section stockage

Le stockage est réparti en deux types pour les produits finis:

- ☐ Stockage à basse température.
- ☐ Stockage à température ambiante.

- Elle est responsable de la gestion du stockage des produits finis et de leur distribution via les navires et les camions. Le processus est supervisé depuis deux salles de contrôle :

□ **LCR (Local Control Room)** : Cette salle gère les opérations de stockage des produits finis, y compris la section de récupération du BOG (gaz évaporé).

□ **JCR (Jetty Control Room)**: Elle supervise les opérations de chargement des navires.

1/Stockage à basse température: Cette section vise principalement le marché international pour la commercialisation finale. Les produits finis sont stockés dans six bacs, chacun ayant une capacité de 70 000 mètres cubes: trois pour le Propane et trois pour le Butane, avec la même capacité pour chaque cuve. Il y a également un réservoir mixte Butane-Propane d'une capacité de 70,000 mètres cubes.

*Pour chaque bac ils y a 3 pompes:

□ pompe de chargement: avec un débit 1680m³/h, elle est utilisée pour charger les navires.

□ pompe de circulation: avec un débit 500m³/h, sa fonction est maintenue sous froid le circuit de chargement par navire.

□ pompe d'évacuation: avec un débit 25m³/h est utilisée pour vidanger l'espace annulaire vers l'intérieur du bac en cas de débordement.

Les bacs sont repartis en:

□ Trois pour le stockage du Propane à -40°C.

□ Deux pour le stockage du Butane à -4°C.

□ Un pour le stockage du Bu-pro.



Figure XII: bacs du stockage

2/Stockage à température ambiante: Cette partie est réservée au marché nationale et inclut cinq sphères de 500 mètres cubes chacune. La pression interne de ces sphères est susceptible de fluctuer de 0.5 à 17 kg/cm², dépendant de la température et de la nature du gaz stocké, qu'il s'agisse de propane, de butane, de bu-pro ou de pentane. Plus précisément, il y a

une sphère dédiée au stockage de 500 mètres cubes de propane, trois sphères pour le butane avec une capacité identique, et une sphère pour le pentane, également de 500 mètres cubes.

3/Section BOG: dédiée à la re-liquéfaction des gaz évaporés, vise à réguler la pression dans les réservoirs cryogéniques, tant durant le stockage que lors du chargement. Les gaz en excès sont comprimés afin de les recondenser en liquide, ce qui est réintroduit dans les réservoirs pour maintenir la pression entre ****300 et 800 mmH₂O**** et prévenir toute surpression. Cette section se divise en deux unités:

□ **Unité BOG Propane:** dotée de cinq compresseurs à pistons pour la première phase et de trois pour la troisième phase. Chaque phase inclut un réservoir pour l'aspiration des vapeurs de propane, un réservoir pour le condensat de propane, et trois économiseurs.

□ **Unité BOG Butane:** munie de trois compresseurs à pistons pour la première phase et de deux pour la troisième phase, en raison d'un taux d'évaporation du butane inférieur à celui du propane. Chaque phase contient deux économiseurs, un réservoir pour l'aspiration des vapeurs de butane, et un réservoir pour le condensat de butane.



Figure XIII: navire du transport

La section de chargement par navires (CN): est équipée de deux quais, M6 pour les grands navires et D1 pour les petits. Les deux quais permettent un chargement en même temps, avec une capacité de 4000 mètres cubes par heure pour le quai D1, réservé aux petits navires, et de 10 000 mètres cubes par heure pour le quai M6, utilisé pour les grands navires.

La Section Chargement par Camion (CC): est responsable de l'organisation des opérations de retrait de marchandises via camion à la plateforme de chargement (NAFTAL et autres opérateurs privés). Elle dispose de cinq réservoirs sphériques d'une capacité de 500 mètres cubes chacun, équipés de pompes et de dispositifs de chargement. L'infrastructure est spécialement aménagée pour le remplissage simultané de propane, pentane et butane.



Figure XIV: camion du transport

Le service planning et programme: La fonction principale de ce service est d'organiser les calendriers de production mensuels, d'évaluer les variations entre les prévisions de production et les chiffres réels, et de rédiger des comptes rendus de production. De plus, ce service fait office de médiateur entre les départements de production et de stockage/expédition, en maintenant une connexion proportionnelle entre eux.

Chapitre II : Fractionnateur

I. introduction

Étant donné le rôle central que joue la section de séparation dans le fonctionnement global du complexe GP1/Z, il est essentiel d'en présenter une description détaillée afin de mieux comprendre son importance dans la chaîne de production ainsi que son impact sur la qualité des produits finis et la performance énergétique du procédé.

Après son entrée dans un train de traitement, le GPL brut subit dans un premier temps une étape de déshydratation, réalisée dans la section de préparation de la charge. Cette opération est indispensable pour garantir la fiabilité des équipements en aval, notamment ceux opérant à basse température. La teneur en eau est ainsi réduite à une valeur très faible, de l'ordre de 5 ppm maximum, afin d'éviter la formation d'hydrates, de glace ou de dépôts susceptibles de perturber le fonctionnement des unités de séparation et de réfrigération.

Une fois cette étape terminée, le GPL déshydraté est acheminé vers la section de séparation, où il constitue l'alimentation principale du fractionnateur (V-N101). Avant d'entrer dans la colonne, la charge subit une série d'échanges thermiques successifs destinés à optimiser sa préparation et à réduire la consommation énergétique globale de l'unité.

Dans un premier temps, le GPL brut récupère de la chaleur au niveau du préchauffeur (E-N004) en échangeant avec le propane produit en sortie de la section de déséthanisation. Cet échange thermique permet une première élévation de la température de la charge tout en valorisant l'énergie contenue dans les produits sortants, ce qui contribue à l'amélioration du rendement énergétique du procédé.

Par la suite, une deuxième étape de récupération de chaleur est effectuée dans le réseau de préchauffage (E-N005 A/B/C/D), où le GPL échange cette fois-ci avec le produit de fond du fractionnateur. Cette configuration en série de préchauffeurs permet de maximiser l'intégration thermique au sein du procédé et de réduire significativement les besoins en énergie externe.

Enfin, la charge est portée à sa température finale de fonctionnement dans le préchauffeur (E-N013), grâce à un apport d'énergie fourni par le fluide caloporteur (huile chaude) provenant de la boucle thermique du complexe. À cette étape, le GPL atteint une température proche de son point de bulle, condition thermodynamique essentielle pour assurer un fonctionnement optimal du fractionnateur et améliorer l'efficacité de séparation des constituants légers et lourds.

Ainsi, cette succession d'étapes de préchauffage et d'intégration thermique permet non seulement de conditionner la charge dans des conditions idéales pour la distillation, mais également de réduire considérablement la consommation énergétique globale de la section. Elle contribue également à stabiliser les performances du fractionnateur et à garantir une meilleure qualité des produits finis tels que le propane et le butane.



Figure XV: schéma d'une colonne a plateau

II. Fractionnateur

La séparation du propane et du butane au sein du fractionnateur représente une étape fondamentale du procédé de traitement du GPL, dans la mesure où elle conditionne directement la qualité commerciale des produits finis ainsi que les taux de récupération de chaque fraction. Cette opération est d'autant plus critique qu'elle repose sur un équilibre thermodynamique fin entre phases liquide et vapeur, nécessitant un contrôle rigoureux des paramètres opératoires.

Le fractionnateur (V-X101) est une colonne de distillation atmosphérique/haute pression équipée de 55 plateaux à clapets, assurant une séparation progressive du mélange GPL brut selon les différences de volatilité des constituants. Son objectif principal est de produire un courant de tête riche en propane et un courant de fond riche en butane, tout en respectant les spécifications strictes de pureté exigées pour la commercialisation et l'exportation.

Conditions d'alimentation et optimisation du point d'injection

II. Alimentation du fractionnateur

Le GPL est introduit dans la colonne de fractionnement par une seule ligne d'alimentation, située au niveau du plateau 23, qui constitue actuellement le point d'injection optimal en conditions normales d'exploitation.

Bien que la colonne dispose initialement de trois points d'alimentation possibles, le choix du plateau 23 s'est imposé comme la solution la plus efficace sur le plan opérationnel et énergétique.

En effet, ce positionnement permet d'obtenir un meilleur équilibre thermodynamique entre les phases liquide et vapeur, tout en assurant une séparation plus stable des constituants du GPL.

Le choix du point d'injection représente un paramètre déterminant dans le fonctionnement de la colonne, car il influence directement :

- Le profil de température interne, la répartition des charges sur les plateaux.
- L'efficacité globale de la séparation, ainsi que la consommation énergétique du rebouilleur.

Un mauvais positionnement de l'alimentation peut entraîner une dégradation de la qualité des produits finis, notamment une diminution de la pureté du propane en tête ou une augmentation de la teneur en propane dans le butane de fond. Il peut également provoquer une instabilité du fonctionnement de la colonne et une augmentation des besoins énergétiques.

À l'inverse, l'adoption du plateau 23 comme point unique d'injection permet de stabiliser les conditions opératoires, d'optimiser le contact entre les phases et de réduire la charge thermique au niveau du rebouilleur, ce qui améliore globalement l'efficacité énergétique et la performance de la séparation.

Ainsi, ce choix opérationnel constitue une optimisation importante du fonctionnement du fractionnateur dans les conditions réelles d'exploitation.

Table 1: la composition de charge

Constituants	Alimentation (% molaire)
C1	0.02%
C2	2.01%
C3	52.51%
I-C4	16.74%
N-C4	28.25%
I-C5	0.31%
N-C5	0.16%
Total	100%

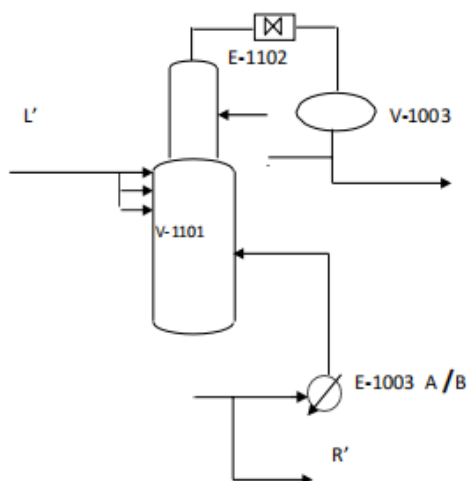


Figure XVI: schéma représentatif du la colonne de distillation

III. Mécanisme de séparation et équilibre thermique

Le fonctionnement du fractionnateur repose sur le principe de la distillation continue, dans lequel la séparation des constituants est assurée par un contact multi-étagé entre la phase vapeur ascendante et la phase liquide descendante. Dans ces conditions, le propane, plus volatil, se concentre progressivement vers la tête de colonne, tandis que le butane, plus lourd, migre vers le fond.

L'efficacité de la séparation dépend principalement de deux paramètres opératoires essentiels :

- le taux de reflux en tête, qui permet d'améliorer la pureté du propane en renvoyant une partie du condensat dans la colonne afin de renforcer les échanges matière et chaleur.
- le taux de rebouillage en fond, assuré par les rebouilleurs (E-X003 A/B), qui fournit l'énergie nécessaire à la vaporisation partielle du liquide et au maintien du gradient thermique interne de la colonne.

L'ajustement équilibré de ces deux paramètres est fondamental, car il influence directement la stabilité du fonctionnement, la qualité des produits et la consommation énergétique globale de l'unité.

En effet, un mauvais réglage peut entraîner des phénomènes d'instabilité hydraulique et thermique. Dans le cas d'un refroidissement excessif de la colonne, la vapeur se condense fortement et la colonne peut se remplir de liquide, provoquant un phénomène appelé engorgement (flooding). Ce phénomène se traduit par une accumulation de liquide sur les plateaux, une augmentation des pertes de charge et une dégradation du contact vapeur-liquide.

À l'inverse, en cas de température trop élevée, la vaporisation devient dominante et la colonne fonctionne avec un débit liquide insuffisant. On observe alors un phénomène appelé assèchement de la colonne (weeping ou dry operation), caractérisé par une mauvaise efficacité de séparation due à l'absence de phase liquide suffisante sur les plateaux.

Ces deux situations extrêmes sont critiques, car elles peuvent conduire à une instabilité importante du fractionnateur, voire à un arrêt de sécurité de l'unité. Dans de tels cas, la colonne doit être progressivement stabilisée et parfois vidangée avant remise en service, ce qui entraîne une perte de production et un redémarrage complet du procédé.

Table 2: paramètre design d'alimentation

Paramètre	Min	Nor	Max
Pression	20.9	20.9	20.9
Temperature	71	71	76

Table 3: paramètre design du tête

Paramètre	Min	Nor	Max
Pression	19.8	19.8	19.8
Température	54	57	59

Table 4: paramètre design de ballon de reflux

Paramètre	Min	Nor	Max
Pression	19.1	19.1	19.1
Température	50	50	50

Table 5: Les données nominales du fractionnateur

Paramètre	Valeur	Unité	Tag associe
Débit de reflux nominal	290	T/h	FIC-X102
T plateau sensible	75	C	TIC-X102
Pression réel	19.4	bar	PTC-X101
Spécification distillat	96-99	% molaire	Pdi-X102
Débit huile chaud	745	m ³ //h	FIC-X101

IV. Contrôle et instrumentation de la colonne

Le pilotage du fractionnateur repose sur un ensemble de variables de contrôle, parmi lesquelles la température du plateau sensible 55 occupe une place centrale. Cette température, maintenue en exploitation autour de 74–75°C, est considérée comme un indicateur représentatif de l'état interne de séparation de la colonne.

Ce plateau est qualifié de plateau sensible car sa température est directement liée à l'équilibre thermique de la zone de rebouillage. Il est donc fortement corrélé à l'action des rebouilleurs (E-003 A/B) et constitue une variable clé dans la régulation de l'énergie fournie au fond de la colonne.

Cette température est utilisée comme paramètre de référence pour le contrôle du fonctionnement du fractionnateur et permet notamment :

- D'ajuster automatiquement le débit du fluide caloporteur alimentant les rebouilleurs, afin de maintenir un rebouillage optimal
- De contrôler indirectement la teneur en propane dans le produit de fond, et donc la qualité du butane commercial
- De stabiliser le fonctionnement de la colonne face aux variations de débit et de composition du GPL brut alimenté.

Toute variation significative de la température du plateau 55 reflète directement un déséquilibre au niveau du rebouillage, ce qui peut impacter la pureté des produits et la stabilité globale de la colonne.

Ce système de régulation basé sur un plateau sensible permet donc d'assurer un contrôle fin et réactif du fractionnateur, garantissant un fonctionnement stable, sécurisé et performant malgré les fluctuations des conditions opératoires.

V. Traitement des produits de tête

Les vapeurs issues de la tête du fractionnateur sont dirigées vers des aéro-réfrigérants (E-X002), où elles sont partiellement condensées grâce à l'air ambiant. Le liquide obtenu est ensuite collecté dans un ballon de reflux (P-X002 A/B).

Une partie de ce liquide est renvoyée vers la colonne sous forme de reflux afin d'améliorer l'efficacité de séparation et de maintenir un profil thermique optimal. L'autre partie est orientée vers le dé-éthaniseur (V-X102) lorsque la teneur en éthane dépasse le seuil de 2 %, garantissant ainsi la conformité du propane aux spécifications commerciales.

VI. Conditionnement et intégration du propane

Avant son transfert vers la section de réfrigération, le propane issu du système est d'abord refroidi dans le préchauffeur de charge (E-X004). Cette étape permet une récupération d'énergie thermique, le propane cédant une partie de sa chaleur au GPL brut entrant. Ce principe d'intégration énergétique améliore significativement l'efficacité globale du procédé.

Le propane est ensuite refroidi davantage dans les aéro-réfrigérants (E-X011) jusqu'à atteindre les conditions thermodynamiques nécessaires à son acheminement vers la section de réfrigération et de stockage.

VII. Importance globale de l'unité

Le fractionnateur V-X101 constitue le cœur de la section de séparation. Il assure non seulement la production simultanée de propane et de butane conformes aux normes industrielles, mais il contribue également à l'optimisation du complexe grâce à une forte intégration des échanges thermiques et à un système de contrôle avancé.

Son bon fonctionnement est donc déterminant pour la performance globale du site, tant sur le plan de la qualité des produits que sur celui de la consommation énergétique et de la stabilité opérationnelle.

VIII. Paramètre de fonctionnement :

L'alimentation du fractionnateur en GPL brut est réalisée dans des conditions thermodynamiques bien définies afin de garantir une séparation efficace des constituants. En effet, le flux entrant est porté à une température proche de son point d'ébullition (point de bulle) avant son introduction dans la colonne.

La température d'alimentation est ainsi maintenue à une valeur de consigne constante d'environ 71°C. Ce réglage est essentiel, car il permet d'assurer un bon équilibre entre les phases liquide et vapeur au niveau de la zone d'alimentation, condition indispensable pour optimiser l'efficacité de la distillation.

Le maintien de cette température stable contribue également à stabiliser le profil thermique interne de la colonne, améliorer le contact entre les phases sur les plateaux, réduire les fluctuations de composition du produit en tête et en fondet optimiser la consommation énergétique du rebouilleur.

Ainsi, le contrôle précis de la température d'alimentation constitue un paramètre clé dans le bon fonctionnement du fractionnateur et dans l'obtention de produits conformes aux spécifications industrielles.

Plateau sensible 55

Le 55^e plateau du fractionnateur est considéré comme un plateau sensible, car sa température constitue un paramètre clé dans le pilotage de la colonne de distillation. En exploitation normale, la température mesurée à ce niveau est d'environ 74°C.

Cette variable joue un rôle important dans le contrôle du fonctionnement global de la colonne, notamment en ce qui concerne le rebouillage au fond du fractionnateur. En effet, la température du plateau 55 est directement influencée par l'intensité du rebouilleur et reflète l'équilibre thermique dans la partie basse de la colonne.

Par conséquent, ce paramètre est étroitement lié à la qualité du produit de fond, en particulier à la teneur en propane contenue dans le butane commercial. Une augmentation de la température au niveau de ce plateau indique généralement une intensification du rebouillage, ce qui peut entraîner une variation de la composition du produit de fond.

Ainsi, le suivi et le contrôle de la température du 55^e plateau permettent :

d'ajuster les conditions de rebouillage, de maintenir la stabilité de la séparation, et de garantir le respect des spécifications du butane commercial en limitant la teneur en propane.

Ce point de mesure constitue donc un indicateur essentiel pour la régulation fine du fractionnateur et la maîtrise de la qualité des produits finaux

Chapitre III :

Analyse et optimisation de la régulation du reflux dans la section séparation

I. Introduction

Dans les unités de traitement du GPL, la section de fractionnement occupe une place essentielle dans la séparation et la valorisation des différents constituants du mélange. Le bon fonctionnement du fractionnateur influence directement la qualité des produits finis, la stabilité du procédé ainsi que la consommation énergétique globale du complexe. Parmi les paramètres opératoires les plus importants de cette unité figure le débit de reflux, qui joue un rôle déterminant dans l'efficacité de séparation entre le propane et le butane.

Cependant, un débit de reflux excessif entraîne une augmentation importante de la charge thermique au niveau des rebouilleurs ainsi qu'une consommation énergétique supplémentaire au niveau des systèmes de condensation et de réfrigération. À l'inverse, une réduction excessive du reflux peut provoquer une dégradation de la pureté des produits et perturber la stabilité de fonctionnement de la colonne.

Dans ce contexte, l'optimisation du débit de reflux constitue une solution efficace permettant de réduire les coûts énergétiques tout en maintenant les spécifications de qualité exigées pour les produits commercialisés. Cette optimisation nécessite une bonne compréhension du comportement thermique et hydraulique du fractionnateur ainsi qu'un contrôle précis des paramètres opératoires.

Le présent chapitre est consacré à l'étude de la régulation et de l'optimisation du reflux du fractionnateur de la section séparation du complexe GP1/Z. Cette étude repose principalement sur l'utilisation de la température du plateau sensible comme indicateur indirect de la qualité de séparation et de la pureté des produits.

Par ailleurs, certaines limitations du système actuel de contrôle seront analysées, notamment l'absence d'un chromatographe en ligne ainsi que les dysfonctionnements occasionnels des capteurs utilisés par le système APC (*Advanced Process Control*). Ces problèmes peuvent affecter la précision du contrôle du reflux et la stabilité du fonctionnement de la colonne.

L'objectif de ce chapitre est donc de proposer une méthode pratique d'optimisation du reflux permettant d'améliorer les performances énergétiques du fractionnateur tout en garantissant un fonctionnement stable et sécurisé de l'unité.

II. Conclusion

Ce chapitre a permis de mettre en évidence le rôle central du contrôle du débit de reflux dans le fonctionnement du fractionnateur GP1/Z. La régulation de cette variable, basée principalement sur la température du plateau sensible, constitue un levier essentiel pour assurer un compromis entre la qualité des produits (propane et butane) et l'optimisation énergétique de l'unité.

L'étude a montré que le système de régulation en boucle fermée, renforcé par l'intégration du système APC (*Advanced Process Control*), permet d'améliorer

Chapitre III : analyse et optimisation de la régulation du reflux dans section séparation

significativement la stabilité du procédé et d'adapter en continu les conditions opératoires face aux variations de charge et de composition du GPL brut. Cependant, cette performance reste fortement dépendante de la qualité des mesures fournies par les capteurs ainsi que de la disponibilité d'informations fiables et en temps réel sur la composition du produit.

Par ailleurs, deux limitations majeures ont été identifiées. D'une part, l'absence d'un chromatographe en ligne entraîne un retard dans l'obtention des résultats de composition, ce qui limite la réactivité du système de contrôle. D'autre part, les dysfonctionnements possibles des capteurs peuvent induire des erreurs de régulation, perturbant ainsi le fonctionnement du système APC et la stabilité globale de la colonne.

Ainsi, malgré l'efficacité globale de la stratégie de contrôle actuelle, des améliorations restent possibles afin de renforcer la précision et la réactivité du système, notamment par l'intégration de mesures en temps réel et l'amélioration de la fiabilité instrumentale

Chapitre 4 :

Production du

Propane ultra pur

I. Introduction

Les différentes méthodes d'optimisation du reflux présentées dans les chapitres précédents, notamment la régulation par la température du plateau sensible ainsi que le système de contrôle avancé APC, permettent d'améliorer les performances de la colonne de distillation et d'obtenir un propane d'une pureté comprise entre 96 et 98 %. Cette qualité répond généralement aux exigences commerciales et aux besoins de la majorité des utilisateurs industriels.

Cependant, dans le cadre de cette étude, l'encadrant a proposé d'examiner une autre approche technique visant à produire un propane de très haute pureté, supérieur à 99 %. Un tel niveau de pureté pourrait ouvrir la voie à des applications plus exigeantes, notamment dans le domaine de la pétrochimie où les spécifications de qualité sont souvent plus strictes.

Le principe de cette solution consiste à exploiter les différences de volatilité entre les constituants présents dans le distillat. Pour cela, le propane liquide issu du sommet de la colonne subirait d'abord une détente contrôlée provoquant une diminution de pression. Cette opération serait suivie d'une séparation flash permettant de fractionner le mélange en une phase vapeur et une phase liquide. Enfin, la phase vapeur obtenue serait comprimée afin de récupérer un produit répondant aux conditions d'utilisation ou de stockage souhaitées.

II. Principe général

L'approche proposée ne consiste plus uniquement à agir sur le taux de reflux de la colonne afin d'améliorer la séparation propane/butane. Elle repose sur l'ajout d'une étape complémentaire de séparation en aval de la colonne de distillation, permettant d'augmenter davantage la pureté du propane obtenu.

Le principe est de traiter une partie ou la totalité du distillat liquide récupéré à la sortie du condenseur. À ce stade, le produit est maintenu à l'état liquide sous une pression relativement élevée, d'environ 19 bar, et contient encore de faibles quantités de butane mélangées au propane.

Le distillat est ensuite envoyé vers une vanne de détente où sa pression est brusquement réduite jusqu'à une valeur proche de 4 bars. Cette chute importante de pression entraîne une vaporisation partielle du mélange. En raison de sa plus grande volatilité et de sa température d'ébullition plus faible, le propane se vaporise préférentiellement, tandis que le butane, moins volatil, reste majoritairement sous forme liquide.

À la sortie de la vanne de détente, le mélange biphasique est dirigé vers un ballon séparateur de type « flash drum ». Dans cet équipement, les phases gazeuse et liquide sont séparées naturellement sous l'effet de la gravité. La phase vapeur obtenue est fortement enrichie en propane et peut atteindre une pureté supérieure à 99 %, tandis que la phase liquide contient principalement du butane ainsi que de faibles quantités de propane résiduel.

Afin de pouvoir être réutilisée dans le procédé, la vapeur riche en propane est ensuite comprimée jusqu'à une pression compatible avec les conditions de fonctionnement de la colonne. Elle peut alors être réinjectée en tête de colonne ou utilisée dans une autre section du procédé selon les besoins d'exploitation. De son côté, le liquide riche en butane est dirigé vers les étapes suivantes de traitement ou de stockage.

III. Description du procédé proposé

I. Étape 1 : Prélèvement du distillat liquide

La première étape du procédé consiste à prélever une partie du distillat liquide récupéré en tête de la colonne de distillation après son passage dans le condenseur. À ce niveau, le produit est maintenu à l'état liquide grâce à une pression relativement élevée, d'environ 19 bar, et à une température proche de 50 °C.

Ce courant liquide est principalement composé de propane et une faible proportion de butane qui n'a pas été totalement séparée lors de la distillation. Bien que la pureté obtenue à la sortie de la colonne soit déjà conforme aux spécifications commerciales, la présence résiduelle de butane limite l'obtention d'un propane de très haute pureté.

Afin de réaliser un traitement complémentaire, une partie ou la totalité de ce distillat est dérivée du circuit principal et dirigée vers une vanne de détente. Cette dérivation constitue le point de départ de l'opération de séparation flash. Le débit prélevé peut être ajusté selon les objectifs de production et les performances recherchées.

L'objectif de cette étape est donc d'alimenter le système de détente avec un courant liquide riche en propane dans des conditions de pression et de température favorables à une séparation ultérieure du propane et du butane. Le distillat prélevé conserve ainsi l'énergie nécessaire pour permettre une vaporisation partielle lors de la réduction de pression effectuée à l'étape suivante.

II. Étape 2 – Détente à 4 bars

Après son prélèvement en tête de colonne, le distillat liquide est envoyé vers une vanne de détente où il subit une réduction rapide de pression. La pression du courant passe ainsi d'environ 19 bars à 4 bars. Cette opération constitue l'étape clé du procédé, car elle crée les conditions nécessaires à la séparation du propane et du butane.

La diminution brutale de pression modifie l'équilibre liquide-vapeur du mélange. À une pression de 4 bars, les températures d'ébullition des deux constituants deviennent suffisamment différentes pour favoriser leur séparation. Le propane, qui est le composé le plus volatil, possède une température d'ébullition d'environ -5 °C dans ces conditions, tandis que celle du butane est voisine de 20 °C.

Ainsi, lorsque le mélange se retrouve à cette nouvelle pression, le propane tend à se vaporiser rapidement. À température ambiante, ou après un léger apport de chaleur si nécessaire, une grande partie du propane passe à l'état gazeux. En revanche, le butane, moins volatil, demeure majoritairement sous forme liquide.

Cette vaporisation sélective conduit à la formation d'un mélange diphasique composé d'une phase vapeur riche en propane et d'une phase liquide riche en butane. Le courant ainsi obtenu est ensuite dirigé vers un ballon séparateur (flash drum), où les deux phases pourront être séparées efficacement lors de l'étape suivante.

Cette opération de détente permet donc d'exploiter les différences de volatilité entre le propane et le butane afin d'obtenir une première séparation sans recourir à une nouvelle colonne de distillation.

III. Étape 3 – Séparation dans le ballon

Après la détente, le mélange diphasique obtenu est envoyé vers un ballon séparateur de type flash drum. Cet équipement a pour rôle de séparer efficacement la phase vapeur de la phase liquide formées lors de la chute de pression.

À l'intérieur du ballon, la séparation se produit naturellement sous l'effet de la différence de densité entre les deux phases. La phase gazeuse, plus légère, monte vers la partie supérieure du ballon, tandis que la phase liquide, plus dense, s'accumule au fond de l'équipement.

La vapeur récupérée en partie haute est constituée principalement de propane. Grâce à la vaporisation sélective obtenue lors de l'étape de détente, sa pureté peut dépasser 99 %, ce qui représente une amélioration significative par rapport à la qualité obtenue directement à la sortie de la colonne de distillation. Cette vapeur riche en propane est ensuite dirigée vers l'étape de compression afin d'être réutilisée dans le procédé.

La phase liquide récupérée au fond du ballon est quant à elle composée majoritairement de butane. Elle peut néanmoins contenir de faibles quantités de propane qui n'ont pas été vaporisées lors de la détente. Ce courant liquide est ensuite renvoyé vers le dipentaniseur afin de poursuivre son traitement et de valoriser les hydrocarbures qu'il contient.

Cette étape est essentielle, car elle permet d'obtenir deux courants distincts : un courant gazeux fortement enrichi en propane et un courant liquide riche en butane. L'efficacité de cette séparation conditionne directement la pureté finale du propane produit ainsi que les performances globales du procédé.

IV. Étape 4 – Compression jusqu'à liquéfaction

La vapeur de propane qui sort du ballon séparateur est encore à l'état gazeux. Elle se trouve à une pression d'environ 4 bars et à une température proche de la température ambiante, autour de 20 °C. Dans cet état, on ne peut pas l'utiliser directement comme reflux dans la colonne de distillation, car un gaz ne peut pas jouer le rôle de liquide dans le contact liquide-vapeur.

Pour pouvoir le réutiliser, on doit d'abord la transformer en liquide. Cela se fait en augmentant sa pression à l'aide d'un compresseur. Le flux est alors comprimé jusqu'à environ 20 à 24 bars, selon les conditions de température.

Quand la pression augmente, le propane change de comportement : il devient plus facile à liquéfier. À cette pression plus élevée, il peut alors commencer à se condenser et passer en phase liquide, totalement ou partiellement.

À la sortie de cette étape, on obtient donc un propane liquide, parfois légèrement chaud ou même un peu sous-refroidi selon les conditions de fonctionnement. Ce liquide peut ensuite être renvoyé en tête de colonne comme reflux additionnel.

L'idée est simple : on transforme un gaz qui ne peut pas être utilisé directement en un liquide utile pour améliorer la séparation dans la colonne.

V. Étape 5 – Réchauffage du propane comprimé

Après la compression, le propane peut subir une augmentation de température importante. Dans certains cas, il peut aussi se retrouver proche de conditions où un début de condensation est possible lors de son refroidissement ou de sa réinjection.

Pour garantir un fonctionnement stable, le propane comprimé est donc réchauffé jusqu'à environ 50 °C à l'aide d'un échangeur de chaleur. Ce réchauffage permet de maintenir le propane entièrement à l'état gazeux et d'éviter toute formation de liquide dans les lignes ou au niveau de la tête de colonne.

Cette étape améliore également la sécurité et la fiabilité du système, car elle protège les équipements en aval et assure une meilleure stabilité du flux lors de la réinjection dans la colonne.

Ainsi, le réchauffage après compression permet d'obtenir un propane dans de bonnes conditions thermodynamiques pour sa réintroduction dans le procédé.

VI. Étape 6 – Réinjection en tête de colonne

Le propane qui a été liquéfié est ensuite envoyé en tête de la colonne de distillation. Il est réinjecté comme un reflux liquide supplémentaire, en plus du reflux classique déjà présent dans le procédé.

Ce nouveau reflux apporte un propane très pur, généralement à plus de 99 % de C3. En arrivant en haut de la colonne, il redescend à travers les plateaux et entre en contact avec les vapeurs montantes. Cela permet d'améliorer la séparation entre les composants.

L'avantage est que ce flux supplémentaire renforce la qualité de la séparation sans déranger le fonctionnement normal de la colonne. En effet, il n'introduit pas de perturbation hydraulique importante au niveau des plateaux, donc la colonne reste stable et continue de fonctionner correctement.

En résumé, ce reflux additionnel agit comme un "boost" de pureté : il améliore la performance de séparation tout en gardant un fonctionnement fluide et stable de la colonne.

IV. Effet sur la séparation et la pureté

Le reflux qui est renvoyé en tête de colonne est maintenant un liquide très pur en propane. Cela a un effet important sur le fonctionnement de la colonne.

D'abord, comme tout reflux liquide, il joue un rôle essentiel : il refroidit les plateaux du haut de la colonne et permet de maintenir un bon contact entre les vapeurs qui montent et le liquide qui descend. C'est ce contact qui rend la séparation possible.

Mais ici, il y a un avantage en plus : ce reflux est beaucoup plus pur que le reflux classique. Il contient environ 99 % de propane, alors que le reflux habituel est autour de 96 %. Cela signifie que le liquide qui redescend dans la colonne est globalement plus riche en propane.

En mélangeant ce reflux très pur avec le reflux classique, on améliore progressivement la qualité du liquide dans la partie haute de la colonne. Résultat : les échanges entre vapeur et liquide deviennent plus efficaces, et la séparation est meilleure.

Au final, cela permet d'obtenir un propane de sortie encore plus pur, pouvant dépasser 99 %, sans avoir besoin de modifier la structure de la colonne elle-même.

V. Impact sur la température et la stabilité de la colonne

En arrivant sous forme liquide en tête de colonne, il joue son rôle normal : il refroidit les plateaux supérieurs et favorise les échanges entre les vapeurs qui montent et le liquide qui redescend. Cela permet de garder un bon équilibre thermique dans cette zone importante de la colonne.

Sur le plan hydraulique, la colonne reste stable. Le nouvel apport ne crée pas de déséquilibre particulier dans l'écoulement des liquides sur les plateaux, donc le fonctionnement global n'est pas perturbé.

Un autre avantage intéressant est qu'on peut même réduire légèrement le débit du reflux classique. Cela permet de diminuer la consommation d'énergie au niveau du rebouilleur, tout en gardant une très bonne qualité de séparation. Dans certains cas, la pureté du produit peut même s'améliorer grâce à l'apport de ce reflux plus pur.

Au final, cette solution reste totalement cohérente avec le fonctionnement normal d'une colonne à plateaux : elle améliore les performances sans déstabiliser le système.

VI. Avantages et inconvénients

I. Avantages

Cette solution présente plusieurs avantages importants :

- Elle permet d'atteindre une pureté de propane supérieure à 99 %, améliorant ainsi la qualité du produit final.
- Le reflux est sous forme liquide, ce qui est totalement compatible avec le fonctionnement d'une colonne de distillation (refroidissement et contact liquide vapeur efficaces).
- Le procédé repose sur des technologies classiques et bien maîtrisées comme la compression, la séparation flash et la condensation.

- Il peut être ajouté progressivement sans modification de la colonne existante, ce qui facilite son intégration.
- Il permet potentiellement de réduire le débit de reflux classique, ce qui peut diminuer la consommation d'énergie au niveau du rebouilleur.

II. Inconvénients

Cette solution présente également certains inconvénients :

- Un investissement initial élevé est nécessaire (compresseur, ballon séparateur, échangeur, instrumentation).
- La consommation électrique du compresseur augmente les coûts d'exploitation.
- Le système devient plus complexe à exploiter et à maintenir.
- Cette solution n'est pas toujours justifiée économiquement si la pureté requise par le marché est déjà atteinte avec les performances classiques (95–97 % de propane).

VII. Conclusion du chapitre

L'idée proposée par l'encadrant consiste à améliorer la qualité du distillat en ajoutant une étape de détente suivie d'une séparation du butane, puis en comprimant la vapeur de propane jusqu'à sa liquéfaction afin d'obtenir un reflux liquide très pur, réinjecté en tête de colonne.

Cette approche est techniquement réalisable et reste compatible avec le fonctionnement normal d'une colonne à plateaux, notamment en ce qui concerne le maintien du refroidissement et du contact liquide vapeur nécessaire à la séparation.

Elle permettrait d'augmenter la pureté du propane à des niveaux supérieurs à 99 %. Elle constitue donc une piste d'amélioration intéressante pour le complexe GP1Z, sous réserve que les coûts supplémentaires liés à l'investissement et à la consommation énergétique soient justifiés par la valeur ajoutée d'un propane ultra-pur.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons présenté le principe de fonctionnement ainsi que les principaux paramètres du procédé, conformément aux recommandations de l'encadrant.

Conclusion Générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail, réalisé au sein du complexe GP1Z, avait pour objectif d'étudier l'optimisation du débit de reflux du fractionneur de la section de séparation du GPL, le reflux influence directement la consommation d'énergie de la colonne, notamment au niveau du rebouilleur (huile chaude) et des systèmes de refroidissement. Ainsi, toute réduction du reflux, tout en maintenant la qualité des produits, permet de réduire les coûts d'exploitation.

La partie principale de ce travail a consisté à proposer une méthode simple d'optimisation du reflux, applicable sans investissement. L'idée repose sur l'utilisation de la température du plateau sensible comme indicateur indirect de la qualité de séparation. La méthode consiste à réduire progressivement le débit de reflux par paliers, à laisser le temps au système de se stabiliser, puis à observer la température et la pureté du produit. On arrête la réduction lorsque la qualité minimale est atteinte. La température correspondante devient alors une nouvelle référence de fonctionnement.

Cette approche permet de réduire le débit de reflux de manière significative dans certains cas, ce qui entraîne une baisse de la consommation d'énergie au rebouilleur et une diminution de la charge thermique globale de la colonne. Elle présente aussi l'avantage d'être simple, rapide à appliquer et utilisable même sans mesure de composition en temps réel.

Nous avons également identifié un point important lié à la fiabilité de la régulation actuelle. Les capteurs de température peuvent présenter des dérives, et les analyses de composition ne sont pas toujours disponibles en continu. Cela peut rendre le réglage du reflux moins précis. Pour améliorer cela, une solution pertinente serait l'installation d'un analyseur en ligne de type chromatographe, capable de mesurer en continu la composition réelle du distillat. Cela permettrait de mieux piloter la colonne directement sur la pureté réelle du produit.

Enfin, une amélioration plus avancée a été étudiée : la production de propane ultra-pur grâce à une boucle externe de détente et de compression. Le principe consiste à détendre une partie du flux pour séparer le butane, puis à comprimer la vapeur de propane afin de la liquéfier et de la réinjecter en tête de colonne comme reflux très pur. Cette solution permettrait d'atteindre des puretés supérieures à 99 %, mais elle nécessite des équipements supplémentaires comme un compresseur, un ballon de séparation et une instrumentation adaptée. Elle entraîne donc un coût d'investissement et de fonctionnement plus élevé, notamment en énergie électrique.

Cette solution reste donc une perspective d'amélioration intéressante, mais elle doit être justifiée par une valorisation économique du propane ultra-pur sur le marché.

En résumé, ce travail propose trois niveaux d'amélioration :

- Une optimisation simple et immédiate du reflux basée sur la température du plateau sensible, sans investissement.
- une amélioration de la régulation grâce à une mesure en ligne plus fiable de la composition
- une perspective à plus long terme pour produire du propane ultra-pur via une boucle de détente-compression, si les conditions économiques le permettent.

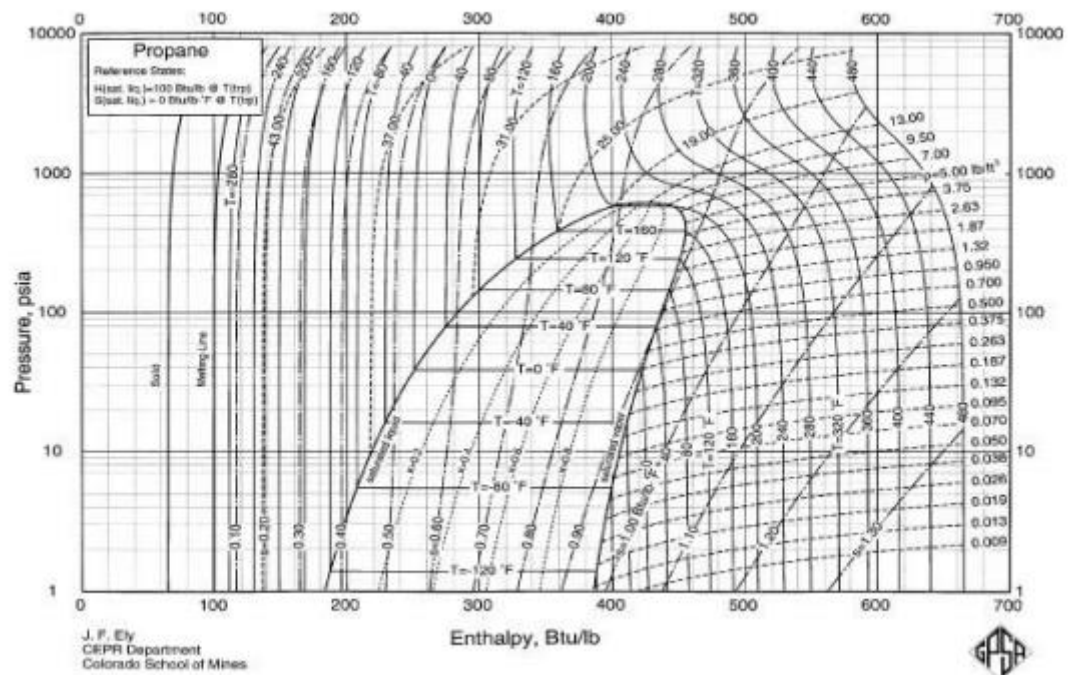
Les principales limites de ce travail sont l'absence d'essais industriels et le manque de certaines données économiques et opérationnelles détaillées. Malgré cela, les résultats et les propositions restent cohérents avec les principes de fonctionnement des colonnes de distillation et peuvent servir de base à des améliorations futures.

Ce travail met donc en évidence des résultats concrets pour améliorer la régulation du reflux, réduire la consommation énergétique et renforcer la performance globale du fractionneur GPL au sein du complexe GP1Z.

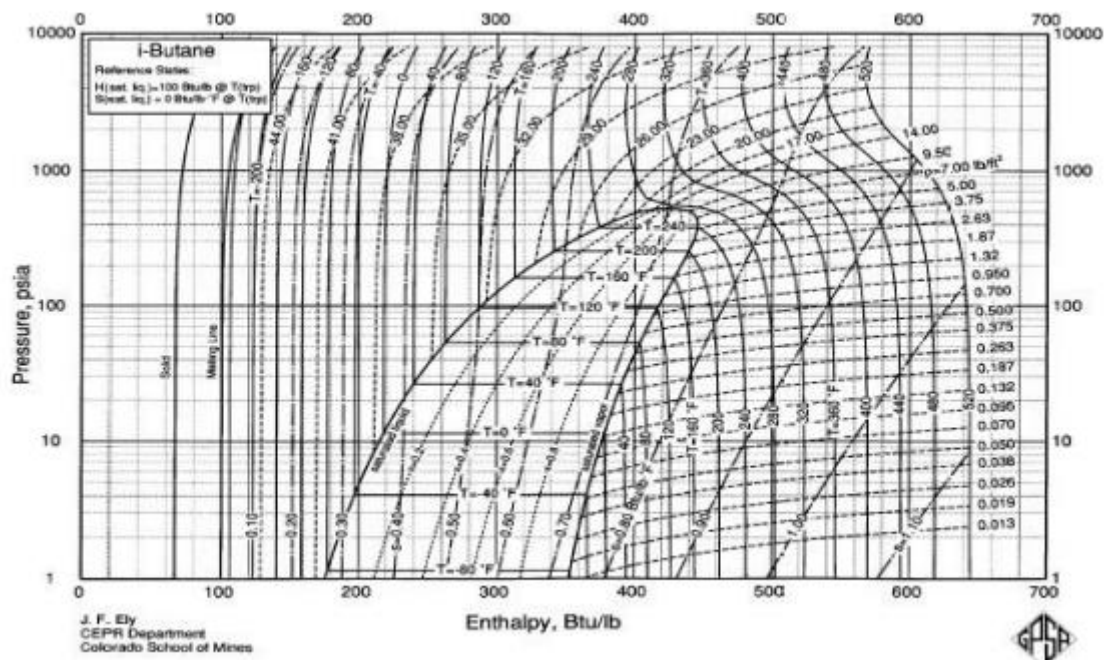
Référence bibliographique

- [1] SONATRACH. Manuel opératoire GP1/Z – Généralités sur le complexe. Document interne, Arzew, Algérie.
- [2] SONATRACH. Manuel opératoire GP1/Z – Section séparation. Document interne, Arzew, Algérie.
- [3] SONATRACH. Manuel opératoire GP1/Z – Stockage et expédition. Document interne, Arzew, Algérie.
- [4] SONATRACH. Catalogue mécanique – Section séparation, volumes 1 et 2. Document interne, Arzew, Algérie.
- [5] WUITHIER, Jacques P. Raffinage et génie chimique.
- [6] WAUQUIER, Jean-Paul. Procédés de séparation.
- [7] KISTER, Henry Z. Distillation Design.
- [8] HERMAN, P. Online gas chromatography for distillation column control. Hydrocarbon Processing.
- [9] NATURAL GAS PROCESSING ASSOCIATION (NGPA). NGPA Publication 2146 – Specifications for Propane and Butane.

Annexes :



annexe 1: diagram p-h de propan



annexe 2 : diagram p-h de butan