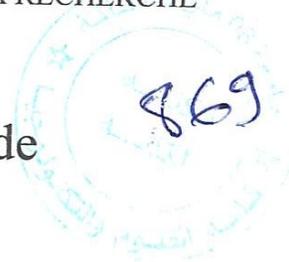


RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

Mémoire du Projet de fin d'étude  
2<sup>ème</sup> Année Master



Département : Génie des Procédés

Spécialité : Génie des procédés

*Présenté par :*

AIDAOUI Khayr-Ellah  
HAMAIDIA Ibtissam

---

---

*Simulation de l'influence de la pression de tête du  
débutaniseur sur la production de GPL et condensat*

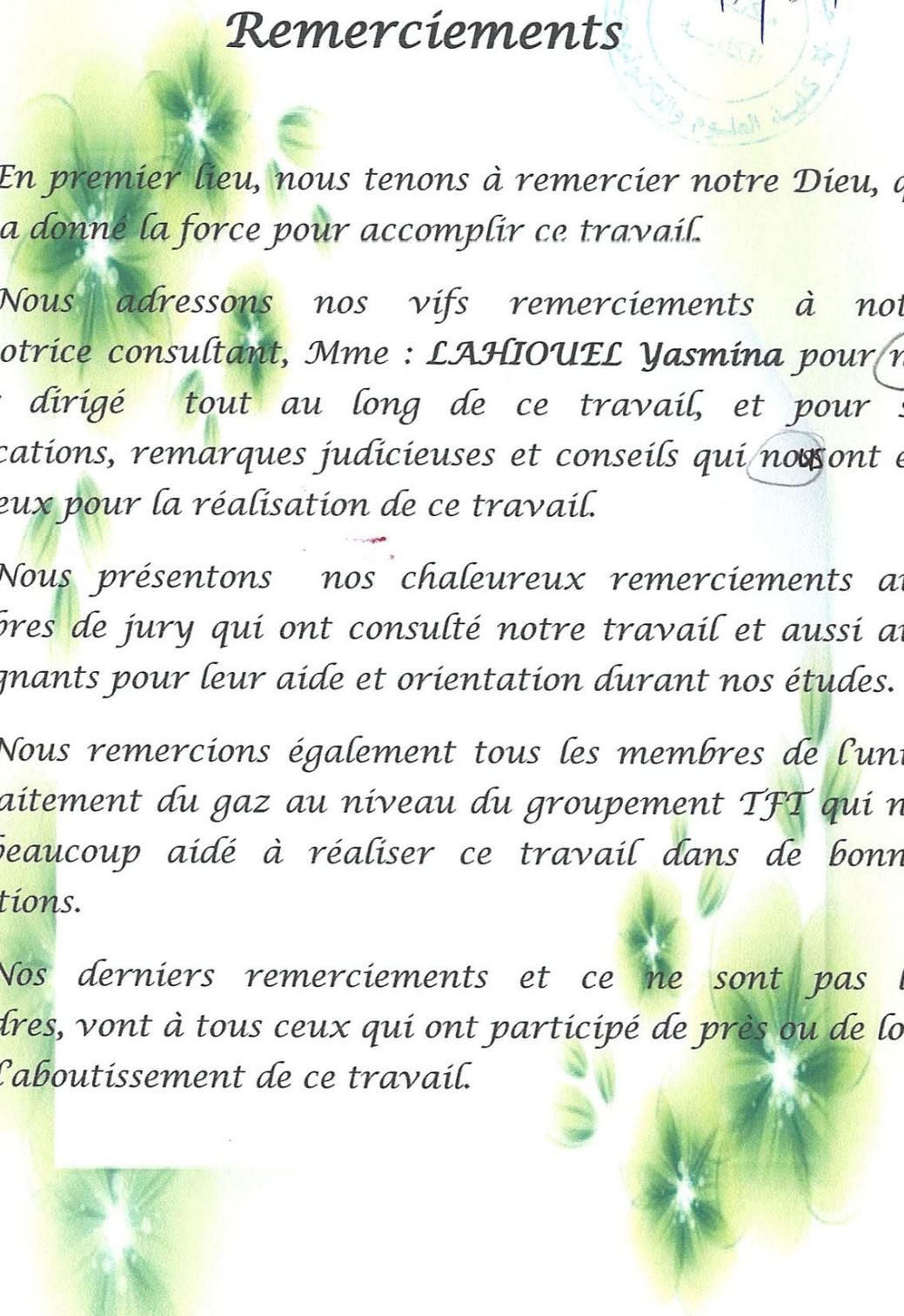
---

---

Sous la Direction de :

Lahiouel Yasmina

Juin 2017



17/3497

## Remerciements

*En premier lieu, nous tenons à remercier notre Dieu, qui nous a donné la force pour accomplir ce travail.*

*Nous adressons nos vifs remerciements à notre promotrice consultant, Mme : LAHIOUEL Yasmîna pour nous avoir dirigé tout au long de ce travail, et pour ses explications, remarques judicieuses et conseils qui nous ont été précieux pour la réalisation de ce travail.*

*Nous présentons nos chaleureux remerciements aux membres de jury qui ont consulté notre travail et aussi aux enseignants pour leur aide et orientation durant nos études.*

*Nous remercions également tous les membres de l'unité du traitement du gaz au niveau du groupement TFI qui nous ont beaucoup aidé à réaliser ce travail dans de bonnes conditions.*

*Nos derniers remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.*

# Dédicace

---

*Je voulais tout d'abord, remercier dieu de m'avoir donné le courage pour accomplir ce modeste travail, que je dédie :*

*À ma chère mère et mon cher père pour l'affection, la patience, l'encouragement, qu'ils m'ont donné toute ma vie, et toutes les épreuves difficiles traversées.*

*À mes chers frères et Sœurs : Abd alhak, Lin, Omar, Ali, Salah, Walid, Aida, fatima.*

*À mes chères amies : Ramzi, Tarak, Mondar, Halim, Raouf,*

*À tous ceux de la faculté des sciences et de la technologie*

*À tous ceux qui m'aime*

*À tous ce que j'aime*

*ÀDÀOUKhayressah*

## Nomenclature

**GTFT** : Groupement Tin Fouye Tabankort.

**T** : La température (°C).

**P** : La pression (barg).

**D'** : débit molaire du distillat (kmole /h).

**D** : débit massique du distillat (kg /h).

**D'<sub>i</sub>** : débit molaire du constituant i du distillat (kmole /h).

**D<sub>i</sub>** : débit massique du constituant i du distillat (kmole /h).

**Y'<sub>Di</sub>** : fraction molaire du constituant i dans le distillat.

**Y<sub>Di</sub>** : fraction massique du constituant i dans le distillat.

**R'** : débit molaire du résidu (kmole /h).

**R** : débit massique du résidu (kg /h).

**R'<sub>i</sub>** : débit molaire du constituant i du résidu (kmole /h).

**R<sub>i</sub>** : débit massique du constituant i du résidu (kg /h).

**X'<sub>Ri</sub>** : fraction molaire du constituant i dans le résidu.

**X<sub>Ri</sub>** : fraction molaire du constituant i dans le résidu.

**QC, QR** : l'énergie du condenseur et du rebouilleur respectivement (kj/h).

**W<sub>D</sub>, W<sub>R</sub>** : les énergie du distillat et du résidu (kj/h).

**r** : Le taux de reflux.

**R** : le débit du reflux.

**TVR** : Tension de vapeur Reid (psi-g).

**a, b** : constantes liées à la température et pression critiques.

**Z** : coefficient de compressibilité.

$n_i$  : nombre de moles du constituant  $i$ .

$R$  : constante des gaz parfaits.

$T_{c_i}$  : température critique du constituant  $i$ .

$P_{c_i}$  : pression critique du constituant  $i$ .

$K_{ij}$  : coefficient d'interaction binaire.

$Tr_i$  : température réduite.

## Liste des figures

<b>Figure I-1</b> : Situation géographique du GTFT.....	6
<b>Figure I-2</b> : Coupe de réservoir .....	7
<b>Figure I-3</b> : Partage de la production (Type Association).....	8
<b>Figure I-4</b> : Organigramme de GTFT.....	9
<b>Figure I-5</b> : schémas simplifié de l'unité de traitement de gaz GTFT.....	11
<b>Figure II-1</b> : Répartition des réserves mondiales en gaz naturel par pays (en 2014) .....	26
<b>Figure II-2</b> : Répartition de la production d'énergie.....	40
<b>Figure II-3</b> : Répartition de consommation d'énergie .....	40
<b>Figure III-1</b> : Schémas générale d'une colonne de rectification.....	44
<b>Figure III-2</b> : Différents types de plateaux .....	45
<b>Figure III-3</b> : Différents types de garnissage .....	46
<b>Figure V-1</b> : Structure générale de Hysys .....	58
<b>Figure V-2</b> : Schéma de simulation du débutaniseur T6-1501 .....	60
<b>Figure V-3</b> : Variation de la température en tête, du fond, du plateau sensible et du débit de reflux en fonction de la pression .....	75
<b>Figure V-4</b> : Variation de la température en tête, du fond et du C2- et du C5+ en fonction de la pression .....	79
<b>Figure V-5</b> : Variation de l'énergie du rebouilleur et du débit de reflux en fonction de la pression .....	82
<b>Figure V-6-a</b> : Variation de la TVR et de la température en tête en fonction de la pression..	86
<b>Figure V-6-b</b> : Variation de la TVR et du débit de reflux en fonction de la pression .....	86
<b>Figure V-7</b> : Variation du taux de reflux en fonction de la pression .....	87

## Liste des tableaux

<b>Tableau I-1</b> : Prévisions de la production de GTFT .....	7
<b>Tableau I-2</b> : Composition et caractéristiques de la charge .....	10
<b>Tableau II-1</b> : Réserves prouvées du gaz naturel par pays .....	26
<b>Tableau II-2</b> : Production de gaz naturel par pays .....	27
<b>Tableau II-3</b> : Les dix plus grands pays consommateurs de gaz naturel en 2013 ...	28
<b>Tableau II-4</b> : Composition molaire du GPL .....	32
<b>Tableau II-5</b> : caractéristiques principales du propane et butane .....	33
<b>Tableau II-6</b> : Bilan énergétique national 2016 .....	39
<b>Tableau V-1</b> : Composition et débits molaire, massique et volumique de l'alimentation.....	62
<b>Tableau V-2</b> : Composition du distillat .....	63
<b>Tableau V-3</b> : Compositions du résidu .....	64
<b>Tableau V-4</b> : Composition et débits molaire, massique et volumique de l'alimentation .....	66
<b>Tableau V-5</b> : Compositions et débits molaire et massique du distillat .....	66
<b>Tableau V-6</b> : Compositions et débits molaire et massique du résidu .....	67
<b>Tableau V-7</b> : Influence de la pression sur le fonctionnement du débutaniseur ...	70
<b>Tableau V-8</b> : Influence de la pression et du débit de reflux sur la température en tête, du fond et du plateau sensible .....	73
<b>Tableau V-9</b> : Influence de la pression, la température en tête et du fond sur la spécification de GPL.....	77
<b>Tableau V-10</b> : Influence de la pression et le débit du reflux sur l'énergie du rebouilleur .....	81
<b>Tableau V-11</b> : Influence de la pression et le débit du reflux sur la quantité de GPL dans le condensât quantifiée (TVR) .....	84

# Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>2</b>
-----------------------------------	----------

## **Chapitre I : Présentation du champ GTFT**

<b>I -1- Situation géographique .....</b>	<b>6</b>
<b>I -2-Réservoir et gisement.....</b>	<b>7</b>
<b>I -3- Historique de production.....</b>	<b>8</b>
<b>I -4- Présentation de l'association.....</b>	<b>8</b>
<b>I -5- Organigramme du GTFT .....</b>	<b>9</b>
<b>I -6-Composition et caractéristiques du gaz traité par l'usine.....</b>	<b>10</b>
<b>I-7- Description du procédé de traitement .....</b>	<b>10</b>

## **Chapitre II : Généralités**

<b>II-1-Introduction .....</b>	<b>25</b>
<b>II-2-Gaz naturel dans le monde.....</b>	<b>25</b>
<b>II-2-1- Répartition géographique des ressources gazières dans le monde .....</b>	<b>25</b>
<b>II-2-2- Production mondiale du gaz naturel.....</b>	<b>27</b>
<b>II-2-3- Consommation mondiale du gaz naturel.....</b>	<b>27</b>
<b>II-3-Propriétés du gaz naturel .....</b>	<b>28</b>
<b>II-4-Différents types de gaz naturel .....</b>	<b>29</b>
<b>II-5-Techniques de traitement du gaz naturel .....</b>	<b>29</b>
<b>II-6-LE GPL .....</b>	<b>30</b>
<b>II-6-1-Définition du GPL .....</b>	<b>30</b>
<b>II-6-2-Les sources de GPL .....</b>	<b>31</b>
<b>II-6-3-Composition et caractéristiques du GPL.....</b>	<b>31</b>
<b>II-6-3-1-Composition du GPL .....</b>	<b>31</b>
<b>II-6-3-2- Caractéristique principales du GPL.....</b>	<b>33</b>
<b>II-6-3-2-1-Toxicité de GPL .....</b>	<b>33</b>
<b>II-6-3-2-2-Gelures provoqués par le GPL .....</b>	<b>34</b>
<b>II-6-4 - Utilisation du GPL.....</b>	<b>34</b>

II-6-4-1- Le GPL carburant .....	34
II-6-4-2- Le GPL dans la pétrochimie .....	35
II-6-4-3- Le GPL dans la production d'électricité .....	35
II-6-4-4- Le GPL dans les ménages .....	35
II-6-4-5- Le GPL dans la climatisation .....	36
II-1-4-6- Le GPL dans l'agriculture .....	36
II-7- Le condensat.....	36
II-7-1- Définition.....	36
II-7-2- Caractéristiques du condensat.....	37
II-7-3- Utilisation du condensât.....	37
II-7-3-1- Utilisation du condensât dans le raffinage .....	37
II-7-3-2- Utilisation du condensât dans la pétrochimie .....	38
II-8- Le GPL et le condensat en Algérie en 2013.....	38

### **Chapitre III: Théorie sur le procédé de rectification**

III-1- Introduction.....	42
III-2- Définition .....	42
III-3- Description et Principe de fonctionnement de la colonne de rectification.....	42
III-4- Types de colonnes de rectification.....	44
III-4-1- Colonnes à plateaux .....	44
III-4-2- Colonnes à garnissage .....	45
III-4-3- Comparaison entre garnissage et plateaux .....	46
III-5- Engorgement dans les colonnes de rectification.....	47

### **Chapitre IV : Sécurité et environnement**

IV-1- Introduction .....	49
IV -2- Organisation de la sécurité .....	49
IV -2-1- Prévention .....	49
IV -2-2- Intervention.....	50
IV-2-2-1- L'eau incendie .....	50

IV-2-2-2- Les déluges .....	50
IV-2-2-3- Véhicules et appareils mobiles .....	50
IV-2-2-4- Appareils mobiles .....	50
IV-2-2-5- FM200 .....	51
IV-2-2-6- Extincteurs .....	51
IV-2-2-7- Signaux d'alarme .....	51
IV-2-2-8- Divers .....	51
IV -3- Environnement .....	51
IV -3-1- Politique environnementale GTFT .....	51
IV-3-2- Certification ISO 14001 2004 .....	52

### **Chapitre V : Simulation par le logiciel Hysys**

V-1- Introduction.....	55
V -2- Définition de la simulation .....	55
V -3- Concept et caractéristiques du simulateur Hysys.....	55
V -4- Gestionnaire de base du simulateur Hysys .....	56
V -5- Choix du modèle thermodynamique .....	56
V-6- Structure générale du Hysys .....	58
V-7- Problématique .....	58
V-8- Débutanisation .....	59
a- Choix des paramètres .....	59
b- Hypothèses de simulation .....	60
V-9- Calcul de la colonne débutaniseur T6-1501 .....	61
V-9-1- Cas Design.....	61
V-9-1-1- Distillat .....	63
V-9-1-2- Résidu .....	64
V-9-1-3- Conclusion .....	65
V-9-2- Cas actuel.....	65
V-9-2-1- Distillat .....	66
V-9-2-2- Résidu .....	67
V-9-2-3- Interprétation et conclusion sur les résultats obtenus (design/actuel) ..	68
V-10- Optimisation des paramètres de fonctionnement du cas réel .....	68

<b>V-10-1- Optimisation des paramètres.....</b>	<b>68</b>
<b>V-10-2- Variation de la température en tête, du fond, du plateau sensible et du débit de reflux en fonction de la pression .....</b>	<b>73</b>
<b>V-10-3- Variation de la température en tête, du fond et du la spécification de GPL en fonction de la pression .....</b>	<b>77</b>
<b>V-10-4- Variation de l'énergie du rebouilleur en fonction de la pression .....</b>	<b>80</b>
<b>V-10-5- Variation de la quantité de GPL dans le condensât quantifiée (TVR) en fonction de la pression .....</b>	<b>83</b>
<b>V-10-6- Variation du taux de reflux en fonction de la pression .....</b>	<b>87</b>
<b>Conclusion et recommandations .....</b>	<b>89</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>91</b>
<b>Annexes</b>	

# *Introduction générale*

## **Introduction générale:**

Alors que l'histoire du pétrole brut, de ses découvertes, de ses réserves et du développement international de son industrie a pris corps dès le début du siècle dernier, il fallait attendre la fin des années 1950 pour que le gaz naturel commence à susciter un intérêt mondial où, le gaz naturel joue un rôle énergétique croissant. L'importance de ses réserves et les avantages qu'il présente sur le plan de l'environnement favorisent son utilisation notamment dans les secteurs à forte valeur ajoutée : l'industrie de précision, production d'électricité.

Vu la position qu'occupe le gaz dans l'industrie moderne, l'Algérie a accordé une grande importance à ses ressources en gaz comme le champ de GTFT qui est l'un des plus importants gisements dans l'Algérie riche en condensât et en GPL.

Dans le cadre de la réalisation du mémoire de fin d'études nous avons effectué un stage pratique au niveau de GTFT, dont le but consistait à simuler, et à optimiser le fonctionnement d'une section d'installation existante à savoir la débutanisation, qui est réalisée dans la colonne de rectification T6-1501. Elle constitue la dernière étape de la production du GPL et consiste en la séparation d'une part des C5 et fractions plus lourdes (condensat) et d'autre part, des C4 et fractions plus légères (GPL).

Au niveau du groupement TFT, la pression du débutaniseur actuelle est égale à 17,65 barg à cause des changements du gisement TFT et l'alimentation du l'unité sera plus légère pendant le temps.

Depuis une certaine période, l'unité du GTFT a un problème dans le rebouilleur et son changement (à l'état dégradé). Les responsables ont alors décidé de résoudre ce problème par l'augmentation de la pression en tête de la colonne débutaniseur (par expérience).

Suite au changement fait par le groupement TFT sur la pression de tête de la colonne débutaniseur de 17,2 barg (pression de démarrage) à 17,65 barg (pression actuelle) et vu que la pression de service maximale est de 17,3 barg et la pression de design est de 16,9 barg, l'objectif de ce travail était de faire baisser cette pression et observer le changement sur la température du GPL et son reflux.

Notre étude s'était basée sur la pression en tête qu'on a diminué afin de se rapprocher de la valeur de design et voir le comportement de la colonne tout en gardant le taux de reflux ainsi que la spécification du GPL et du condensât, et la température de condensation aussi bien que la température du fond (avec la température du plateau sensible) constants.

L'étude était menée en deux étapes. La première consistait à optimiser et simuler les paramètres et les conditions de fonctionnement des colonnes de débutanisation, suivant le changement de la composition du gaz à traiter. Le but était de récupérer le maximum de GPL et du condensat et de réduire la consommation énergétique, toute en respectant les spécifications et les normes des produits (GPL et condensat).

La deuxième étape de notre travail consistait à étudier l'influence de la diminution de la pression à l'admission de la colonne de débutanisation sur les paramètres de fonctionnement et à optimiser ces paramètres avec le minimum de pression tolérée en situation dégradée.

Ce travail est organisé en cinq chapitres :

Dans le premier chapitre, on rapporte la présentation du champ GTFT et la description des procédés du traitement de gaz à ce champ.

Le second chapitre comporte des généralités sur le gaz naturel, le GPL et le condensat.

Le troisième chapitre est consacré à une brève théorie sur le procédé de rectification.

Le quatrième chapitre est dédié à la sécurité et l'environnement au sein de GTFT.

Finalement, le dernier chapitre est consacré à la simulation par le logiciel HYSYS de la colonne de débutanisation et à l'optimisation de ses paramètres de fonctionnement. Dans cette partie on essaiera de varier la pression en tête de cette colonne dans le sens décroissant afin de se rapprocher de la valeur de design et voir le comportement de la colonne tout en gardant le taux de reflux ainsi que la spécification du GPL et du condensât, la température de condensation aussi bien que

la température du fond (avec la température du plateau sensible) constants.

Les avantages apportés par l'étude ainsi que les recommandations et les compléments permettant l'installation effective de l'optimisation sont discutés dans une conclusion générale.

# *Chapitre I*

## *Présentation du champ GTF*

### I-1- Situation géographique [1] :

Le périmètre Tin Fouyé Tabankort (TFT) couvre plus de 1200 km<sup>2</sup> dans la région du Tinrhert dans le Sahara Algérien, dans la wilaya d'Ilizi. Il est situé le long de la route nationale N3, à environ 1350 km au sud-est d'Alger, 380 km au sud-est d'Hassi Messaoud, et environ 200 km à l'ouest d'In Aménas, dans la commune de Bordj Omar Driss elle-même située à une centaine de kilomètres à l'ouest du périmètre, Cette zone est déjà développée pour l'exploitation des hydrocarbures, avec notamment le gisement de gaz de TFT, un réservoir de gaz présent dans des formations de grès ordoviciens, en production depuis Avril 1999.

- Ses coordonnées sont 28,026°N et 7,033°E.
- Le champ de gaz de GTFT a une superficie de plus de 1200 km<sup>2</sup>.
- Le réservoir de GTFT présente les conditions initiales suivantes :
  - Profondeur : 1964 m.
  - Pression : 192 bars.
  - Température : 91°C.

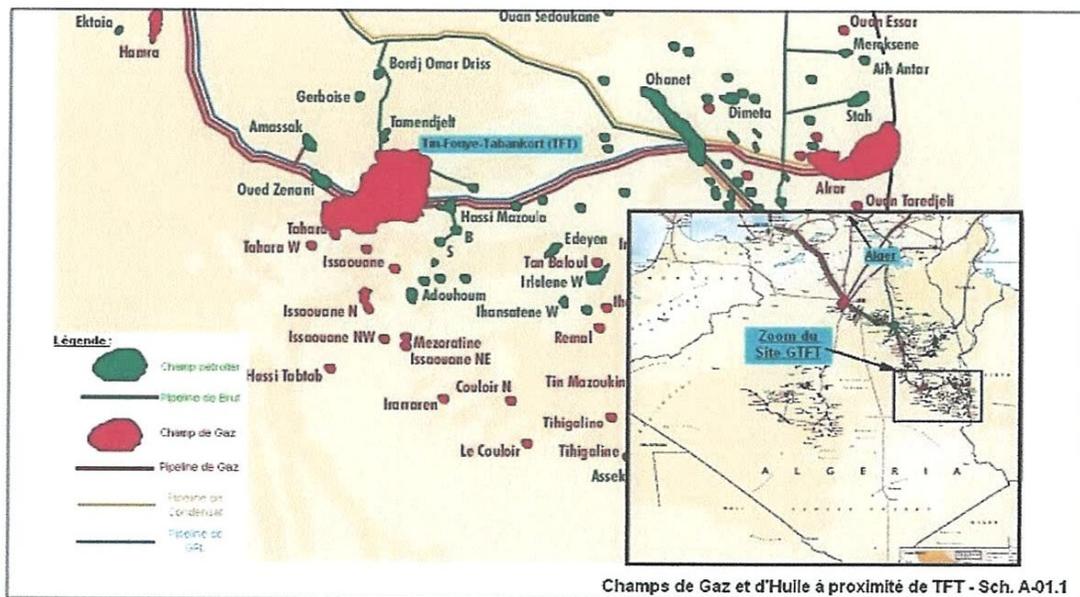
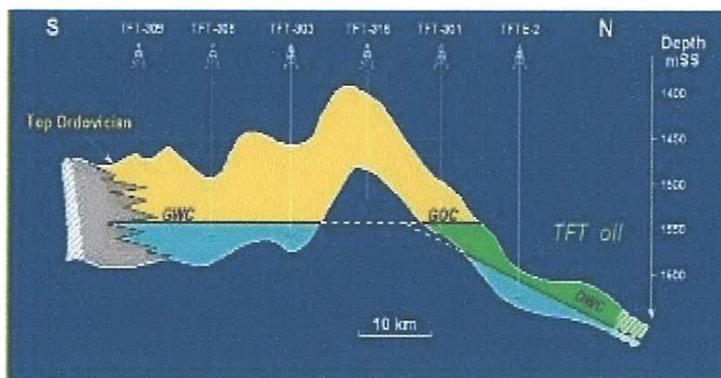


Figure I-1 : Situation géographique du GTFT.

**I-2-Réservoir et gisement [1] :**

Le gisement de Tin Fouye Tabankort fait partie d'un anticlinorium complexe d'extension régionale, comportant des structures alignées le long d'accidents majeurs. Le réservoir est recoupe par des failles d'orientation diverses qui délimitent des compartiments d'orientation subméridienne. Les rejets des accidents majeurs sont importants. Ces failles sont généralement sub-verticales, de type normal et parfois inverse, Les formations rencontrées vont du PRECAMBRIEN au CRETACE avec le réservoir ORDOVICIEN, très fissuré et très hétérogènes, dont la couverture est assuré par une couche argileuse.

Le gisement de gaz TFT est un gisement avec un gaz humide très riche en condensât.



**Figure I-2 : Coupe de réservoir**

Les prévisions cumulées jusqu'en 2020 (avec une pression à 50 bars à partir d'avril 2009) sont estimées à :

**Tableau I-1 : Prévisions de la production de GTFT**

Produits	Productions
<b>GPL</b>	<b>16,98 millions de tones</b>
<b>Gaz</b>	<b>119,98 Nm3</b>
<b>Condensat</b>	<b>15,59 millions de tones</b>

### **I -3- Historique de production [1] :**

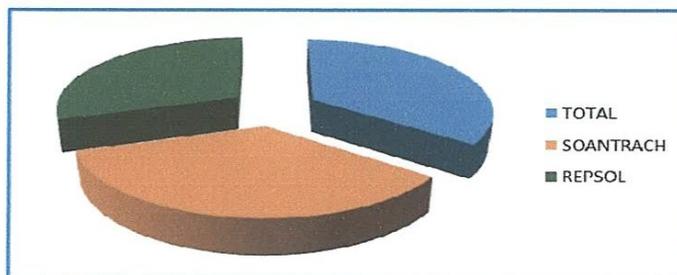
- ✚1966 : Découverte du champ de gaz du bassin Illizi au Sahara.
- ✚1996 : Signature du contrat de partage par SONATRACH (35%), TOTAL (35%) et REPSOL (30%).
- Engineering et construction assurés par KBR (Kellogg Brown & Root).
- ✚ 1999 : Mise en production du champ de gaz naturel de Tin Fouyé Tabankort (TFT).
- ✚ 2007 : Mise en place des travaux de boosting.
- ✚ 2009 : Démarrage du boosting.

La production a démarré au rythme de 5 millions de m<sup>3</sup> /j de gaz humide et a atteint le débit nominal de 20 millions de m<sup>3</sup>/j, soit environ 7 milliards de m<sup>3</sup> par an. Ce gaz humide est séparé en gaz sec, GPL et condensats dans l'usine d'extraction du champ, qui comprend deux trains de traitement identiques construits par Brown & Root avec la participation de plusieurs sociétés de service Algériennes. Les condensats et les GPL sont ensuite transportés séparément jusqu'à la côte au rythme de 2800 T/jour et 2600 T/jour, respectivement. Le gaz naturel sec est, quant à lui expédié dans le réseau de transport SONATRACH.

### **I-4- Présentation de l'association [1]:**

L'exploitation du gisement de gaz de TFT est effectuée par la société Groupement TFT (GTFT) de SONATRACH (35%), TOTAL (35%) et REPSOL (30%).

GTFT a été créée dans le cadre d'un contrat de partage de production (CPP) comme suit :



**Figure I-3 : Partage de la production (Type Association)**

- ✚ Section-7: Slug catcher
- ✚ Section-10 : Refroidissement et filtration du gaz brut
- ✚ Section-11 : Séchage du gaz par tamis moléculaire
- ✚ Section-12 : traitement des condensats
- ✚ Section-13: refroidissement par échangeurs à plaques, détente par turbo-expander ou par vanne Joule Thompson
- ✚ Section-14: dééthanisation
- ✚ Section-15: débutanisation
- ✚ Section-40 : Compression et exportation du gaz résiduel
- ✚ Section-41/42 : Stockage et expédition du GPL
- ✚ Section-43/44 : Stockage et expédition du condensat
- ✚ Section-52: Stockage et distribution de l'huile diathermique, récupérateurs de Chaleur et fours

### ***Puits, Manifold et arrivé gaz***

Les puits de gaz naturel sont dispersés sur le champ de GTFT sur une aire d'environ 40 Km d'Est en Ouest et 35 Km du Nord au Sud.

L'objectif des puits de production est d'extraire le gaz du champ de GTFT. Celui-ci est dirigé vers l'usine de traitement et de séparation de GTFT via des trunklines et des manifolds.

Les quatre-vingt-quatre (84) puits sont collectés dans divers manifolds et mini-manifolds qui alimenteront par la suite l'unité de production via les six Trunklines TL-1, TL-2, TL-3, TL-4, TL-6 et TL-7.

Les conduites d'alimentation sont reliées au collecteur de gaz brut qui constitue le point d'admission du gaz dans l'unité de process.

### **Section 7 : slug catcher XV0701**

C'est un séparateur tri-phasique (type à doigts) qui permet de récupérer le condensât pour assurer un débit stable du gaz, le débit du condensât est stabilisé par la vanne de contrôle de niveau du séparateur.

Le fluide (gaz, condensât et eau) en provenance du manifold d'alimentation à une pression de 64 barg environ et à une température de 50 °C entre dans ce

séparateur de condensât XV-0701. Ce séparateur est divisé en deux compartiments par des vannes de sectionnement, chaque compartiment alimentera un train de process. L'objet de ce séparateur est d'une part éliminer les bouchons de condensât qui sont formés dans les conduites d'alimentation, et d'autre part, séparer le gaz des liquides (Condensât et eau).

L'eau récupérée dans le séparateur XV-0701 est envoyée vers le ballon de dégazage de l'eau de process V4-1601.

Le gaz sortant du slug catcher est directement envoyé vers le boosting.

Le boosting a été mise en place pour compenser la chute de pression progressive au niveau des puits (de 64 barg en 2008 à 34 barg en 2013), il permet de comprimer le gaz brut saturé provenant du slug catcher à une pression de 80 barg avant de le diriger vers les deux trains de traitement identique de l'usine de GTFT.

Ce système est critique pour le procédé puisqu'il définit la pression d'entrée des trains de traitement du gaz brut saturé.

Le boosting est constitué de deux trains de compression A et B, identiques d'un point de vue procédé et fonctionnant en parallèle, chaque train est muni des équipements suivants :

- ✚ D'un scrubber à l'aspiration V0701A/B .il permet de séparer les liquides (eau et condensats) contenus dans le gaz.
- ✚ D'un turbo-compresseur C 0701A/B .il est entraîné par une turbine à gaz alimentée par du fuel gas.
- ✚ D'un aéroréfrigérant au refoulement AC 0701A/B.
- ✚ D'un scrubber au refoulement V 0703 A/B.sa fonction est d'éliminer les liquides formés pendant l'étape de refroidissement, les liquides séparés par les deux scrubbers de chaque train de compression sont dirigés vers les séparateurs primaires de condensats V 4 1204/ V4 2204.

#### **Section-10 : Refroidissement et filtration du gaz brut**

Le gaz brut sortant du boosting à une pression de 64 barg environ et une température de 50 °C est envoyé vers les échangeurs E2-1002 et E2-1003 respectivement.

La première partie du gaz brut passe à travers le côté tubes de l'échangeur de chaleur gaz brut / gaz résiduel E2-1002 pour être refroidi à une température de 23 °C. Cette température est maintenue par la TIC-1032 qui contrôle le courant froid de gaz résiduel du côté calandre de l'échangeur. La température de formation des hydrates est au voisinage de 23 °C d'où il est recommandé de ne pas régler la température du gaz de sortie à une valeur avoisinant la température de formation des hydrates.

La deuxième partie du gaz brut passe du côté tubes de l'échangeur de chaleur gaz brut / liquide où il est refroidi à une température de 29,5 °C par un liquide froid provenant des échangeurs à plaque E4-1301 et E4-1302.

Après le refroidissement du gaz brut via les deux échangeurs E2-1002 / E2-1003, il sera acheminé vers le séparateur d'alimentation triphasique de l'adsorbent V4-1004. L'eau récupérée dans l'appendice du séparateur est envoyée vers le ballon de dégazage de l'eau de process V4-1601.

Le condensât récupéré est envoyé vers le séparateur primaire de condensât V4-1205. Le gaz brut séparé passe à travers un demister situé en haut du séparateur V4-1004 afin d'empêcher l'entraînement des gouttelettes dans le gaz, puis à travers les filtres-séparateurs d'alimentation de l'adsorbent F2-1005 A/B pour éliminer toutes les fines gouttelettes.

Le liquide récupéré par les filtres est envoyé vers le séparateur primaire de condensât V4-1205. Le gaz ainsi filtré sera directement envoyé vers la section d'adsorption.

### **Section-11 : Séchage du gaz par tamis moléculaire**

Cette section est composée d'un système d'adsorption et d'un système de régénération. L'objet du système d'adsorption de gaz est d'éliminer l'eau présente dans le gaz de process afin d'empêcher la formation d'hydrates dans la section froide du process et d'éviter la contamination du produit par l'eau. La teneur maximale en eau dans le gaz est de 0,1 ppm. Le moyen utilisé pour l'adsorption est le tamis moléculaire. La régénération permet d'éliminer l'eau adsorbée par les tamis moléculaires durant la phase d'adsorption.

En fonctionnement normal les trois adsorbents sont utilisés, deux en service

d'adsorption et l'autre en régénération. Chaque adsorbent demeure en service pendant 8 heures et la durée du cycle de régénération est également 8 heures

Les trois adsorbents T2-1101 A/B/C sont chargés de tamis moléculaires du type UOP 4A- U194. Lorsque le gaz provenant des filtres F2-1005 A/B passe à travers l'adsorbent, le tamis adsorbe l'eau éventuellement présente dans le gaz. La logique de séquence du procédé d'adsorption est telle que deux adsorbents sont en service pendant que le troisième est en régénération. Des analyseurs d'humidité sont prévus à la sortie de chaque adsorbent et sur le collecteur de sortie en amont des dépoussiéreurs. Ces analyseurs détectent l'eau éventuellement entraînée de façon à signaler la saturation de l'adsorbent.

Les cycles d'adsorption et de régénération sont commandés selon une séquence préréglée.

En conditions normales, le temps d'exploitation d'un adsorbent est de 8 heures. En cas de perturbation du process ou de détection prématurée d'eau entraînée, la durée du cycle peut être réduite. Si la teneur en eau à la sortie process est à 5 ppm, l'adsorbent correspondant doit être mis hors service pour régénération.

La durée du cycle de régénération se divise en 3,5 heures de réchauffement, 2,5 heures de refroidissement et 2,0 heures d'attente. Le cycle d'attente de 2,0 heures est identique au cycle de refroidissement avec écoulement de gaz dans l'adsorbent. Cette période de battement permet de régler les problèmes éventuellement survenus durant la régénération.

### **Section-12 : Traitement des condensats**

Le traitement des condensats se fait en deux étapes :

✚ L'étape de filtration a pour objectif d'éliminer les impuretés contenues dans les condensats afin d'éviter tout encrassement ou bouchage en aval, le système de filtration et de séparation est composé d'un séparateur primaire V4-1204, de deux coalesseurs et d'un skid de filtration (BACKWASH) F4-1201.

✚ L'étape de stabilisation des condensats, réalisée dans la colonne de stabilisation T4- 1202, permet de séparer d'une part les fractions légères (phase vapeur) et d'autre part les C3 et fractions plus lourdes (phase liquide) contenus dans les flux diphasiques et peu stables de condensats. Elle est critique pour le procédé : les C3 et fractions plus

lourdes séparés alimentent le débutaniseur T6-1501.

Les hydrocarbures liquides évacués du slug catcher XV-0701 subiront un flashage à la pression de 35 kg/cm<sup>2</sup> et une température de l'ordre de 50°C au niveau du ballon de séparation de condensât V4-1204, le gaz récupéré alimente les compresseurs C2 4001A/B du gaz résiduel. L'eau est envoyée vers le ballon V4 1601 de dégazage de l'eau de process, les condensats d'entrée et les condensats produits (des ballons V0701A/B, V0703A/B, V4-1004) sont dirigés vers la colonne de stabilisation.

Cette colonne de stabilisation indiquée T4-1202 dispose de deux sources d'alimentations :

✚ Les condensats sont stabilisés dans la colonne T4 1202, où les fractions légères sont séparées des C3 et des fractions plus lourdes.

✚ Les condensats produits provenant du séparateur V4-1205 sont introduits au niveau du premier plateau de la colonne T4-1202. Les condensats d'entrée provenant du séparateur V4 1204 (après passage par le skid de filtration F4-1201, les coalesceurs F4-1206A/B et l'échangeur E2-1207) sont introduits au niveau du septième plateau de la colonne T4-1202.

Les fractions légères sont distillées en tête de colonne (phase vapeur), L'eau sort au niveau du septième plateau de la colonne T4-1202. Les C3 et les fractions plus lourdes sont évacués au fond de la colonne (phase liquide).

La colonne T4 1202 est équipée du rebouilleur E2-1203 alimenté par les liquides sortant de la colonne T4 1202 en dessous du 19<sup>ème</sup> plateau. Ces liquides sont chauffés à 158°C et renvoyés en dessous du 19<sup>ème</sup> plateau de la colonne T4-1202 dans laquelle ils assurent l'échange entre le gaz et le liquide nécessaire à la séparation des composés.

### ***Section-13: Refroidissement par échangeurs à plaques, détente par turbo-expander ou par vanne Joule Thompson***

Cette section permet de séparer le gaz résiduel par condensation des fractions lourdes (C2 et plus) à travers en premier lieu les échangeurs à plaque E4-1301 et E4-1302 et en second lieu le turbo-expander C8-1304 ou la vanne Joule Thompson PV-

1238A dans le cas de by-pass du turbo-expander.

### 1- Refroidissement par échangeurs à plaques

Les échangeurs à plaques à ailettes E4-1301 et E4-1302 sont conçus pour assurer une efficacité maximale de l'échange thermique entre le gaz chaud sec qui passe sur les plaques à ailettes du côté calandre et les courants de liquide et de gaz froids qui passent dans les plaques à ailettes du côté tubes.

Le gaz sec provenant de la section-11 (Séchage du gaz par tamis moléculaire) à une température de 23 °C et 65 barg environ alimente les échangeurs à plaques à ailettes en aluminium E4-1301 et E4-1302 pour être refroidi à une température de -38 °C. Le gaz ainsi refroidi alimente le séparateur d'entrée de l'expander V3-1303. Le liquide récupéré au fond de ce séparateur (sera utilisé comme fluide caloporteur des échangeurs E4-1302 côté tube et E2-1003 (coté calandre) de la section 10 (Refroidissement et filtration du gaz brut). Le gaz sortant du dééthaniseur sera utilisé comme fluide caloporteur des échangeurs E4-1301 (coté tube) et E2-1002 coté calandre de la section 10 (Refroidissement et filtration du gaz brut).

Le gaz sortant en tête du séparateur V3-1303 à une pression de 61 bars. Environ alimente le turbo-expander C8-1304.

### 2- Détente par Turbo-expander

Le turbo-expander est appelé aussi turbo-détendeur, c'est une turbine à écoulement axial ou centrifuge à travers laquelle un gaz à haute température est détendu pour produire un travail qui est souvent utilisée pour entraîner un compresseur.

L'énergie libérée par la détente du gaz à travers l'expander C8-1304 est utilisée pour entraîner le compresseur qui augmente la pression du gaz afin de permettre son insertion dans la section 40 (Compression et Exportation du Gaz).

Le gaz sortant en tête du séparateur V3-1303 à une pression de 61 bars. Environ sera détendu par le turbo-expander C8-1304 à 20 bars. Puis alimente le dééthaniseur T6-1401 à une température de - 62 °C environ. Le gaz froid sortant du dééthaniseur à une température de - 54 °C traverse l'échangeur E4-1301 coté tube pour refroidir le gaz provenant des filtres F2-1102A/B, ensuite il est envoyé vers l'échangeur E2-1002 coté calandre de la section 10 (Refroidissement et filtration du

gaz brut) pour refroidir le fluide en provenance du slug catcher. Après ces refroidissements, le gaz alimente le compresseur C8-1304 à une pression de 18 bars. Et une température de 44 °C environ pour être comprimé à une pression de 27 bars.

Le gaz comprimé sortant à une température de 78 °C sera refroidi via un aéroréfrigérant AC-1305 à une température de 60 °C puis alimente la section 40 (Compression et Exportation du Gaz)

### 3- Détente à travers la vanne Joule Thompson PV-1338 A

Une vanne Joule Thompson PV-1338A est prévue pour by-passer le turbo-expander C8-1304 pour son entretien ou en cas de démarrage de l'unité. Le gaz sera détendu à travers cette vanne à une pression de 29 bars. Puis alimentera le dééthaniseur T6-1401. Ce dééthaniseur reçoit donc le gaz soit à partir du turbo-expander C8-1304, soit à partir de la vanne Joule Thompson PV-1338A.

#### Section 14 : Dééthanisation

Le dééthaniseur indicé T6-1401(T6-1402) est une colonne ayant deux types d'internes permettant d'assurer une distillation optimale : la partie supérieure (diamètre : 3000 mm, hauteur : 1500 mm) est munie d'un garnissage constitué d'anneaux PALL et d'un demister alors que la partie inférieure (diamètre : 2200 mm, hauteur : 31 300 mm) comprend 35 plateaux à clapets.

Pour assurer un fractionnement maximal de l'éthane et plus légers, un rebouilleur E2- 1402 récupère les liquides au niveau du 35<sup>ème</sup> plateau de la colonne, ces liquides sont chauffés par circulation coté calandre et renvoyés dans le dééthaniseur. Le réchauffage est effectué par la circulation d'huile chaude coté tubes.

Le dééthaniseur T6 1401 est alimenté par :

- ✚ Le gaz détendu par la partie expander du C8 1304 ou par la vanne Joule Thomson PV 1338A. Il est injecté au-dessus du premier plateau,
- ✚ Les hydrocarbures liquides récupérés au fond du séparateur V3 1303 après leur passage successif par les échangeurs E4 1302 et E2 1003 dans lesquels ils refroidissent le gaz. Ils sont injectés au niveau du 17<sup>ème</sup> plateau.

Le gaz, distillé sortants en tête de colonne à une température de l'ordre de -48°C et 19 barg, est réchauffé dans les échangeurs E4 1301 et E2 1002 puis traité

comme gaz résiduel.

Les liquides sont évacués au fond de la colonne à une température de 85 °C vers l'échangeur E2-1507, pour alimenter la colonne de débutaniseur T6-1401.

### Section 15 : Débutanisation

La débutanisation est réalisée dans la colonne T6-1501, c'est la dernière étape de production du GPL. Elle consiste en la séparation d'une part des C5 et fractions plus lourdes et d'autre part, des C4 et fractions plus légères (GPL).

Cette étape est critique pour le procédé de production du GPL puisqu'elle détermine :

- ✚ La qualité du GPL et donc son envoi vers la sphère V6 4101 de stockage du GPL on-spec ou vers les sphères V6 4102A/B de stockage du GPL off-spec,
- ✚ La qualité des condensats et donc leurs envois vers les bacs S2-4301A/B de stockage des condensats on-spec ou vers le bac S2-4302 de stockage des condensats off-spec.

Le débutaniseur T6 1501, muni de 32 plateaux et d'un système anti-vortex à la sortie des liquides, il dispose de deux alimentations principales :

- ✚ Les liquides réchauffés dans l'échangeur E2-1507 arrivent au niveau du 13<sup>ème</sup> plateau.
- ✚ Les condensats issus du fond de la colonne T4-1202 de stabilisation des condensats arrivent au niveau du 18<sup>ème</sup> plateau, ce flux est introduit dans la colonne en dessous de l'alimentation précédente car il est plus chaud et plus lourd.

Le débutaniseur permet la séparation en GPL et condensats .il opère à pression constante de l'ordre de 17,2 bar, les vapeurs fractionnées dans la zone de rectification montent en tête de la colonne à température de l'ordre de 67°C, Puis une condensation totale de ces vapeurs est réalisée dans une batterie d'aéroréfrigérant AC-1503 jusqu'à atteindre une température de l'ordre de 60°C cette condensation totale permet de récupérer tout le GPL dans le ballon de reflux V4-1504 remplie à 100%.

Le GPL aspiré par la suite avec la pompe P1-1505A/B est refoulé en deux flux, dont une partie sera utilisé comme liquide de reflux vers la tête de colonne afin

de maintenir la température de tête, Ce qui a pour effet un maintien du bon fractionnement .L'autre partie est refoulée sous contrôle d'une vanne de régulation de pression qui contrôle le niveau du liquide dans le ballon puis vers section de stockage et de transfert, Autrement dit vers la sphèreV6-4101, Quand le GPL est bien traite et correspond aux normes exigés ,si le GPL ne répond pas aux normes (off spec), Il est refoule vers Une sphère de stockage V6-4102,Ou il subira un retraitement selon un programme bien établi.

L'hydrocarbure liquide recueilli au fond de la colonne dont une partie de celui-ci est utilisé comme fluide de rebouillage dans un échangeur E2-1502 ceci permet d'évaporer le GPL dissous et de maintenir une température de fond de l'ordre de 196 °C.

L'autre partie du liquide du fond est du condensat stabilisé à haute température de l'ordre de 196 °C .Ces calories seront cédées au niveau des échangeurs E2-1505 et E2-1507 côté tube et sort à la température de l'ordre de 85°C, Son passage à travers une batterie d'aéroréfrigérant AC-1506 permet d'obtenir une température de condensat de production de l'ordre de 40°C .A cette température le condensat est évacue vers des bacs de stockage S2-4302A/B, Puis vers transfert.

Lorsque le produit ne répond pas à la spécification de commercialisation (off spec),IL passe dans le bac de stockage à toit fixe S2-4302.

#### ***Section-40 : Compression et exportation du gaz résiduel***

Le principe du traitement du gaz dans l'unité est la détente, refroidissement et fractionnement pour atteindre les bonnes qualités des produits souhaités. Parmi ces produits, le gaz résiduel sec doit être comprimé par des compresseurs à une pression élevée pour permettre son insertion dans le pipeline du gaz résiduel.

Les compresseurs de gaz résiduel C2-4001 A/B sont de type centrifuge à un étage entraînés par des turbines à gaz fabriquées par John Brown. En conditions normales, un compresseur est en fonctionnement pour chaque train. La disposition de la tuyauterie est conçue d'une manière à ce que les deux trains peuvent utiliser les deux compresseurs. Les gaz d'échappement des turbines sont utilisés dans les réchauffeurs du fluide caloporteur qui fournit la chaleur nécessaire à certaines étapes du process

Le gaz provenant de la section-13 (Refroidissement par échangeurs à plaques, détente par turbo-expander ou par la vanne Joule Thompson) alimente le séparateur V1-4003A/B à une pression de 26 bars et une température de 55 °C environ afin d'éliminer les gouttelettes moyennant le demister situé en tête du ballon. Le gaz sec sortant en tête de ce ballon est comprimé par les compresseurs C2-4001 A/B à une pression de 78 bars . Environ, la température à la sortie atteint 163 °C environ. Ce gaz comprimé sera refroidi par un aéroréfrigérant AC-4002A/B à une température de 60 °C afin de l'envoyer vers le pipeline du gaz résiduel ou le re-circulé vers l'entrée de l'usine pour retraitement.

#### **Section-41/42 : Stockage et expédition du GPL**

Les trains de process étant conçus pour assurer un fonctionnement continu, les installations de stockage sont prévues pour accumuler le produit pour expédition. La capacité de stockage du produit permet également de poursuivre l'expédition en cas d'arrêt des trains de process.

Trois sphères d'une capacité de 500 m<sup>3</sup> chacune sont prévues pour stocker le GPL produit sous pression, de manière à empêcher la vaporisation. L'une est réservée pour le stockage du GPL conforme aux spécifications V6-4101 et les deux autres V6-4102 A/B pour le stockage du GPL non conforme aux spécifications. Ces sphères sont équipées des pompes montées en série P1-4103 A/B/C et P1-4201 A/B/C pour assurer l'expédition du GPL produit vers le pipeline de GPL. Deux autres pompes P1-4104 A/B sont également prévues pour le recyclage du GPL hors spécification vers l'alimentation du dééthaniseur T6-1401.

#### **Section-43/44 : Stockage et expédition du condensât**

Les installations de stockage de condensât permettent la production et l'expédition continues du condensât avec peu d'interruption si les trains de process ou la canalisation sont temporairement arrêtés. Il est également possible d'accumuler les condensâts hors spécifications pendant les perturbations du process pour expédition ultérieure.

Les installations de stockage et d'expédition de condensât sont composées de deux réservoirs de stockage à toit flottant pour le condensât conforme aux spécifications S2-4301 A/B d'une capacité de 6000 m<sup>3</sup> fonctionnant à la pression atmosphérique. Ce condensât est ensuite expédié vers le pipeline d'expédition de

condensât via les pompes de transfert de condensât P1-4401 A/B/C.

Le condensât hors spécifications est acheminé à partir des trains de process vers un ballon de dégazage T8-4305 pour éliminer les contaminants légers. Le condensât récupéré au fond de ce ballon est envoyé vers le réservoir de stockage de condensât hors spécification à toit fixe S2-4302 d'une capacité de 2000 m<sup>3</sup>.

Du gaz combustible (Fuel gaz) basse pression est utilisée pour maintenir une pression légèrement positive dans ce réservoir. Un ballon de drainage de condensât V4-4306 est également prévu pour recevoir les liquides de drainage des équipements avant l'entretien. Le condensât hors spécifications peut être envoyé vers le pipeline d'expédition moyennant les pompes d'expédition.

### ***Section 52 : stockage et distributions de l'huile diathermique, récupérateurs de chaleur et four***

L'huile chaude est utilisée dans les échangeurs comme fluide caloporteur pour réchauffer les fluides du procédé ou dans les rebouilleurs pour permettre la distillation.

Elle circule en boucle fermée dans le réseau via les trois pompes de circulation P1 5204A/B/C, deux possibilités de chauffage de l'huile sont prévues:

- ✚ En marche normale, dans les réchauffeurs H4 5201A/B, qui récupèrent la chaleur libérée par le gaz d'échappement des deux turbines de la compression du gaz résiduel.
- ✚ Au démarrage, lorsque les turbines de la compression du gaz résiduel ne sont pas encore en service, dans le four à gaz H2 5202.

Le réservoir de stockage d'huile S2 5206 réalise l'appoint en l'huile de façon occasionnelle, d'une capacité de 260 m<sup>3</sup>, il opère à température ambiante et pression atmosphérique. Le maintien de la pression dans le réservoir est assuré par une injection d'azote et par une évacuation du gaz en excès vers l'atmosphère. La pompe de transfert, à vis, P5 5207 aspire l'huile contenue dans le réservoir S2 5206 pour alimenter le ballon d'expansion V4 5203 à un débit de 37 m<sup>3</sup> /h.

Les réchauffeurs H4 5201A/B, équipés de 9 passes, permettent de réchauffer l'huile provenant des pompes de circulation P1 5204A/B/C de 220°C à 288°C. Ils récupèrent la chaleur du gaz d'échappement des turbines des compresseurs de gaz

résiduel C2 4001A/B, déjà brûlé, qui est lui refroidi de 537°C à 287°C puis évacué à l'atmosphère.

L'huile réchauffée par le gaz d'échappement est dirigée aux équipements suivant :

- + Rebouilleurs E2 1203 / E2 2203 des colonnes de stabilisation des condensats T4 1202 et T4 2202.
- + Rebouilleurs E2 1402 / E2 2402 des dééthaniseurs T6 1401 / T6 2401.
- + Rebouilleurs E2 1502 / E2 2502 des débutaniseurs T6 1501 / T6 2501.
- + Echangeurs E2 1104 / E2 2104 en aval des compresseurs (C2 1103A/B / C2 2103A/B) du gaz de régénération des tamis moléculaires (étape de séchage).

## *Chapitre II*

### *Généralités*

## **II-1-Introduction :**

Issu de la transformation de matières organiques, le gaz naturel provient des ressources souterraines de la terre. Le gaz naturel a été considéré comme un sous-produit du pétrole; il était brûlé à la torche sur de nombreux gisements. Il a commencé à être utilisé aux Etats- Unis, dans l'industrie d'abord, puis pour des usages domestiques en se substituant peu à peu au gaz manufacturé.

Son développement a ensuite été très rapide, grâce à l'abondance de ses réserves, à leur répartition sensiblement plus équilibrée que celle des réserves pétrolières et à son excellente qualité pour le consommateur final.

Le gaz naturel est défini comme gaz obtenu à partir d'un réservoir naturel souterrain. Il contient généralement une quantité importante de méthane avec des hydrocarbures plus lourds tels que l'éthane, le propane, l'isobutane, le butane normal, etc. En outre, dans l'état brut, il contient souvent une quantité considérable de non-hydrocarbures, tels que l'azote, l'hydrogène et dioxyde de carbone. Il ya quelques traces de composés tels que l'hélium, le sulfure de carbone et divers mercaptans. Il est aussi généralement saturé d'eau.

## **II-2-Gaz naturel dans le monde [2] :**

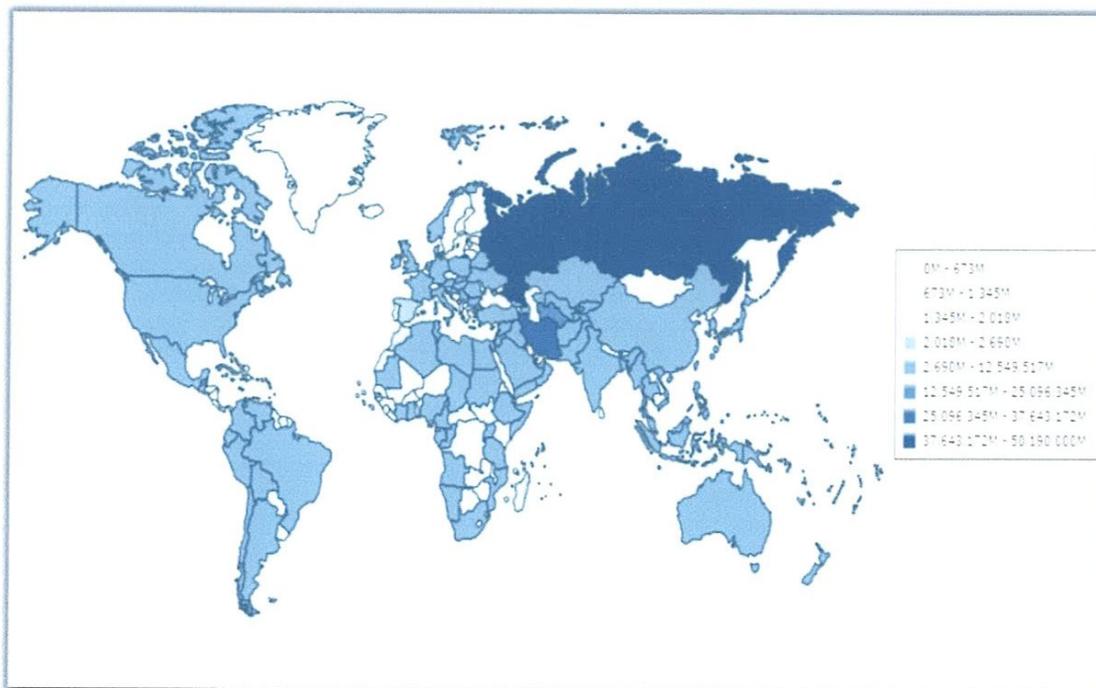
### **II-2-1- Répartition géographique des ressources gazières dans le monde :**

Les réserves de gaz naturel sont inégalement réparties dans le monde, près de 2/3 des réserves mondiales sont situés en Russie et au Moyen-Orient. L'Iran, le Qatar et la Russie détiennent à eux trois, plus de 50 % des réserves mondiales prouvées de gaz conventionnel. Le tableau suivant représente la répartition des réserves gazières des dix premiers pays.

**Tableau II-1 : Réserves prouvées du gaz naturel par pays**

Rang	Pays	Resource 2013 en m <sup>3</sup>
1	Russie	47,799,999,660,032
2	Iran	33,610,000,236,544
3	Qatar	25,199,999,188,992
4	Turkménistan	17,500,000,485,376
5	États-Unis	9,458,999,623,680
6	Arabie Saoudite	8,149,999,812,608
7	Émirats arabes unis	6,089,000,091,648
8	Venezuela	5,524,000,079,872
9	Nigeria	5,153,000,259,584
10	Algérie	4,503,999,873,024

La carte suivante représente la répartition mondiale du gaz par pays en m<sup>3</sup>

**Figure II-1 : Répartition des réserves mondiales en gaz naturel par pays (en 2014)**

### II-2-2- Production mondiale du gaz naturel :

La production mondiale du gaz naturel est estimée en 2013 à 2 289,28 Gm<sup>3</sup> en décroissance de 2,1% par rapport à l'année précédente.

Le tableau suivant présente les dix premiers pays producteurs du gaz naturel dans le monde.

**Tableau II-2:** Production de gaz naturel par pays.

Rang	Pays	Production 2013 en m <sup>3</sup>
1	Etats-Unis	681,400,008,704
2	Russie	669,699,997,696
3	Iran	162,599,993,344
4	Canada	143,100,002,304
5	Qatar	133,200,003,072
6	Chine	117,100,003,328
7	Norvège	114,700,001,280
8	Arabie Saoudite	103,199,997,952
9	Algérie	82,759,999,488
10	Pays-Bas	81,520,001,024

### II-2-3-consommation mondiale du gaz naturel :

La consommation de gaz naturel est influencée par plusieurs facteurs :

- ✚ Le niveau de développement économique (Amérique du Nord, Europe de l'Ouest et Japon sont de gros consommateurs de gaz naturel).
- ✚ La présence d'une production importante de gaz naturel sur le sol national (la Russie, le Canada, le Turkménistan, l'Iran et l'Arabie Saoudite sont de gros consommateurs de gaz naturel).
- ✚ Le climat : les pays situés près des pôles (en particulier la Russie et le Canada) ont des besoins importants en chauffage au gaz.
- ✚ La présence de politiques publiques spécifiques : par exemple, le Turkménistan propose à ses clients domestiques une fourniture gratuite du gaz naturel, expliquant l'importance de la consommation dans ce pays.

**Tableau II-3 : Les dix plus grands pays consommateurs de gaz naturel en 2013**

Rang	Pays	Consommation 2013 en m <sup>3</sup>
1	États-Unis	689,900,027,904
2	Russie	457,200,009,216
3	Chine	149,999,992,832
4	Iran	144,600,006,656
5	Japon	112,599,998,464
6	Arabie saoudite	99,229,999,104
7	Canada	82,479,996,928
8	Allemagne	75,200,004,096
9	Italie	68,700,000,256
10	Inde	64,490,000,384

### **II-3-Propriétés du gaz naturel [3] :**

#### **✚ Plus léger que l'air :**

Contrairement au gaz propane, le gaz naturel est plus léger que l'air. À l'air libre, il s'élève et se dissipe rapidement.

#### **✚ Incolore, Inodore :**

Le gaz naturel est incolore, inodore et sans goût, mais on y ajoute un odorant pour des raisons de sécurité. C'est le mercaptan qui lui donne une forte odeur d'œuf pourri. Cette odeur permet de détecter rapidement la présence de gaz naturel.

#### **✚ Ne s'enflamme pas facilement :**

Il faut que le gaz naturel atteigne une concentration précise de 5 % à 15 % et qu'une source d'ignition soit présente pour qu'il puisse s'enflammer. Hors de cette plage d'inflammabilité, le gaz naturel ne s'enflammera pas.

#### **✚ Non toxique, Non corrosif :**

Le gaz naturel est un gaz stable qui n'est ni toxique, ni corrosif. S'il se trouve en contact avec de l'eau, il ne se mélange pas et ne la contamine pas. Il fait des bulles, remonte à la surface et se dissipe rapidement dans les airs. Avec de telles propriétés et en respectant les règles de base, le gaz naturel est une énergie très sécuritaire.

pour son transport et/ou pour le rendre compatible avec des spécifications de qualité commerciales (contractuelles) et réglementaires.

Soit : à fractionner le gaz brut saturé par une séparation triphasique qui permet de dissocier le gaz (composé le plus léger) des liquides, c'est-à-dire du condensat et de l'eau (composés les plus lourds). Suivi par un refroidissement (traitement cryogénique) ou Le gaz est fractionné en GPL et gaz sec.

Suivant le mode de refroidissement, le traitement du gaz naturel se compose de trois types de procédés :

✚ **Procédé Pritchard :** Basé sur le refroidissement du gaz par échanges thermiques et par détente simple isenthalpique (vanne joule Thompson), avec l'utilisation du propane comme fluide réfrigérant permet d'atteindre des températures en fin de cycle voisines de  $-23^{\circ}\text{C}$ .

✚ **Procédé Hutson :** Basé sur le refroidissement du gaz par échanges thermiques et complétée par une détente isentropique à travers une machine dynamique appelée "turbo-expander" permet d'atteindre un niveau de température relativement plus bas  $-55^{\circ}\text{C}$ . Ce procédé permet une meilleure récupération des hydrocarbures liquides.

✚ **Procédés mixtes :** Ces procédés sont les plus performants car ils utilisent le turbo-expander, la vanne joule Thompson et la boucle de propane, où on atteint les  $-66^{\circ}\text{C}$ . Ils permettent une meilleure récupération des hydrocarbures liquides.

## II-6-LE GPL [5]:

### II-6-1-Définition du GPL :

Le GPL (gaz de pétrole liquéfié) est un mélange gazeux constitué essentiellement de propane, et de butane, et un peu de traces de méthane, de l'éthane et de pentane.

Le gaz de pétrole liquéfié est un produit gazeux à la température ambiante et la pression atmosphérique.

Il est liquéfié à faible pression (4 à 5 bar) et une température très basse pour faciliter son transport, son stockage et sa commercialisation, il se gazéifie au moment de son utilisation.

## II-6-2-Les sources de GPL :

Les Gaz de Pétrole Liquéfiés proviennent :

- ✚ Des champs de gaz naturel, pour plus de 60 % :

Les champs de gaz naturel sont composés à 90 % de méthane ( $\text{CH}_4$ ). Les 10 % restants se répartissent entre 5 % de propane ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) et 5 % d'autres gaz dont le butane ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Le pétrole brut contient aussi, en sortie de puits, des fractions souvent importantes de gaz associés dissouts, parmi lesquels des GPL. Les pourcentages de GPL contenus dans le brut et le gaz naturel sont extrêmement variables d'un gisement à un autre.

Le gaz naturel, dont la production a très fortement augmenté depuis plus d'une décennie, est devenu la première source de fourniture de GPL avec plus de 60 % des volumes produits dans le monde.

- ✚ Des raffineries de pétrole, pour moins de 40 %

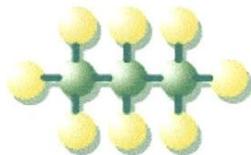
Lors du raffinage du pétrole brut, les GPL sont séparés en partie supérieure des colonnes de distillation, au cours des opérations « primaires ». Des volumes supplémentaires sont également récupérés au cours d'opérations de traitements « secondaires ».

Les GPL représentent entre 2 et 3 % de l'ensemble des produits obtenus. Selon sa provenance, une tonne de pétrole brut traitée donne 20 à 30 kg de GPL.

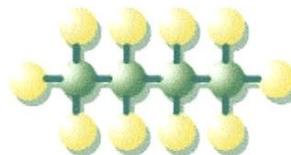
## II-6-3-Composition et caractéristiques du GPL :

### II-6-3-1-Composition du GPL

Les GPL sont des hydrocarbures saturés dont les molécules sont composées d'atomes d'hydrogène et de carbone



PROPANE  $\text{C}_3 \text{H}_8$



BUTANE  $\text{C}_4 \text{H}_{10}$

Les gaz de pétrole liquéfiés sont des hydrocarbures composés majoritairement de coupes en C3 et C4, le butane et le propane étant les principaux composants. Ces produits, gazeux dans les conditions normales de température et de pression, peuvent être facilement liquéfiés, rendant aussi leur manipulation et leur transport très aisés.

La composition molaire du gaz du pétrole liquéfié est variable selon leur source

**Tableau II-4 :** Composition molaire du GPL

Les composants du GPL	% molaire
<b>Méthane</b>	<b>0,32</b>
<b>Ethane</b>	<b>1,12</b>
<b>Propane</b>	<b>60,95</b>
<b>Iso butane</b>	<b>15,46</b>
<b>Normal butane</b>	<b>22,14</b>
<b>Iso pentane</b>	<b>0,01</b>

**II-6-3-2- Caractéristiques principales du GPL [6]:**

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) est composé principalement de butane et de propane, leurs caractéristiques principales sont illustrées comme suit :

**Tableau II-5 : caractéristiques principales du propane et butane**

	Butane	Propane
<b>Pression de vapeur à 50 °C (absolue)</b>	≤7,5 bar	Max 19,3 bar
<b>Teneur en soufre</b>	-	≤0,005% en masse
<b>Teneur en eau</b>	Absence d'eau séparable par	Non décelable par l'essai au bromure de cobalt
<b>Température d'ébullition</b>	0°C	-44 °C
<b>Odeur</b>	caractéristiques	Caractéristiques
<b>Limite inférieure d'inflammabilité dans l'air</b>	1,8 %	2,4 %
<b>Limite supérieure d'inflammabilité</b>	8,8 %	9,3 %
<b>Pouvoir calorifique à 15°C et 1013 mbar</b>	PCI : 12,66 KWh/Kg PCS : 13,7 KWh/Kg	PCI : 12,78 KWh/Kg PCS : 13,80 KWh/Kg
<b>La masse volumique (kg/m<sup>3</sup>) à 15 °C</b>	Liquide : 585 Gaz : 2,5	Liquide : 515 Gaz : 1,85

**II-6-3-2-1-Toxicité du GPL :**

Le GPL n'est pas toxique mais il possède des propriétés anesthésiques. Dans les puits et autres endroits clos ou le gaz plus lourd que l'air peut s'accumuler, l'air peut

être déplacé provoquant ainsi un manque d'oxygène, pour toute respiration normale.

#### **II-6-3-2-2-Gelures provoqués par le GPL :**

On devra prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter que le GPL n'entre en contact avec la peau étant donné qu'il peut provoquer de sévères gelures s'il y a risque de contact on devra faire usage de lunette, de gants ou toute autre revêtement de protection.

#### **II-6-4 - Utilisation du GPL [7]:**

Les gaz butane et propane, les GPL, sont une énergie exceptionnelle en raison de leurs origines, de leurs caractéristiques, de leurs applications et de leur filière. En tant qu'énergie moins polluante, faiblement émettrice de CO<sub>2</sub>, performante et novatrice, les GPL offrent de nombreux avantages pour les consommateurs et les secteurs professionnels comme pour l'environnement. Avec une disponibilité immédiate et en tous points du globe, des atouts environnementaux, leur origine double (gaz – pétrole), leur facilité de transport et leur variété d'usages, les GPL permettent d'assurer et de contribuer, sans délai, à un modèle énergétique durable, compétitif et plus sûr.

La combustion des GPL est propre, ils sont accessibles et indispensables à des centaines de millions de personnes dans le monde aujourd'hui. C'est une énergie multi usages bénéficiant de milliers d'applications. Elle est facilement transportable, stockable et utilisable quasiment partout dans le monde et ses ressources sont assurées pendant plusieurs décennies. A usage équivalent, les GPL produisent moins de gaz à effet de serre que l'essence, le gazoil et l'électricité d'origine thermique.

##### **II-6-4-1- Le GPL carburant [8]:**

Le GPL/C est largement prouvé, ses qualités à être un carburant alternatif avantageux tant au plan économique qu'au plan écologique.

Actuellement de nombreux pays possédant une flotte de véhicules roulant au GPL/C, ce sont principalement : Les Pays-Bas, le Japon, l'Italie, l'Allemagne, la Grande-Bretagne, la France, les USA, l'Espagne, la CIE, le Canada.

Le GPL / C est adopté sous le nom commercial « SIRGHAZ ».

Le niveau alarmant de pollution devrait au contraire favoriser l'utilisation des

véhicules GPL/C, car il produit moins de CO<sub>2</sub> et de CO, il ne contient pas de Plomb. Près de 160 000 véhicules, seulement, roulent au GPL/C, soit 7% seulement du parc national de véhicules de tourisme, selon des estimations de Naftal. Ce carburant a représenté un taux de substitution aux essences de 14,3% en 2008. Un indice qui reste loin des objectifs escomptés. Avec 4,3 millions de tonnes pour 2,2 millions de véhicules convertis, la Corée du Sud est le plus vaste marché GPL/C dans le monde. Les taxis et les bus publics sont les principaux utilisateurs de ce carburant. 13% des véhicules coréens roulent au gaz dont le prix à la pompe est 50% moins cher que l'essence.

#### **II-6-4-2 - Le GPL dans la pétrochimie :**

La demande pétrochimique globale du GPL enregistre un taux de croissance de l'ordre de 10 %. Il est utilisé dans ce domaine comme charge de vapocraqueur afin d'obtenir des oléfines.

Le butane et le propane obtenus par la séparation du GPL sont utilisés pour la déshydrogénation dans la production de butadiène et de propylène qui vont servir comme matière première pour la synthèse des caoutchoucs.

Le butane utilisé dans la fabrication du MTBE qui sert comme booster de nombre d'octane des essences en substitution au plomb, il est aussi utilisé comme charge des unités d'alcoolisation. Le propane et le butane sont utilisés pour la production d'acétaldéhyde, formaldéhyde, l'acide acétique et l'acétone.

#### **II-6-4-3- Le GPL dans la production d'électricité :**

Il est utilisé pour la génération d'électricité, il pourrait être important si les conditions de nature économique venaient à être favorables, les marchés ciblés à cet effet sont attractifs pour le GPL.

La production d'électricité en Algérie est effectuée uniquement par le gaz naturel, les GPL ne sont pas introduits jusqu'ici dans la génération d'électricité ou dans la combustion.

#### **II-6-4-4-Le GPL dans les ménages :**

Le butane et le propane qui sont obtenus par la séparation du GPL ont une

grande importance dans les ménages. Le butane est utilisé principalement dans le secteur domestique pour la cuisine et le chauffage, la consommation nationale représente l'équivalent de **11 millions** de bouteilles de **13kg** par ans.

Le propane représente **4,8%** de la consommation nationale du GPL, il est utilisé comme combustible dans les unités industrielles et artisanales en substitution domestique dans les régions non reliées au gaz naturel.

#### **II-6-4-5-Le GPL dans la climatisation :**

Il est utilisé pour la construction des réfrigérateurs et des climatiseurs (moyenne capacité). Le GPL absorbe la chaleur de l'environnement pour s'évaporer et créer un froid.

#### **II-6-4-6-Le GPL dans l'agriculture :**

L'utilisation du GPL dans ce secteur sera orientée vers l'aviculture, et certaines cultures sous-serre, le niveau de consommation prévu est relativement faible (**40.000 tonnes/an**) pour le court terme, il est attendu une évolution plus significative à moyen et long terme particulièrement par l'introduction dans le domaine de l'élevage (éclairage, climatisation, chauffage, etc.).

### **II-7-Le condensat :**

#### **II-7-1-Définition [9]:**

Un condensat de gaz naturels est un mélange **liquide d'hydrocarbures** légers obtenus par condensation de certains **gaz naturels** bruts.

Les condensats sont constitués de molécules qui existent à l'état gazeux dans un gisement de gaz naturel mais qui se condensent par détente et refroidissement lors de la production de ce gaz naturel, on récupère ainsi des quantités importantes de propane et de butane (GPL) mais également de produits constitués de molécules comportant de 5 à 10 ou 15 atomes de carbone, les condensats proprement dits : on distingue les condensats légers (C5 à C10 environ) et les condensats lourds (C11 à C15 environ).

### II-7-2- Caractéristiques du condensat [10]:

Les principales caractéristiques du condensat sont :

- ✚ La TVR : La tension de vapeur de Reid est la caractéristique principale du condensat, elle doit être inférieure à 0,69 bar (10 psi-a) à 37,8°C, dans le bain thermostatique, en Hiver et inférieure à 0,5 bar (7 psi-a) à 37,8 °C en été
- ✚ Aspect : C'est un liquide incolore, avec une odeur d'essence
- ✚ Poids spécifique : Le poids spécifique du condensat est compris entre 0,7 à 0,8 N/m<sup>3</sup>
- ✚ Point d'éclair : Son point d'éclair est inférieur à -40 °C
- ✚ Limites d'inflammabilité : Il est très inflammable, car il a un point d'éclair inférieur à zéro, ses limites d'inflammabilité sont approximativement : 1,4 et 7,6 % (dans l'air)
- ✚ Explosivité et inflammabilité : Le condensât est un fluide hautement inflammable, la température d'auto-inflammabilité est de 380 à 450°C
- ✚ Toxicité physiologique : Les vapeurs de condensât sont toxiques lorsqu'un homme s'y expose, le premier symptôme constaté sera l'irritation des yeux suivi de symptômes de névropathies. La victime peut éventuellement avoir du mal à marcher. Lorsque les concentrations du condensât (vapeur) sont de l'ordre de 0,025 à 0,05% en volume dans l'air, elles ne peuvent pas causées de symptômes sérieux même après plusieurs heures d'inhalation.
- ✚ Précautions hygiéniques : Pour prévenir l'intoxication, une ventilation convenable est réalisée dans les locaux de travail afin de maintenir la concentration des vapeurs de condensât à moins de 300ppm.

### II-7-3- Utilisation du condensât [10]:

La particularité du condensât réside dans son utilisation dans deux secteurs industriels entièrement stratégiques : le raffinage et la pétrochimie.

#### II-7-3-1- Utilisation du condensât dans le raffinage :

Le condensât est utilisé dans la production des carburants notamment les

essences, leurs prix de revient est plus bas que les essences produites à partir de pétrole brut car la séparation et la transformation du condensât est moins coûteuse, et sa composition chimique riche en éléments légers.

Le condensât est utilisé dans le procédé d'isomérisation pour produire l'essence (isomérisation) en transformant les normales paraffines en iso-paraffines qui ont un grand indice d'octane.

### **II-7-3-2- Utilisation du condensât dans la pétrochimie :**

La valorisation du condensât se fait principalement dans le domaine de la pétrochimie, où la demande est très importante.

Le vapocraquage est ainsi la principale voie pour la production des oléfines. Dans ce secteur trois éléments dominent :

✚ L'accentuation du déséquilibre entre les demandes respectives d'éthylène et de propylène avec une croissance moyenne annuelle de 4% pour le premier et proche de 5% pour le second en 2007.

✚ Le fonctionnement des vapocraquages de charge liquide à la limite de flexibilité du rapport propylène/éthylène.

✚ L'accroissement de la contribution de craquage catalytique à la fourniture de propylène. L'intérêt de ce produit dans la pétrochimie est justifié par les considérations suivantes :

- Le condensât est riche en hydrocarbures paraffiniques et naphthéniques C5 à C7 ayant un bon potentiel de production d'oléfines.
- Une faible quantité en hydrocarbures aromatiques qui se transforment en poly-aromatiques lors du vapocraquage.

### **II-8-Le GPL et le condensat en Algérie en 2016 [11]:**

L'Algérie est la deuxième réserve en Afrique, la dixième du monde avec une durée de 55 ans d'exploitation prévue. Avec une production moyenne depuis l'an 2000 de 83,5 Gm<sup>3</sup>/an (de 2,7% de la production mondiale, l'Algérie est le principal pays producteur du gaz naturel en Afrique. Elle occupe la neuvième place dans le classement mondial des pays producteurs du gaz naturel.

La consommation intérieure, en progression, est d'environ 15 958 millions de m<sup>3</sup>/an.

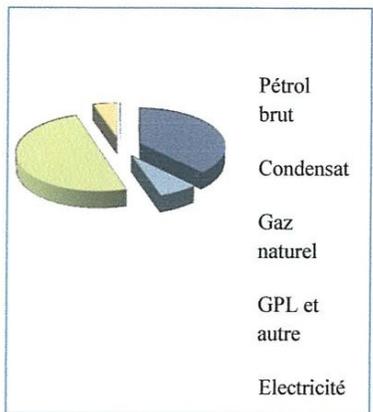
Environ 67% de la production soit, 35 719 de millions m<sup>3</sup>/an sont exportés, en majorité vers l'Europe, avec un objectif de 85 à 100 Gm<sup>3</sup> à un horizon de cinq ans. Le gaz est exporté soit par méthaniers, sous forme de gaz naturel liquéfié(GNL), avec 22,9 Gm<sup>3</sup> ainsi exportés, soit par deux gazoducs sous-marins vers l'Italie et vers l'Espagne pour alimenter l'Europe.

**Tableau II-6 :Bilan énergétique national 2016**

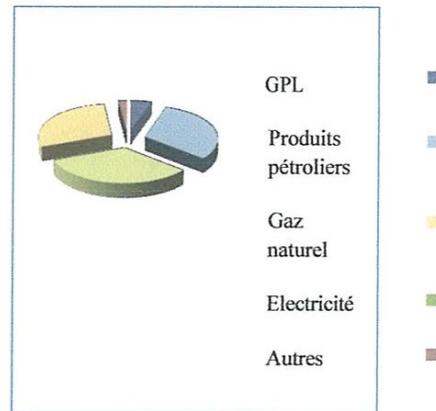
	Années	GPL	Condensat
		(K tonnes)	(K tonnes)
<b>Production</b>	<b>2015</b>	<b>7 186</b>	<b>10 895</b>
	<b>2016</b>	<b>7 044</b>	<b>10 053</b>
<b>Transformation</b>	<b>2015</b>	<b>-</b>	<b>4 657</b>
	<b>2016</b>	<b>-</b>	<b>4 146</b>
<b>Echanges</b>	<b>2015</b>	<b>5 922</b>	<b>6 080</b>
	<b>2016</b>	<b>6 019</b>	<b>5 946</b>
<b>Consommation</b>	<b>2015</b>	<b>1 973</b>	<b>5</b>
	<b>2016</b>	<b>1 998</b>	<b>-</b>

Le bilan énergétique national 2016 fait ressortir les principales évolutions ; ci-après :

- ✚ 71% de la production nationale ont été destinés à l'exportation ; le reste a servi à la couverture des besoins internes
- ✚ Les importations totales d'énergie ont fortement augmenté en 2016
- ✚ La consommation finale d'énergie a augmenté de 7,4%.



**Figure II -2:** répartition de la production d'énergie



**Figure II -3 :** répartition de consommation d'énergie

A l'heure actuelle, la demande internationale du gaz algérien est plus importante que la capacité de SONATRACH quelle peut fournir. Une Réhabilitation des installations d'Arzew et de Skikda et Alger ont été prévue. Cela permettrait à SONATRACH d'augmenter sa capacité d'exportation à un prix nettement inférieur, sans doute de l'ordre des deux tiers, aux concurrents éventuels qui doivent construire de nouvelles unités de liquéfaction. Le pari de SONATRACH est néanmoins loin d'être gagné ; la rénovation des installations est en train d'être menée à bien par les compagnies qui ont construit ces unités pendant les années 1970.

## *Chapitre III*

# *Théorie sur le procédé de rectification*

### **III-1-Introduction :**

La distillation, exploitant les différences de volatilité des constituants d'un mélange, permet la séparation ou, comme l'on dit généralement, le fractionnement des constituants en fonction de leurs température d'ébullition. La simplicité de ce procédé et son prix de revient relativement modique en font une opération de base dans le processus d'élaboration des produits chimiques et pétroliers. C'est ainsi qu'en raffinerie, aussi bien que dans les usines de la pétrochimie, les colonnes de distillation, sont largement représentées, soit au stade de la préparation de charge avant réaction, soit au stade du fractionnement après la réaction.

### **III-2-Définition [12]:**

La rectification est un procédé physique de séparation d'un mélange en constituants pratiquement purs, et cela par des échanges de matière et d'énergie entre deux phases circulant à contre-courant dans un appareil appelé « colonne de rectification ».

La colonne de rectification est une capacité cylindrique de hauteur et de diamètre variables, formée d'une virole et de deux fonds. L'intérieur est divisé en compartiments horizontaux appelés plateaux. Les plateaux communiquent d'une part, côté liquide par des déversoirs et d'autre part côté vapeur par des orifices spéciaux à travers toute la surface du plateau.

La construction d'une colonne de rectification est soumise à des normes imposées par les conditions d'utilisation et de sécurité. Généralement, elle peut atteindre près de 50m de hauteur et 6m de diamètre. Elle est montée verticalement et repose sur des pieds ou une jupe.

La rectification est une distillation fractionnée, autrement dit qualitative, et cette augmentation de qualité par rapport à la distillation est due au placement soit des plateaux, soit des garnissages à l'intérieur de la colonne. Par conséquent il y a augmentation de la surface de contact qui implique l'augmentation du degré de pureté.

### **III-3- Description et principe de fonctionnement de la colonne de rectification [12]:**

La rectification s'effectue dans une colonne munie d'un rebouilleur et d'un condenseur, la partie de la colonne où s'effectue l'alimentation s'appelle **zone de flash** (démunie de

plateaux), en fonction de la température, la charge peut être introduite soit sous forme liquide ou vapeur ou mélange (liquide + vapeur).

La partie située au-dessus de la zone de flash s'appelle **zone de rectification** son but est de rendre plus grande la concentration du constituant le plus volatil jusqu'à la concentration désiré dans le distillat.

La partie se trouvant au-dessous de la zone de flash est **la zone d'épuisement**, son rôle est de récupérer les éléments les plus volatils entraînés par le liquide.

Le principe de fonctionnement d'une colonne à distiller est simple, tout en travaillant à pression constante, il consiste à déplacer les équilibres de phases à l'aide d'un gradient de température créé par une source froide (le condenseur), qui génère un flux de liquide froid descendant dans la colonne, et la source chaude (le rebouilleur), engendrant un flux de vapeur chaude montant.

Pour assurer les transferts de matières et de chaleur entre ces deux flux, des éléments de contact sont placés à l'intérieur d'une virole. Ils sont constitués soit par des plateaux, dont le principe de base est de faire barboter la vapeur dans une rétention liquide provoquée par un barrage coupant la phase liquide, soit par des garnissages constitués le plus souvent par un treillis métallique dispersant les phase et assurant une bonne surface d'échange entre les fluides circulant à contre-courant.

Le rebouilleur fonctionne à l'aide d'un fluide extérieur (vapeur, huile chaude, fluide procédé).

Le plus souvent refroidie par le l'air ou de l'eau, parfois par un fluide procédé, le condenseur travaille dans des conditions différentes selon que l'on cherche à obtenir une coupe légère, ou distillat sous forme liquide ou vapeur.

La figure ci-après présente le dessin schématique d'une colonne de rectification

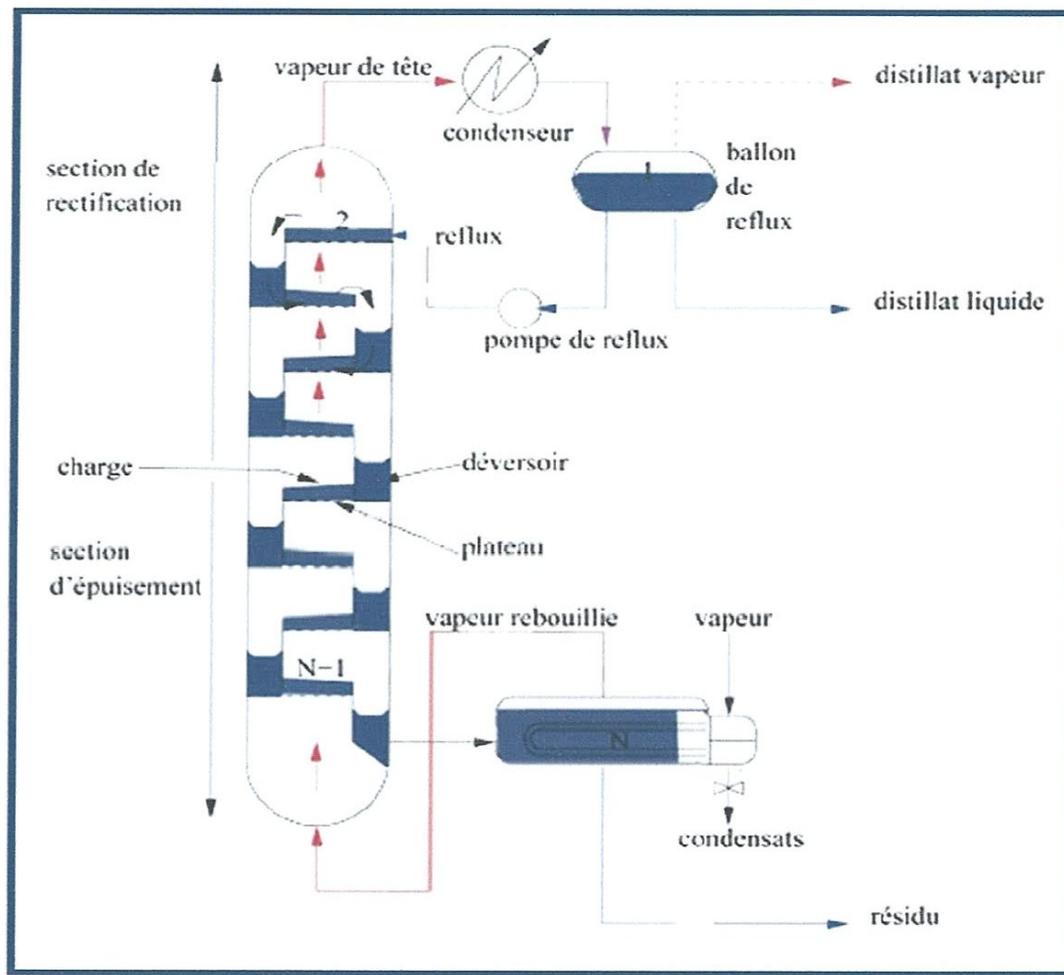


Figure III-1: schéma général d'une colonne de rectification

### III-4-Types de colonnes de rectification [13]:

Les colonnes utilisées pour la rectification des mélanges binaires ou d'ordre supérieur (complexe) se divisent en deux types distincts :

- ✚ Les colonnes à éléments séparés (plateaux, grilles, cascade).
- ✚ Les colonnes à garnissage.

#### III-4-1-Colonnes à plateaux :

Le transfert de matière entre les phases vapeur et liquide résulte du contact intime de ces deux phases circulant à contre-courant. Ce contact s'effectue en

discontinue.

### Types de plateaux :

Les divers types de plateau industriels sont présentés à la figure ci-dessous

- ✚ Plateaux à calottes (bubble cap tray)
- ✚ Plateaux perforés à déversoir (Sieve tray)
- ✚ Plateaux à clapets (valve tray).
- ✚ Plateaux uniflux
- ✚ Plateaux à jet directionnel (jet tray)
- ✚ Plateaux sans déversoir

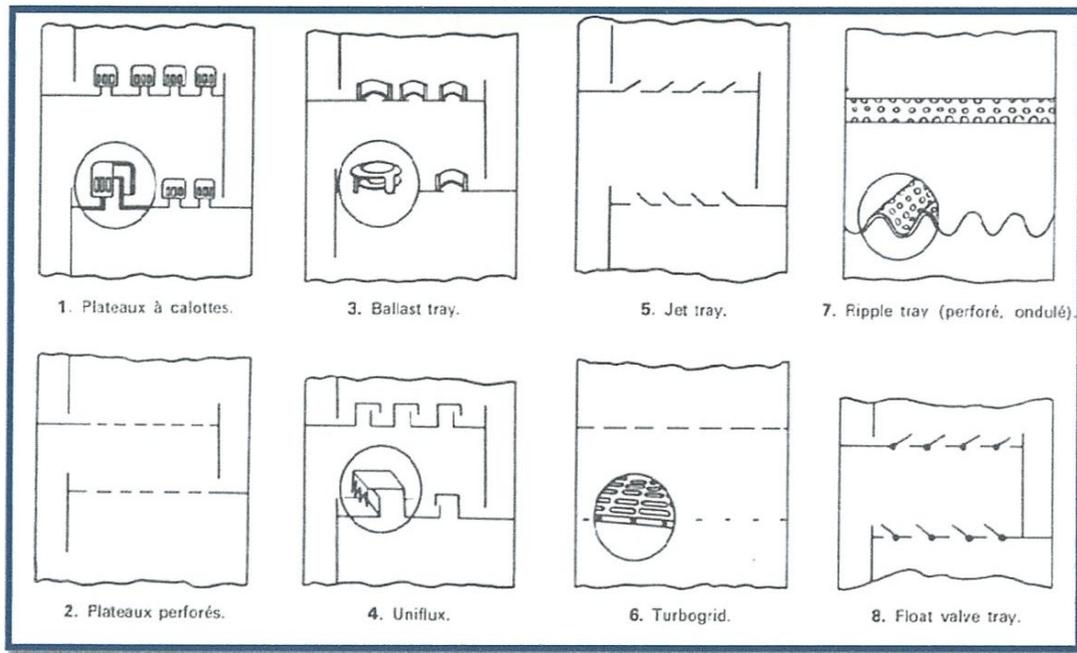


Figure III-2 : Différents types de plateaux

### III-4-2-Colonnes à garnissage :

Elles sont utilisées dans la distillation et l'absorption. Ces colonnes réalisent un contre-courant continu. L'échange de matière croît en régime turbulent. C'est pourquoi elles sont remplies d'éléments solides, on emploie comme garnissage n'importe quels morceaux solides, généralement du coke ou de la brique qui ont l'avantage d'être particulièrement bon marché.

Les garnissages les plus courants dans l'industrie sont les anneaux de Rasching : manchons de cylindre dont la hauteur est égale au diamètre extérieur, En général on utilise des anneaux en céramique ou en porcelaine (bon marché et grande résistance à la corrosion).

Il existe d'autres types de garnissage utilisés ou les caractéristiques des différents types sont indiquées par les fabricant on en trouvera quelque exemples dans la figure ci-dessous.

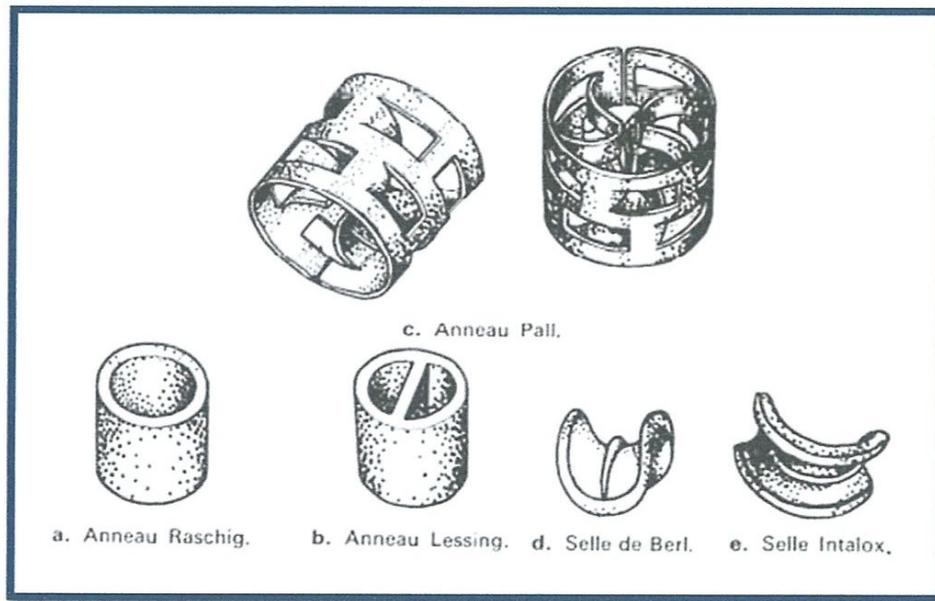


Figure III-3: Différents types de garnissage

### III-4-3-Comparaison entre garnissage et plateaux :

Au-delà des problèmes d'efficacité, il est intéressant de comparer les avantages et les inconvénients de chacune des technologies.

#### *Facteurs en faveur du garnissage :*

- ✚ Prix moins élevé surtout lors des traitements des mélanges corrosifs ;
- ✚ Faibles pertes de charge ;
- ✚ Faibles rétention liquide ;

Il est aussi bien placé dans les cas suivants :

- ✚ Colonne de petit diamètre : la mise en place des contacteurs est beaucoup plus aisée.

✚ Système moussant : le contact entre la vapeur et le liquide étant moins violent, la tendance en moussage est minimisée dans les garnissages.

**Facteurs en faveur des plateaux :**

Les plateaux apportent les avantages dans les cas suivants :

- ✚ Colonnes complexes : pour toute injection de charge ou soutirage de produits, plusieurs points d'alimentation....etc.
- ✚ Colonne a grand diamètre : bonne efficacité avec un écoulement uniforme des fluides.
- ✚ Débit trop élevé ou trop faible : bonne flexibilité de la conception des plateaux.
- ✚ Poids : l'emploi de plateaux minimise le poids de la colonne.
- ✚ Inspection de la colonne plus facile grâce au trou d'homme.
- ✚ Purge et lavage : les opérations de vidange et de lavage d'une colonne à plateaux sont plus faciles.

### **III-5-Engorgement dans les colonnes de rectification [13]:**

Pour qu'un plateau travaille correctement, il est nécessaire que les sections de passage prévues pour le liquide et la vapeur permettent effectivement un écoulement régulier des deux phases. Lorsque le débit vapeur est trop élevé par rapport au trafic liquide, il y a formation d'un brouillard finement dispersé au-dessus de la zone de contact du plateau, cette situation conduit à un mauvais transfère liquide-vapeur avec formation de fines gouttelettes entraînées vers les plateaux supérieurs, on dit qu'il y a engorgement.

L'engorgement est caractérisé par un facteur appelé : facteur d'engorgement(F). Pour un fonctionnement correct des plateaux, ce facteur d'engorgement doit être inférieur à 80%. Dans la simulation, après avoir entré les paramètres géométriques de la colonne et les débits de gaz en circulation, le logiciel Hysys permet de constater si la colonne a été normalement dimensionnée pour une valeur de débit de gaz.

## *Chapitre IV*

# *Sécurité et environnement*

## **IV -1-Introduction :**

Dans l'industrie du pétrole ou de gaz, la complexité technologique est remarquable, les dangers sont très divers, La protection des hommes, la préservation de leur santé, le respect de l'environnement et la sauvegarde des biens font partie des objectifs fondamentaux de GTFT, et c'est pour ça que le service de sécurité dans GTFT est obligatoire. Il établit des règles proprement strictes pour assurer la bonne marche de l'usine, il exerce ses fonctions dans plusieurs domaines avec ses équipes de surveillance. Et il prend la connaissance et éventuellement l'exécution des consignes de l'usine, ces consignes visent à prévenir les accidents aux personnels ou matériels et les incendies.

## **IV -2-Organisation de la sécurité [1]:**

### **IV-2-1-Prévention :**

La prévention a pour fonction principale :

- ✚ Prévenir les accidents et les incidents.
- ✚ La mise en place des systèmes et des procédures pour chaque tâche effectuée dans le site selon les normes industrielles.
- ✚ Etablir des programmes de formation de sécurité.
- ✚ Sensibiliser les employés sur les réflexes et les comportements HSE à l'intérieur et en dehors du lieu de travail.
- ✚ Suivre les travaux d'intervention sur site et veiller sur l'application des consignes de sécurité.
- ✚ Etudier les dangers industriels et les accidents de la vie professionnelle.
- ✚ Etudier les statistiques des accidents et des maladies professionnelles.
- ✚ Inspecter systématiquement les équipements anti-incendie.

Pour assurer la sécurité et la sensibilisation des travailleurs, avant chaque opération, le groupement applique la procédure de permis de travail. Il a pour objectif d'assurer l'exécution d'un travail dans des conditions de sécurité maximale. C'est le

résultat d'une concertation entre les différents intervenants, avant et pendant la réalisation du travail ; tous les travaux nécessitent l'utilisation d'un Permis de travail adéquat.

### **IV-2-2-Intervention :**

Une intervention doit être rapide en cas d'accidents ou d'incendie, elle utilise les moyens humains et matériels et opère avec deux équipes opérant pendant 12 heures chacune avec un responsable (contremaître) pour chaque équipe.

Dans le groupement TFT il existe un système de lutte contre l'incendie, il se compose de :

#### **IV-2-2-1-L'eau incendie :**

Le système a pour objectif d'assurer le stockage et la distribution de l'eau incendie (grâce au bac de stockage S2 7004) et de la mousse à l'ensemble des zones de l'usine afin de protéger le personnel et les équipements en cas d'incendie.

Ce système est d'autant plus critique que l'installation contient des hydrocarbures, composés facilement inflammables. Sa disponibilité est essentielle au maintien des opérations et à la sécurité du personnel.

Le réseau d'eau incendie est maintenu sous pression 6 barg d'eau prête pour l'utilisation dans le besoin, cette pression est assurée par deux skis identiques constitués chacun d'une pompe jockey, électrique, et diesel.

#### **IV-2-2-2-Les déluges :**

Le déluge est un système permettant un étouffement de flamme d'incendie de liquide (condensat, gasoil...) il utilise un réservoir à mousse et une source d'eau, qui seront mélangée dans une chambre pour donner à l'arrivée du bac en contact avec l'air une mousse physique.

#### **IV-2-2-3-Véhicules et appareils mobiles :**

- ✚ Un camion incendie équipé d'un réservoir à mousse.
- ✚ Un véhicule de premier secours.
- ✚ Une ambulance.

#### **IV-2-2-4-Appareils mobiles :**

- ✚ Génératrice électrique à 5 lampes sur remorque.

- ✚ Pompe incendie entraînée par un moteur sur remorque.
- ✚ Lance mousse /eau sur remorque.
- ✚ Dévidoirs sur roues.

#### **IV-2-2-5- FM200 :**

Un système de déversement du FM200 est disposé dans la salle de contrôle et les bâtiments électriques et instrumentation.

#### **IV-2-2-6-Extincteurs :**

Les extincteurs énumérés ci-dessous sont généralement répartis dans les installations.

- ✚ Extincteurs portatifs à eau à jet pulvérisé (91) et des Extincteurs à CO<sub>2</sub> portatif.
- ✚ Extincteurs portatifs à poudre (91), et à poudre sur roues (551)

#### **IV-2-2-7-Signaux d'alarme :**

Des détecteurs de gaz et de feu sont disposés un peu partout dans les installations et le bâtiment pour alerter et agir dans le cas échéant.

#### **IV-2-2-8-Divers :**

Ils comprennent :

- ✚ Des appareils portatifs (lance eau/ mousse, tuyaux d'incendie)
- ✚ Des appareils et vêtements de protection individuelle (masque, détecteur de gaz, etc.)

### **IV-3-Environnement [14]:**

Du changement climatique à l'échelle de la planète aux pollutions plus locales, le respect de l'environnement est devenu une préoccupation majeure de la société. Du fait de contraintes réglementaires ou de leur propre initiative, les industriels intègrent de plus en plus la protection des richesses naturelles dans leurs processus de production.

#### **IV-3-1-Politique environnementale GTFT :**

Dans le domaine de l'environnement, comme ceux de la sécurité ou de la qualité, des systèmes internes de management, adapté à chaque groupe d'activité ont

été mis en place. Ces systèmes sont des éléments de base de la démarche du progrès continue qui comptent la fixation d'objectifs, action, mesures de contrôles, bilan, .etc.

En matière d'environnement, la norme ISO 14001 constitue un référentiel pour la mise en place de système de management. Elle permet également la reconnaissance externe du système par la certification

Le respect de l'environnement est un souci permanent de GTFT. Des mesures sont prises afin de limiter et contrôler tout impact environnemental résultant des activités menées :

- ✚ Une étude d'impact environnemental a été réalisée en conformité avec la législation Algérienne,
- ✚ Un système de gestion environnemental est mis en place conformément aux normes ISO 14001,
- ✚ La prévention et la sensibilisation au sujet de la pollution et de la protection de l'environnement sont considérées comme prioritaires pour les activités,
- ✚ Les impacts environnementaux des activités doivent être identifiés et évalués, des contrôles et des mesures adéquates doivent être mises en place,
- ✚ Des plans d'actions sont mis en place afin de limiter l'impact environnemental,
- ✚ Les consommations d'énergie et de ressources naturelles, les émissions atmosphériques, les rejets aqueux et déchets ultimes doivent être maîtrisés,
- ✚ La politique environnementale de GTFT doit être disponible pour tous, employés, sous-traitants et public.

#### **IV-3-2-Certification ISO 14001 2004 :**

La norme iso14001 est la dénomination d'une norme qui concerne le management environnemental et dont les caractères sont propres à rassurer les consommateurs soucieux de l'environnement. Elle est une partie intégrante des normes d'organisation et l'ISO ou Organisation Internationale de la Normalisation. International Organisation for Standardization en est l'organisme créateur.

Elle est la plus utilisée des normes de la série des normes ISO 14000 qui

concernent le management environnemental. Elle repose sur le principe d'amélioration continue de la performance environnementale par la maîtrise des impacts liés à l'activité de l'entreprise.

Alors que les normes ISO 14004 et ISO 14010, 11, 12 sont considérées comme des normes outils, la norme ISO 14001 constitue le référentiel de base pour la certification. Il représente des exigences réparties en :

- ✚ Les exigences générales (intentions de l'établissement en termes d'environnement).
- ✚ La politique environnementale (objectifs de l'entreprise).
- ✚ La planification.
- ✚ La mise en œuvre (réalisation des actions planifiées pour satisfaire à la politique environnementale)
- ✚ Les contrôles et les actions correctives\* (surveillance de la fonctionnalité du système de management environnemental)
- ✚ La revue de direction
- ✚ Il n'y a pas d'exigences absolues en matière de performance environnementale, il existe par contre un engagement dans la politique de la direction. Une obligation d'arriver en conformité avec la législation et aux réglementations applicables d'autant qu'il faut respecter le principe d'amélioration continue.

## *Chapitre V*

# *Simulation par le logiciel Fysys*

### **V-1-Introduction :**

Le développement de l'informatique dans le domaine de simulation, nous permet de résoudre le problème de calcul manuel long, en utilisant comme outil des logiciels de simulation.

Les simulateurs existants tels que **Aspen Plus**, **ChemCAD**, **Hysim**, **Hysys**, **Pro-II** sont les plus utilisés et qui deviennent de plus en plus indispensables pour concevoir de nouvelles unités et pour optimiser les procédés industriels qui fonctionnent parfois loin de leur optimum. Cela dit, le simulateur HYSYS est l'un des plus performants logiciels de simulation.

### **V-2-Définition de la simulation [15]:**

La simulation est définie comme étant la représentation d'un phénomène physique à l'aide de modèles mathématiques simples permettant de décrire son comportement.

Autrement dit, elle permet de représenter, par des modèles mathématiques les différents phénomènes de transfert de masse, d'énergie et de quantité de mouvement qui se produisent dans les différentes opérations unitaires.

### **V-3-Concept et caractéristiques du simulateur Hysys [15]:**

Le logiciel HYSYS est l'un des logiciels de simulation des procédés de génie chimique.

Il a été développé par la société Canadienne HYPROTECH. Il a été conçu pour permettre le traitement d'une vaste gamme de problèmes allant des séparations bi et tri - phasiques simples, de la compression à la distillation et la transformation chimique. Les différentes tâches qu'un simulateur de procédés devrait effectuer sont :

- la résolution des bilans de matière et d'énergie,
- l'optimisation du procédé,
- le dimensionnement des équipements,

- l'évaluation économique du procédé.

#### **V-4-Gestionnaire de base du simulateur Hysys [15]:**

✚ **Components** : l'utilisateur sélectionne les constituants purs qui forment le mélange

✚ **Fluide PKgs** : l'utilisateur choisit un modèle thermodynamique selon le mélange créé

✚ **Hypotheticals** : l'utilisateur peut créer des constituants hypothétiques qui seront rajoutés, par la suite, à la liste des constituants.

✚ **Oil Manager** : l'utilisateur caractérise, ici, une huile ou un brut à partir des données expérimentales (TBP, ASTM,...)

✚ **Reaction** : Si l'utilisateur veut installer dans la page de simulation un réacteur, il doit créer et caractériser, d'abord, cette réaction dans la page Réaction

#### **V-5- Le choix du modèle thermodynamique [15]:**

Les logiciels de simulation donnent accès à plusieurs modèles thermodynamiques pour la prédiction de l'équilibre liquide-vapeur, d'enthalpie et d'entropie ainsi que les propriétés de transport.

La réussite de la simulation dépend du choix du modèle thermodynamique, parce que ce dernier est établi pour une classe de fluide et un domaine de conditions P et T recommandées.

Parmi les équations d'état usuelles on distingue l'équation de **Peng-Robinson**. Cette équation est considérée adéquate pour le calcul d'équilibre liquide-vapeur des systèmes composés d'hydrocarbures.

Les améliorations apportées par Hyprotech à cette équation d'état lui permettent d'être **très fiable pour une variété de système** sur un large domaine de conditions. Elle résout rigoureusement tous les systèmes composés d'une seule phase, biphasique ou un système à trois phases avec haut degré d'efficacité et de précision, et est applicable sur une grande gamme de conditions, cette équation est

donnée par :

$$P = \frac{RT}{v - b} - \frac{a}{v^2 + 2bv - b^2}$$

$$Z^3 - (1 - B)Z^2 + (A - 2B - 3B^2)Z + B = 0$$

$$b = \sum_i^n x_i b_i$$

$$b_i = 0.077796 \frac{RT_{ci}}{P_{ci}}$$

$$a = \sum_i^n \sum_j^n x_i x_j (a_i a_j)^{0.5} (1 - k_{ij})$$

$$a_i = 0.457235 \frac{(RT_{ci})^2}{P_{ci}} \alpha$$

$$\alpha_i = (1 + m_i (1 - T_{ri}^{0.5}))^2$$

$$m_i = 0.37646 + 1.54226w_i - 0.26992w_i^2$$

A, B : constantes liées à la température et à la pression avec

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad \text{et} \quad B = \frac{bP}{RT}$$

a, b : constantes liées à la température et pression critiques.

Z : coefficient de compressibilité.

$m_i$  : nombre de moles du constituant i.

R : constante des gaz parfaits.

$T_{ci}$  : température critique du constituant i.

$P_{ci}$  : pression critique du constituant i.

$K_{ij}$  : coefficient d'interaction binaire.

$x_i, x_j$  : Fractions molaires des constituants i et j.

$T_{ri}$  : température réduite.

### V-6-Structure générale de Hysys [15]:

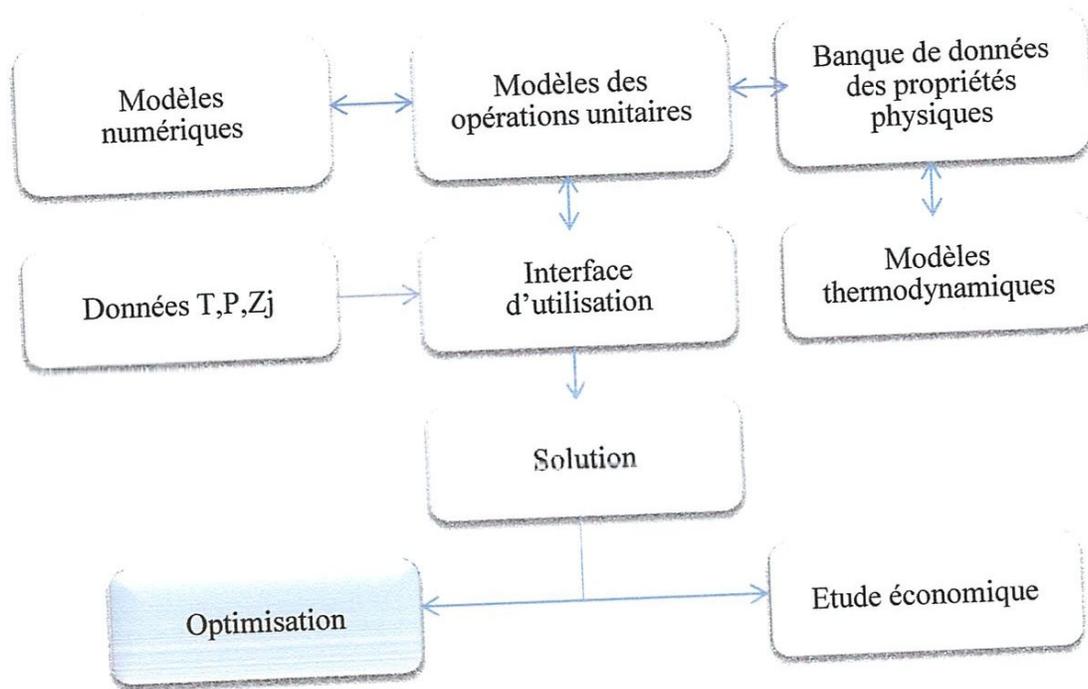


Figure V -1 : Structure générale de Hysys

### V-7-Problématique :

Le groupement TFT a du augmenter la pression de tête de la colonne débutaniseur, qui était au démarrage de 17,2 barg, à 17,65 barg, alors que la pression de service maximale est normalement de 17,3 barg et la pression de design est de 16,9 barg (voir la plaque signalétique **annexe A**). Afin de pallier à cette anomalie, on s'était fixé l'objectif de faire baisser cette pression et observer le changement sur la température du GPL et son reflux.

Notre étude se base sur cette pression qu'on baisse afin de se rapprocher de la valeur de design et voir le comportement de la colonne tout en gardant le taux de reflux ainsi que la spécification du GPL et du condensât, et la température de condensation aussi bien que la température du fond (avec la température du plateau sensible) constants.

L'étude consiste en premier lieu à optimiser et simuler les paramètres et les conditions de fonctionnement des débutaniseurs indicées (T6-1501/2501) suivant le changement de la composition du gaz à traiter, afin de récupérer le maximum de GPL et du condensat et de réduire la consommation énergétique, tout en respectant les spécifications et les normes des produits (GPL et condensat).

En second lieu, notre travail porte sur l'étude de l'influence de la diminution de pression à l'admission du débutaniseur sur les paramètres de fonctionnement et à optimiser ces paramètres avec le minimum de pression tolérée en situation dégradée.

## **V- 8-Débutanisation :** (voir la page 19)

### **a. Choix des paramètres :**

Lors de la simulation de la colonne débutaniseur T6-1501, le choix des paramètres opératoires (pression, température, taux de reflux) vise à :

- ✚ Diminuer la quantité de chaleur fournie par le rebouilleur.
- ✚ Diminuer la quantité de chaleur absorbée par le condenseur de tête, par conséquent diminuer le débit du fluide réfrigérant.
- ✚ Diminuer le taux de reflux, ou bien l'augmenter ce qui entraîne une augmentation des quantités de chaleur dans le rebouilleur et dans le condenseur ainsi que la puissance des pompes et par conséquent la consommation électrique.
- ✚ Avoir une colonne avec un faible taux d'engorgement et une perte de charge minimum.

Cependant, il est important de noter qu'il faut assurer une bonne séparation avant tout et obtenir des produits répondant aux spécifications commerciales.

Dans notre cas, les paramètres suivants conditionnent le bon fonctionnement du débutaniseur :

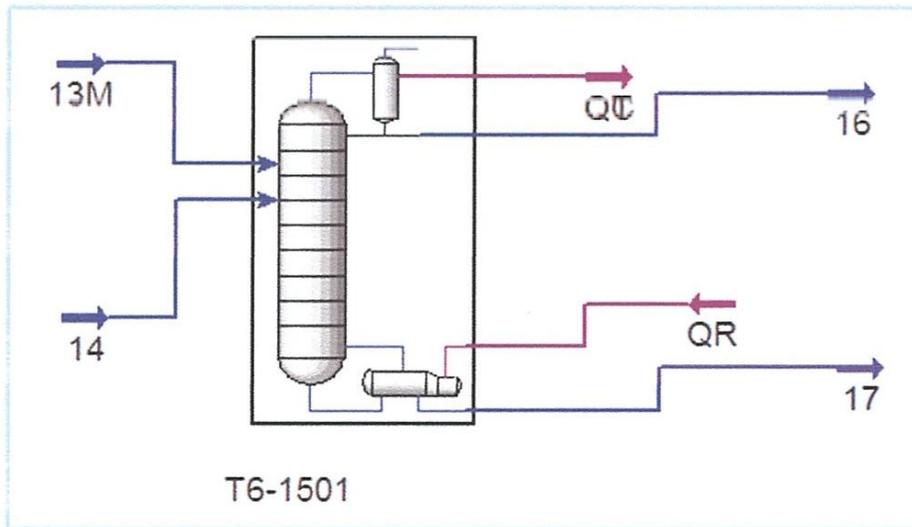
- ✚ Le taux de reflux.
- ✚ La chaleur du rebouilleur.
- ✚ La chaleur de condenseur.

D'où une étude de l'influence de la variation de ces paramètres sur les performances du débutaniseur est menée.

b. **Hypothèses de simulation :**

La simulation générale de la colonne débutaniseur T6-1501 est représentée sur la figure suivante.

On note que la base de données choisie est Peng Robinson (PR), Car cette équation est considérée adéquate pour le calcul d'équilibre liquide-vapeur des systèmes composés des hydrocarbures, est applicable sur une grande gamme de conditions. Il donne aussi les meilleurs résultats, plus spécialement quand les fractions légères dominent.



**Figure V-2:** Schéma de simulation du débutaniseur T6-1501.

où :

**13M** : alimentation froide de déethaniseur.

**14** : alimentation chaude du stabiliseur.

**16, 17** : le GPL et le condensat, respectivement.

**QC, QR** : les chaleurs du condenseur et du rebouilleur respectivement.

**V-9-Calcul de la colonne débutaniseur T6-1501 :****V-9-1-Cas Design :****Données de départ :**

- + Type de colonne : colonne à plateaux (plateau à clapets)
- + Nombre de plateaux réel : 32
- + Efficacité de plateau : 78%
- + Nombre de plateaux théorique : 25
- + Le diamètre de la colonne : 3,2 mètres
- + La hauteur de la colonne : 27,56 mètres

**Tableau V-1** : Composition et débits molaire, massique et volumique de l'alimentation

	1ère charge froide	2ème charge chaude
<b>T (°C)</b>	106,37	171,23
<b>P (barg)</b>	17,582	19,995
<b>Débit massique (Kg/h)</b>	5,931E+04	5,232E+04
<b>Débit molaire (Kmole/h)</b>	1102,4945	579,7465
<b>Débit volumique (m3/h)</b>	106,9	78,94
<b>Constituants</b>	% Molaire	% Molaire
<b>H2O</b>	0	0
<b>N2</b>	0	0
<b>CO2</b>	0	0
<b>C1</b>	0	0
<b>C2</b>	0,021176	0,007238
<b>C3</b>	0,516219	0,125653
<b>iC4</b>	0,083377	0,034772
<b>nC4</b>	0,215039	0,118036
<b>iC5</b>	0,046989	0,052233
<b>nC5</b>	0,059628	0,082376
<b>nC6</b>	0,036976	0,130509
<b>nC7</b>	0,013988	0,140102
<b>2MC7</b>	0,004452	0,094333
<b>nC8</b>	0,000958	0,030323
<b>2MC8</b>	0,000873	0,062682
<b>nC9</b>	0,000160	0,019003
<b>2MC9</b>	0,000127	0,035166
<b>nC10</b>	0	0,009617
<b>nC11</b>	0	0,025730
<b>nC12</b>	0	0,032198
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>	<b>1,0000</b>

## V-9-1-1-Distillat :

Tableau V-2 : Composition du distillat

Composition		$Y'_{Di}$			$Y_{Di}$		
Cas	Design	Design Simulé	Ecart %	Design	Design Simulé	Ecart %	
C1	0	0	0	0	0	0	
C2	0,02539	0,02540	3,94E-04	0,01555	0,01555	0	
C3	0,59171	0,59213	7,10E-04	0,53142	0,53142	0	
iC4	0,10307	0,10316	8,73E-04	0,12203	0,12203	0	
nC4	0,27641	0,27723	2,97E-03	0,32794	0,32794	0	
iC5	0,00270	0,00173	0,3593	0,00254	0,00254	0	
nC5	0,00071	0,00354	3,9860	0,00052	0,00052	0	
<b>La somme</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4,3502</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	

La température (T) et la pression (P) ainsi que le débit molaire (D') et massique (D) et l'énergie ( $W_D$ ) du distillat sont présentés dans le tableau suivant:

Cas / Paramèt	T (°C)	P (bar)	D' (kmole /h)	D (kg/h)	$W_D$ (kJ/h)
Design	65,02	16,91	1084,8456	53200,0000	-1,3684E+08
Design Simulé	62,45	16,91	1084,0000	53271,7915	-1,3615E+08
Ecart %	0,0395	0	7,7947E-04	1,3495E-03	5,0424E-11

## Spécifications :

- C2- (%) = 2,54 (< 3%)
- C5+ (%) = 0,22 (< 0,4 %)

Alors, d'après les résultats on remarque que le GPL est dans les normes (in spécification).

## V-9-1-2-Résidu :

Tableau V-3 : Compositions du résidu

Composition		$X_{RI}$			$X_{RI}$		
Cas	Design	Design Simulé	Ecart %	Design	Design Simulé	Ecart %	
iC4	0,0004	0,0004	0	0,0002	0,0002	0	
nC4	0,0094	0,0083	0,1064	0,0049	0,0049	0	
iC5	0,1325	0,1341	0,0121	0,0992	0,0992	0	
nC5	0,1887	0,1891	2,1198E-03	0,1399	0,1399	0	
nC6	0,1949	0,1947	1,0262E-03	0,1719	0,1719	0	
nC7	0,1618	0,1616	1,2361E-03	0,1659	0,1659	0	
2MC7	0,0998	0,0996	2,0040E-03	0,1167	0,1167	0	
nC8	0,0312	0,0312	0	0,0365	0,0365	0	
2MC8	0,0625	0,0624	1,6000E-03	0,0820	0,0820	0	
nC9	0,0187	0,0187	0	0,0246	0,0246	0	
2MC9	0,0344	0,0344	0	0,0502	0,0502	0	
nC10	0,0094	0,0093	0,0106	0,0136	0,0136	0	
nC11	0,0250	0,0249	4,0000E-03	0,0400	0,0400	0	
nC12	0,0313	0,0312	3,1949E-03	0,0545	0,0545	0	
La somme	1	1	0,1443	1	1	0	

La température (T) et la pression (P) ainsi que le débit molaire (R') et massique (R) et l'énergie ( $W_R$ ) du résidu sont présentés dans le tableau suivant:

Cas / Paramètres	T (°C)	P(bar)	R' (kmole/h)	R (kg/h)	$W_R$ (kJ/h)
Design	201,10	17,59	597,4761	58356,0000	-1,0210E+08
Design Simulé	210,6	18,59	598,0000	58356,0726	-1,0256E+08
Ecart %	0,0472	0,0568	2,4706E-03	1,2441E-06	4,5054E-11

## Spécification :

- TVR = 7,322 (psi) ( $\leq 10$  psi)

Alors, le condensat est dans les normes (in spécification).

**V-9-1-3-Conclusion :**

Après la comparaison des résultats donnés par le simulateur (Hysys) avec utilisation de l'équation d'état Peng-Robinson « P-R » à celles du cas design, on constate que les résultats obtenus par notre simulation se rapprochent du cas design malgré que des déviations concernant la composition molaire de certains constituants sont à signaler. Dans l'ensemble, les résultats montrés pour la section fractionnement peuvent être considérés comme satisfaisants, nous avons retenu le modèle choisi « P-R », car ce dernier est le plus recommandé pour notre système étant donné les faibles écarts obtenus entre les deux cas.

**V-9-2-Cas actuel :**

La simulation de la colonne dans le cas actuel est réalisée à partir des données de départ annoncées en 4.1, ainsi que le tableau suivant :

**Tableau V-4** : Composition et débits molaire, massique et volumique de l'alimentation

	1ère charge froide	2ème charge chaude
T (°C)	95	160
P (barg)	18,50	18,50
Débit massique (Kg/h)	4,6344E+04	2,1434E+04
Débit molaire (Kmole/h)	865,8811	243,7869
Débit volumique (m3/h)	83,63	32,55
Constituants	% Molaire	% Molaire
H2O	0	0
N2	0	0
CO2	0	0
C1	0	0
C2	0,0132	0,0248
C3	0,5398	0,1177
iC4	0,0756	0,0302
nC4	0,2156	0,1128
iC5	0,0393	0,0724
nC5	0,0587	0,0809
nC6	0,0363	0,1356
nC7	0,0155	0,1642
2MC7	0,0000	0,0000
nC8	0,0044	0,1494
2MC8	0,0000	0,0000
nC9	0,0006	0,0769
2MC9	0,0000	0,0000
nC10	0,0001	0,0400
nC11	0	0,0159
nC12	0	0,0089
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>	<b>1,0000</b>

#### V-9-2-1-Distillat :

**Tableau V-5** : Compositions et débits molaire et massique du distillat

Composition	$Y'_{Di}$	$Y_{Di}$	$D'_i$ (kgmole /h)	$D_i$ (kg /h)
C1	0	0	0	0
C2	0,0226	0,0140	17,5096	526,5110
C3	0,6403	0,5820	496,1033	2,1877E+04
iC4	0,0931	0,1116	72,1454	4,1934E+03
nC4	0,2430	0,2911	188,2804	1,0944E+04
iC5	0,0007	0,0011	0,5649	40,7562
nC5	0,0002	0,0003	0,1438	10,3719
nC6	0	0	0	0,0015
<b>La somme</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>744,7474</b>	<b>37592,0410</b>

La température (T) et la pression (P) ainsi que le débit molaire (D') et massique (D) et l'énergie ( $W_D$ ) du distillat sont présentés dans le tableau suivant:

	T (°C)	P (bar)	D' (kmole/h)	D (kg/h)	$W_D$ (kJ/h)
Les résultats	62,80	17,65	774,7473	3,7591E+04	-9,6251E+07

#### Spécifications :

- C2- (%) = 2,26 ( $\leq 3\%$ )
- C5+ (%) = 0,09 ( $\leq 0,4\%$ )

Alors, d'après les résultats on remarque que le GPL est dans les normes (in spécification).

#### V-9-2-2-Résidu :

Tableau V-6 : Compositions et débits molaire et massique du résidu

Composition	$X'_{Ri}$	$X_{Ri}$	$R'_i$ (kmole /h)	$R_i$ (kg /h)
C3	0	0	0,0012	0
iC4	0,0020	0,0013	0,6751	0,0511
nC4	0,0797	0,0514	26,6999	39,2421
iC5	0,1310	0,1049	43,8814	1,5519E+03
nC5	0,2101	0,1682	70,3757	3,1661E+03
nC6	0,1925	0,1841	64,4806	5,0777E+03
nC7	0,1596	0,1774	53,4395	5,5568E+03
2MC7	0	0	0	0
nC8	0,1200	0,1521	40,2068	4,5929E+03
2MC8	0	0	0	0
nC9	0,0576	0,0820	19,2932	2,4745E+03
2MC9	0	0	0	0
nC10	0,0294	0,0463	9,8325	1,3990E+03
nC11	0,0116	0,0201	3,8770	606,0230
nC12	0,0064	0,0122	2,1577	367,5404
La somme	1	1	334,9206	30186,6857

La température (T) et la pression (P) ainsi que le débit molaire (R') et massique (R) et l'énergie ( $W_R$ ) du résidu sont présentés dans le tableau suivant:

	T (°C)	P(bar)	R' (kmole /h)	R (kg/h)	$W_R$ (kJ/h)
<b>Les résultats</b>	<b>191,15</b>	<b>18,20</b>	<b>334,9206</b>	<b>30186,6857</b>	<b>-5,5681E+07</b>

**Spécification :**

- TVR = 9,778 (psi) ( $\leq 10$  psi)

Alors, le condensat est dans les normes (à la spécification).

**V-9-2-3-Interprétation et conclusion sur les résultats obtenus (design/actuel) :**

Les résultats obtenus nous montrent que les pressions d'admission de la colonne ont nettement changent lors les besoins et la commanditions. Tous ces changements influent sur les paramètres de fonctionnement du débutaniseur ; et rendent nécessaire de refaire le calcul et la vérification des paramètres de fonctionnement du débutaniseur avec le débit de la charge actuel.

Dans le cas où on aurait obtenu la convergence, il aura été difficile de comparer nos résultats avec les valeurs existants.

## **V-10-Optimisation des paramètres de fonctionnement du cas réel :**

**V-10-1-Optimisation des paramètres :**

Lors de notre travail d'optimisation, on s'est basé sur la variation de la pression de la colonne débutaniseur en diminuant graduellement cette dernière, prenant comme valeur de départ, **le cas actuelle (17,65 bar)** toute en respectant la conformité des produits en normes exigées.

**Pour le distillat (GPL) :**

- ✦ Teneur max de C2- = 3%.
- ✦ Teneur max de C5+ = 0,4%.

**Pour le résidu (condensat) :**

✚ Tension de vapeur Reid :  $TVR \leq 10$  psia.

Quand les spécifications des produits dépassent les normes on arrête et change un autre variable (le reflux ou bien la température du GPL sortant) pour garder les produits dans les normes.

Les résultats de l'évolution des différents paramètres en fonction de la pression de la colonne sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau V-7: Influence de la pression sur le fonctionnement du débiteur

P (barg)	Tt (°C)	Tf (°C)	Tps (°C)	R (m³/h)	r	OR (KW)	C2- (%)	C5+ (%)	spécification	TVR (psig)	spécification
17,65	63,25	195	175,7	100	1,402	5573	2,23	0,11	ON	9,874	ON
17,55	63,25	197,6	179,2	100	1,389	5654	2,21	0,12	ON	9,127	ON
17,45	63,25	200,5	183	100	1,377	5733	2,19	0,14	ON	8,303	ON
17,35	63,25	202,6	185,8	100	1,366	5803	2,18	0,38	ON	7,73	ON
17,34	63,25	202,8	185,9	100	1,365	5810	2,18	0,43	OFF	7,706	ON
17,34	63,25	202,8	185,8	110	1,501	6256	2,18	0,41	OFF	7,682	ON
17,34	63,25	202,9	185,6	120	1,637	6701	2,18	0,4	ON	7,669	ON
17,34	63	201,2	183,9	100	1,374	5759	2,19	0,15	ON	8,108	ON
17,3	63	202,1	185,2	100	1,369	5789	2,18	0,22	ON	7,85	ON
17,28	63	202,4	185,6	100	1,367	5802	2,18	0,31	ON	7,773	ON
17,25	63	202,8	185	100	1,364	5821	2,18	0,45	OFF	7,695	ON
17,25	63	202,9	185,8	110	1,5	6267	2,18	0,43	OFF	7,672	ON
17,25	62,9	199,9	182,2	100	1,379	5726	2,2	0,14	ON	8,463	ON
17,25	62,8	198,9	180,9	100	1,384	5699	2,2	0,12	ON	8,738	ON
17,25	62,7	198	179,6	100	1,388	5674	2,21	0,11	ON	9,016	ON
17,25	62,6	197	178,3	100	1,393	5649	2,22	0,11	ON	9,29	ON
17,25	62,5	198,8	180,7	100	1,384	5705	2,2	0,12	ON	8,761	ON
17,25	62,4	197,9	179,4	100	1,389	5679	2,21	0,11	ON	9,034	ON
17,25	62,3	196,9	178,2	100	1,393	5654	2,22	0,11	ON	9,312	ON
17,25	62,2	196	176,8	100	1,397	5629	2,22	0,1	ON	9,579	ON
17,25	62,1	189	168,4	100	1,434	5416	2,28	0,08	ON	11,66	OFF
17,2	62,1	196,4	177,5	100	1,395	5644	2,22	0,1	ON	9,456	ON
17,2	62	195,5	176,3	100	1,4	5620	2,23	0,1	ON	9,728	ON

**Tableau V-7: Influence de la pression sur le fonctionnement du débutant (suite)**

17,15	62	196	178,1	100	1,393	5661	2,22	0,1	ON	9,333	ON
17,15	62	196,8	178,1	99	1,379	5616	2,22	0,11	ON	9,338	ON
17,15	62	196,8	178,1	98	1,365	5571	2,22	0,11	ON	9,345	ON
17,15	62	196,8	178,1	97	1,352	5526	2,22	0,12	ON	9,351	ON
17,1	62	198,2	179,5	97	1,345	5567	2,21	0,13	ON	8,952	ON
17	62	201,1	183,5	97	1,333	5650	2,19	0,16	ON	8,133	ON
16,95	62	202,2	185,4	97	1,327	5688	2,18	0,27	ON	7,819	ON
16,9	62	202,9	186,1	97	1,322	5719	2,18	0,52	OFF	7,676	ON
16,9	61,5	199,1	181,1	97	1,341	5605	2,2	0,14	ON	8,694	ON
16,8	61,5	201,9	185	97	1,329	5688	2,18	0,21	ON	7,905	ON
16,7	61,5	203,3	186,5	97	1,319	5750	2,17	0,69	OFF	7,605	ON
16,7	61	200	182,4	97	1,337	5644	2,2	0,14	ON	8,421	ON
16,6	61	202,5	185,7	97	1,326	5722	2,18	0,33	ON	7,76	ON
16,6	61	202,5	185,7	96	1,312	5677	2,18	0,33	ON	7,766	ON
16,6	61	202,5	185,7	95	1,298	5632	2,18	0,33	ON	7,771	ON
16,6	61	202,4	185,7	94	1,285	5586	2,18	0,34	ON	7,777	ON
16,5	61	203,7	186,9	94	1,275	5646	2,17	0,89	OFF	7,541	ON
16,5	60	196,1	177,3	94	1,313	5421	2,22	0,12	ON	9,55	ON
16,4	60	199	181,1	94	1,3	5505	2,22	0,14	ON	8,717	ON
16,3	60	201,9	185,1	94	1,288	5588	2,18	0,22	ON	7,905	ON
16,2	60	203,3	186,6	94	1,278	5682	2,17	0,71	OFF	7,598	ON
16,2	59	195,3	176,2	94	1,317	5402	2,23	0,11	ON	9,79	ON
16,1	59	198,2	180	94	1,304	5504	2,21	0,12	ON	8,951	ON
16	59	201,2	184,1	94	1,291	5590	2,19	0,16	ON	8,086	ON
16	58	191,9	171,9	94	1,333	5341	2,25	0,09	ON	10,8	OFF

**Tableau V-7: Influence de la pression sur le fonctionnement du débutaniseur (suite)**

15,9	58	194,6	175,3	94	1,32	5422	2,23	0,1	ON	10	ON
15,8	58	197,5	179	94	1,307	5506	2,21	0,11	ON	9,152	ON
15,7	58	200,6	183,2	94	1,294	5594	2,19	0,13	ON	8,264	ON
15,6	58	202,8	186,1	94	1,282	5669	2,18	0,45	OFF	7,693	ON
15,6	57	194	174,5	94	1,323	5425	2,24	0,09	ON	10,17	OFF
15,5	57	196,9	178,3	94	1,31	5511	2,22	0,1	ON	9,32	ON
15,5	57	196,9	178,3	93	1,296	5464	2,22	0,1	ON	9,327	ON
15,5	57	196,8	178,3	92	1,282	5418	2,22	0,11	ON	9,334	ON
15,5	57	196,8	178,3	91	1,268	5372	2,22	0,11	ON	9,342	ON
15,5	57	196,8	178,3	90	1,254	5325	2,22	0,12	ON	9,351	ON
15,5	57	196,8	178,3	89	1,24	5279	2,22	0,13	ON	9,36	ON
15,5	57	196,7	178,3	88	1,226	5232	2,22	0,14	ON	9,371	ON
15,5	57	196,7	178,3	87	1,212	5185	2,22	0,15	ON	9,382	ON
15,5	57	196,7	178,2	86	1,198	5139	2,22	0,16	ON	9,394	ON
15,5	57	196,6	178,2	85	1,185	5092	2,22	0,17	ON	9,409	ON
15,5	57	196,6	178,2	84	1,171	5045	2,22	0,19	ON	9,422	ON
15,5	57	196,3	178	79	1,101	4811	2,22	0,26	ON	9,52	ON
15,5	57	196	177,7	75	1,032	4621	2,22	0,36	ON	9,637	ON
15,5	57	195,9	177,5	74	1,032	4573	2,22	0,4	ON	9,675	ON

P (barg) cte  
 Tt (°C) cte  
 R (m3/h) ct  
 Produit hors la spécification  
 Changement de valeur d'un paramètre  
 Tf et Tps du condensat hors la spécification  
 Variables décroissantes  
 Produits à la spécification  
 Paramètres changeants  
**ON** : à la spécification    **OFF** : hors la spécification

**V-10-2-Variation de la température en tête, du fond, du plateau sensible et du débit de reflux en fonction de la pression :**

**Tableau V-8:** Influence de la pression et du débit de reflux sur la température en tête, du fond et du plateau sensible

P (barg)	Tt (°C)	Tf (°C)	Tps (°C)	R (m3/h)	P (barg)	Tt (°C)	Tf (°C)	Tps (°C)	R (m3/h)
17,65	63,25	195	175,7	100	16,7	61,5	203,3	186,5	97
17,55	63,25	197,6	179,2	100	16,7	61	200	182,4	97
17,45	63,25	200,5	183	100	16,6	61	202,5	185,7	97
17,35	63,25	202,6	185,8	100	16,6	61	202,5	185,7	96
17,34	63,25	202,8	185,9	100	16,6	61	202,5	185,7	95
17,34	63,25	202,8	185,8	110	16,6	61	202,4	185,7	94
17,34	63,25	202,9	185,6	120	16,5	61	203,7	186,9	94
17,34	63	201,2	183,9	100	16,5	60	196,1	177,3	94
17,3	63	202,1	185,2	100	16,4	60	199	181,1	94
17,28	63	202,4	185,6	100	16,3	60	201,9	185,1	94
17,25	63	202,8	186	100	16,2	60	203,3	186,6	94
17,25	63	202,9	185,8	110	16,2	59	195,3	176,2	94
17,25	62,9	199,9	182,2	100	16,1	59	198,2	180	94
17,25	62,8	198,9	180,9	100	16	59	201,2	184,1	94
17,25	62,7	198	179,6	100	16	58	191,9	171,9	94
17,25	62,6	197	178,3	100	15,9	58	194,6	175,3	94
17,25	62,5	198,8	180,7	100	15,8	58	197,5	179	94
17,25	62,4	197,9	179,4	100	15,7	58	200,6	183,2	94

**Tableau V-8: Influence de la pression et du débit de reflux sur la température en tête, du fond et du plateau sensible (suite)**

17,25	62,3	196,9	178,2	100	15,6	58	202,8	186,1	94
17,25	62,2	196	176,8	100	15,6	57	194	174,5	94
17,25	62,1	189	168,4	100	15,5	57	196,9	178,3	94
17,2	62,1	196,4	177,5	100	15,5	57	196,9	178,3	93
17,2	62	195,5	176,3	100	15,5	57	196,8	178,3	92
17,15	62	196	178,1	100	15,5	57	196,8	178,3	91
17,15	62	196,8	178,1	99	15,5	57	196,8	178,3	89
17,15	62	196,8	178,1	98	15,5	57	196,7	178,3	88
17,15	62	196,8	178,1	97	15,5	57	196,7	178,3	87
17,1	62	198,2	179,9	97	15,5	57	196,7	178,2	86
17	62	201,1	183,9	97	15,5	57	196,6	178,2	85
16,95	62	202,2	185,4	97	15,5	57	196,6	178,2	84
16,9	62	202,9	186,1	97	15,5	57	196,3	178	79
16,9	61,5	199,1	181,1	97	15,5	57	196	177,7	75
16,8	61,5	201,9	185	97	15,5	57	195,9	177,5	74
15,5	57	196,8	178,3	90					

□ P (barg) cte

□ Tt (°C) cte

□ R (m3/h) ct

□ Produit hors la spécification

□ Changement de valeur d'un paramètre

■ Tf et Tps du condensat hors la spécification

□ Variables décroissantes

■ Produits à la spécification

□ Paramètres changeants

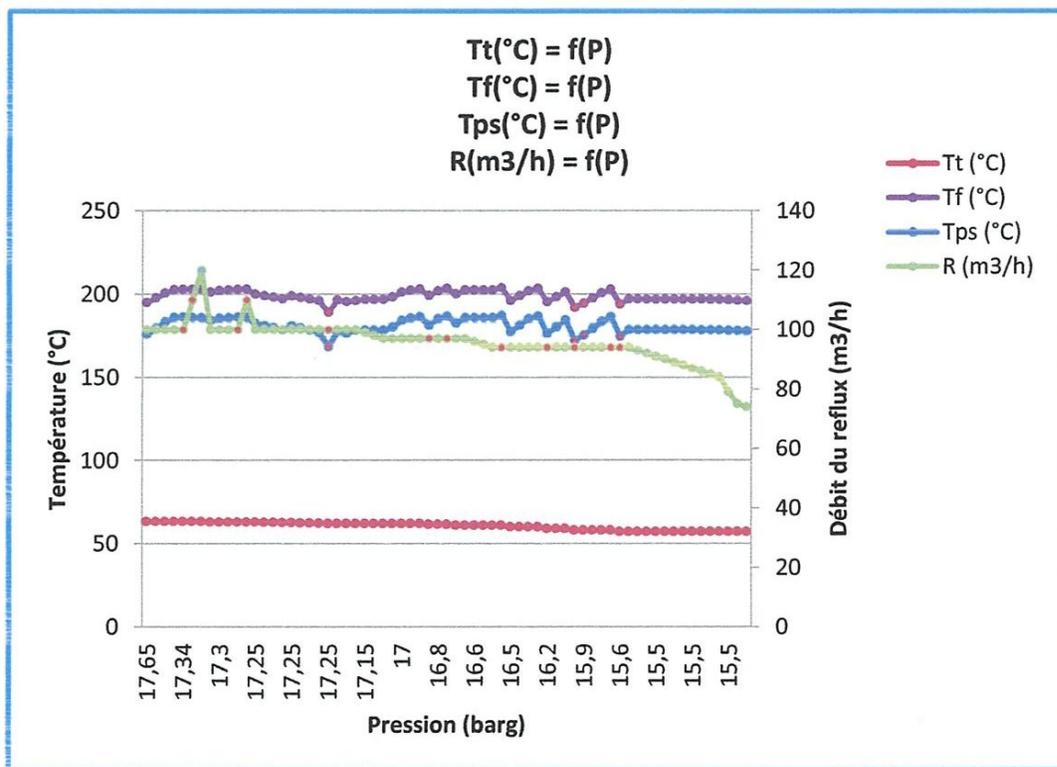
ON : à la spécification OFF : hors la spécification

**Interprétation :**

En théorie, on applique la loi des gaz parfaits ( $PV = nRT$ ).

En pratique, il est reporté qu'il existe une étroite relation entre la température de fond de la colonne du débutaniseur ( $T_f$ ) et la température du plateau sensible ( $T_{ps}$ ) avec la pression en tête de la colonne ( $P$ ) et la température du GPL ( $T_t$ ). Ceci se traduit par une diminution de la pression conduit à une augmentation de la température du plateau sensible et ensuite celle du fond. Aussi, la diminution de la température de tête (du GPL) mène à une diminution de la température du plateau sensible et celle du fond.

Il existe aussi une relation directe entre le débit de reflux ( $R$ ) et la température du plateau sensible et celle du fond. Toute diminution du reflux implique une augmentation de la température du plateau sensible et celle du fond.



**Figure V-3:** Variation de la température en tête, du fond, du plateau sensible et du débit de reflux en fonction de la pression

Au vu des résultats obtenus et montrés ci-dessus dans les tableaux et les graphes, on a constaté que la diminution de la pression de 17,65 à 17,35 barg, avec

une constance dans la valeur de la température du GPL à 63,25°C et celle du reflux à 100 m<sup>3</sup>/h, a entraîné une augmentation de la température du plateau sensible de 175,7 à 185,8 °C et celle du fond de 195 à 202,6 °C. Dans cette lignée, le switch de spécification du GPL s'est changé en mode « OFF » et de ce fait on a essayé d'augmenter progressivement le reflux à la valeur de 120 m<sup>3</sup>/h, où le switch a changé en mode « ON », toutefois la pression n'a pas changé pour autant. De là, nous avons baissé la température du GPL à 63°C ce qui a permis une baisse sensible de la pression jusqu'à la valeur de 17,25 barg. Ceci a entraîné une augmentation de la température du plateau sensible et celle du fond. A ce stade, le switch de spécification du GPL a changé en mode « OFF », et afin d'y remédier nous avons diminué la valeur de la température du GPL à 62,1°C avec maintien du reflux à la valeur de 100 m<sup>3</sup>/h et de la pression à 17,25 barg. Ceci a permis la diminution de la température du plateau sensible et celle du fond. Mais le switch du condensat a changé en mode « OFF », pour cela nous avons essayé de corriger en diminuant, alternativement la pression, la température en tête et le reflux.

Il en ressort de ce qui précède qu'une variation en boucle des valeurs de la pression, du reflux et de la température en tête en fonction de la spécification du GPL et du condensat (mode ON ou OFF) se poursuit avec l'objectif ultime de favoriser la diminution du reflux qui a un effet directe sur l'augmentation de la production du GPL, jusqu'à ce que la pression se stabilise à la valeur de 15,5 barg et la température en tête à 57°C où nous avons remarqué une diminution de la température du plateau sensible et celle du fond à cause de la diminution du reflux à la valeur de 74 m<sup>3</sup>/h.

La procédure de simulation précédente a été arrêtée à ces valeurs limites afin de maintenir les spécifications en mode « ON », puisque le seuil est fixé à 195°C pour la température du fond et 175,7°C pour la température du plateau sensible.

### V-10-3-Variation de la température en tête, du fond et du la spécification de GPL en fonction de la pression :

Tableau V-9: Influence de la pression, la température en tête et du fond sur la spécification de GPL

P (barg)	Tt (°C)	Tf (°C)	C2- (%)	C5+ (%)	spécification	P (barg)	Tt (°C)	Tf (°C)	C2- (%)	C5+ (%)	spécification
17,65	63,25	195	2,23	0,11	ON	16,7	61	200	2,2	0,14	ON
17,55	63,25	197,6	2,21	0,12	ON	16,6	61	202,5	2,18	0,33	ON
17,45	63,25	200,5	2,19	0,14	ON	16,6	61	202,5	2,18	0,33	ON
17,35	63,25	202,6	2,18	0,38	ON	16,6	61	202,5	2,18	0,33	ON
17,34	63,25	202,8	2,18	0,43	OFF	16,6	61	202,4	2,18	0,34	ON
17,34	63,25	202,8	2,18	0,41	OFF	16,5	61	203,7	2,17	0,89	OFF
17,34	63,25	202,9	2,18	0,4	ON	16,5	60	196,1	2,22	0,12	ON
17,34	63	201,2	2,19	0,15	ON	16,4	60	199	2,22	0,14	ON
17,3	63	202,1	2,18	0,22	ON	16,3	60	201,9	2,18	0,22	ON
17,28	63	202,4	2,18	0,31	ON	16,2	60	203,3	2,17	0,71	OFF
17,25	63	202,8	2,18	0,45	OFF	16,2	59	195,3	2,23	0,11	ON
17,25	63	202,9	2,18	0,43	OFF	16,1	59	198,2	2,21	0,12	ON
17,25	62,9	199,9	2,2	0,14	ON	16	59	201,2	2,19	0,16	ON
17,25	62,8	198,9	2,2	0,12	ON	16	58	191,9	2,25	0,09	ON
17,25	62,7	198	2,21	0,11	ON	15,9	58	194,6	2,23	0,1	ON
17,25	62,6	197	2,22	0,11	ON	15,8	58	197,5	2,21	0,11	ON
17,25	62,5	198,8	2,2	0,12	ON	15,7	58	200,6	2,19	0,13	ON
17,25	62,4	197,9	2,21	0,11	ON	15,6	58	202,8	2,18	0,45	OFF
17,25	62,3	196,9	2,22	0,11	ON	15,6	57	194	2,24	0,09	ON
17,25	62,2	196	2,22	0,1	ON	15,5	57	196,9	2,22	0,1	ON
17,25	62,1	189	2,28	0,08	ON	15,5	57	196,9	2,22	0,1	ON

**Tableau V-9: Influence de la pression, la température en tête et du fond sur la spécification de GPL (suite)**

17,2	62,1	196,4	2,22	0,1	ON	15,5	57	195,8	2,22	0,11	ON
17,2	62	195,5	2,23	0,1	ON	15,5	57	196,8	2,22	0,11	ON
17,15	62	196	2,22	0,1	ON	15,5	57	196,8	2,22	0,12	ON
17,15	62	196,8	2,22	0,11	ON	15,5	57	196,8	2,22	0,13	ON
17,15	62	196,8	2,22	0,11	ON	15,5	57	196,7	2,22	0,14	ON
17,15	62	196,8	2,22	0,12	ON	15,5	57	196,7	2,22	0,15	ON
17,1	62	198,2	2,21	0,13	ON	15,5	57	196,7	2,22	0,16	ON
17	62	201,1	2,19	0,16	ON	15,5	57	196,6	2,22	0,17	ON
16,95	62	202,2	2,18	0,27	ON	15,5	57	196,6	2,22	0,19	ON
16,9	62	202,9	2,18	0,52	OFF	15,5	57	196,3	2,22	0,26	ON
16,9	61,5	199,1	2,2	0,14	ON	15,5	57	196	2,22	0,36	ON
16,8	61,5	201,9	2,18	0,21	ON	15,5	57	195,9	2,22	0,4	ON
16,7	61,5	203,3	2,17	0,69	OFF	15,5	57		2,22		ON

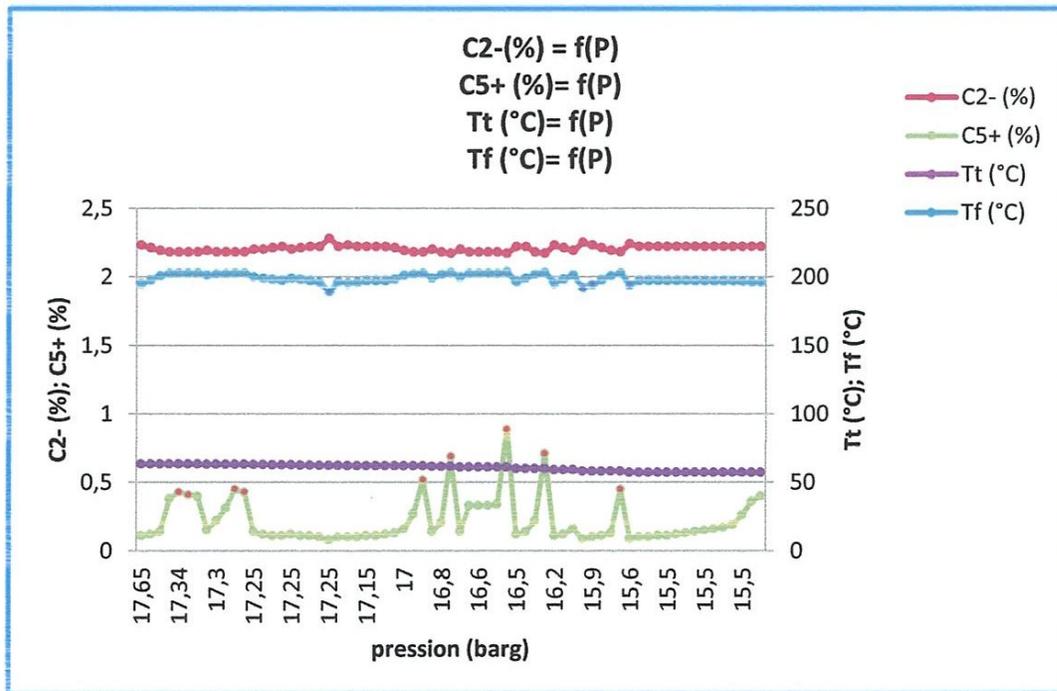
	P (barg) cte		Tf et Tps du condensat hors la spécification
	Tt (°C) cte		Variables décroissantes
	R (m3/h) ct		Produits à la spécification
	Produit hors la spécification		Paramètres changeants
	Changement de valeur d'un paramètre	<b>ON</b>	: à la spécification <b>OFF</b> : hors la spécification

**Interprétation :**

Pour cette deuxième partie de la simulation qui concerne l'influence de la pression sur le pourcentage de C2- et C5+ dans la composition finale du GPL.

D'après les études pratiques, il existe une relation entre la température de tête, la pression et la présence du C2- (en %). Une diminution de la température de tête conduit à une diminution du pourcentage de C2- (% C2-) ainsi que la pression. Cependant ceci n'a pas d'effet sur le reflux. De plus, de toute diminution de la température des entrées en provenance du stabilisateur (alimentation chaude) et du dééthaniseur (alimentation froide) résulte une augmentation du %C2-, sachant que la valeur limite du C2- présent dans le GPL est de 3%.

Le pourcentage présenciel du C5+ (%C5+) dépend de la pression, la température de tête, la température de fond et le reflux. Ceci se traduit par, toute diminution de la pression induit une augmentation du %C5+. Par contre une diminution de la température de tête résulte en une diminution de %C5+. En plus de toute augmentation du reflux conduit à une diminution du %C5+, sachant que la valeur limite du C5+ présent dans le GPL est de 0,4%.



**Figure V-4:** Variation de la température en tête, du fond et du C2- et du C5+ en fonction de la pression

A travers les résultats obtenus et résumés dans le tableau, on constate que les valeurs de %C2- sont assez proches, sans grand écart et variant de 2% et 2,28%. Ceci s'explique par le fait que le contenu du ballon est monophasique et composé entièrement de GPL.

Pour le C5+, en diminuant la pression de 17,65 barg à 17,34 barg, on a constaté une augmentation du %C5+ de 0,11 à 0,43% où le switch du GPL tourne en mode « OFF ». A cette étape, on a essayé d'augmenter le reflux de 100 à 120 où le switch a tourné en mode « ON » et %C5+ a pris la valeur de 0,4%, soit la valeur limite. Une fois ceci fait, on a baissé la température de tête (Tt) jusqu'à 63°C, d'où une diminution du %C5+ à 0,15% avec le maintien de la pression et du reflux à des valeurs constantes de 17,34 barg et 100 m<sup>3</sup>/h, respectivement.

Cette procédure a été poursuivie avec une diminution de la valeur du reflux jusqu'à la constance dans les valeurs de la pression à 15,5 barg et la température de tête à 57°C, on a constaté une augmentation du %C5+ qui atteint la valeur limite de 0,4% à cause de la baisse du reflux à la valeur de 74m<sup>3</sup>/h.

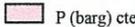
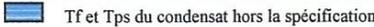
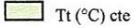
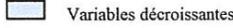
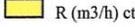
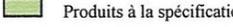
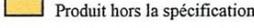
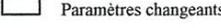
#### **V-10-4-Variation de l'énergie du rebouilleur en fonction de la pression :**

Pour cette troisième partie de la simulation qui concerne l'influence de la pression sur l'énergie du rebouilleur.

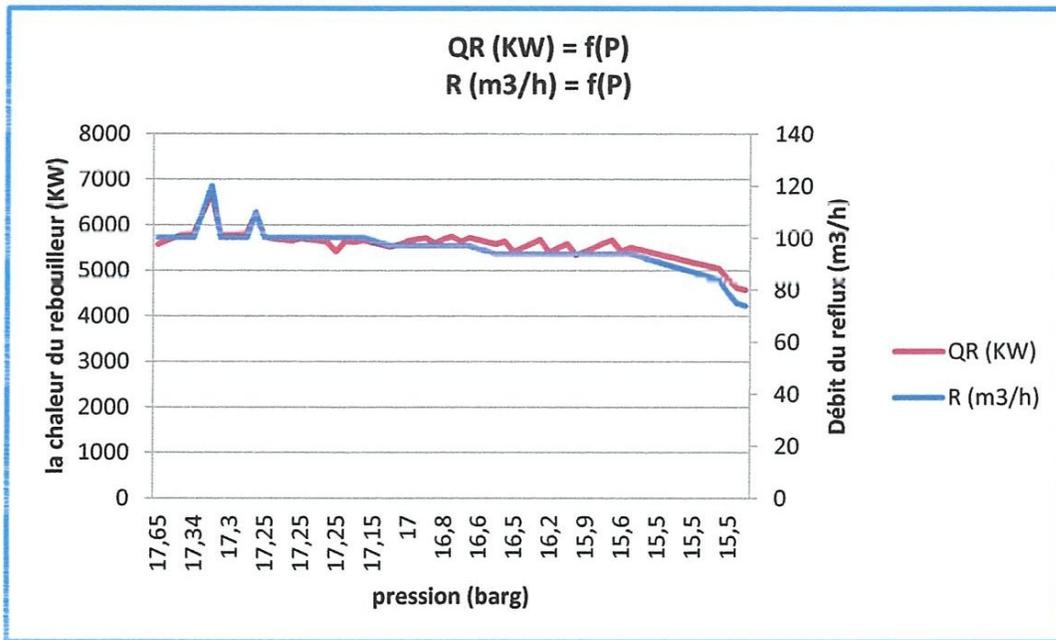
D'après les études pratiques, il existe une relation entre la température de tête, la pression, le reflux et l'énergie du rebouilleur. Il est à noter qu'une diminution de la pression implique une augmentation de l'énergie du rebouilleur. Cependant, une diminution de la température de tête conduit à une diminution de l'énergie du rebouilleur. Pour ce qui est du reflux, toute augmentation de ce dernier conduit à une diminution de l'énergie du rebouilleur.

**Tableau V-10:** Influence de la pression et le débit du reflux sur l'énergie du rebouilleur.

P (barg)	R (m3/h)	QR (KW)	P (barg)	R (m3/h)	QR (KW)
17,65	100	5573	16,7	97	5644
17,55	100	5654	16,6	97	5722
17,45	100	5733	16,6	96	5677
17,35	100	5803	16,6	95	5632
17,34	100	5810	16,6	94	5586
17,34	110	6256	16,5	94	5646
17,34	120	6701	16,5	94	5421
17,34	100	5759	16,4	94	5505
17,3	100	5789	16,3	94	5588
17,28	100	5802	16,2	94	5682
17,25	100	5821	16,2	91	5402
17,25	110	6267	16,1	94	5504
17,25	100	5726	16	94	5590
17,25	100	5699	16	94	5341
17,25	100	5674	15,9	94	5422
17,25	100	5649	15,8	94	5506
17,25	100	5705	15,7	94	5594
17,25	100	5679	15,6	94	5669
17,25	100	5654	15,6	94	5425
17,25	100	5629	15,5	94	5511
17,25	100	5416	15,5	93	5464
17,2	100	5644	15,5	92	5418
17,2	100	5620	15,5	91	5372
17,15	100	5661	15,5	90	5325
17,15	99	5616	15,5	89	5279
17,15	98	5571	15,5	88	5232
17,15	97	5526	15,5	87	5185
17,1	97	5567	15,5	86	5139
17	97	5650	15,5	85	5092
16,95	97	5688	15,5	84	5045
16,9	97	5719	15,5	79	4811
16,9	97	5605	15,5	75	4621
16,8	97	5688	15,5	74	4573
16,7	97	5750			

 P (barg) etc	 Tf et Tps du condensat hors la spécification
 Tt (°C) etc	 Variables décroissantes
 R (m3/h) ct	 Produits à la spécification
 Produit hors la spécification	 Paramètres changeants
 Changement de valeur d'un paramètre	<b>ON</b> : à la spécification <b>OFF</b> : hors la spécification

En examinant les résultats de la simulation qui sont présentés dans le tableau ci-dessus, on constate qu'en baissant la pression de 17,65 barg à 17,34 barg l'énergie du rebouilleur a augmenté de 5573 kW à 5810 kW, où pour cette valeur le switch de la spécification du GPL a changée en mode « OFF ». Afin de corriger ceci, Nous avons augmenté le reflux à la valeur de 120 m<sup>3</sup>/h, il ya alors eu augmentation de l'énergie du rebouilleur à la valeur de 6701 kW.



**Figure V-5:** Variation de l'énergie du rebouilleur et du débit de reflux en fonction de la pression.

Par contre quand nous avons baissé la température de tête à 63°C, nous avons constaté une diminution de la quantité d'énergie du rebouilleur. Ensuite nous avons baissé la pression jusqu'à 17,25 barg, ce qui a induit une augmentation de l'énergie du rebouilleur à la valeur de 6267 kW et changé le switch encore une fois en mode « OFF ». Afin d'y remédier nous eu recours à une diminution de la température de tête à 62,1°C tout en maintenant la pression à 17,25 barg et le reflux à 100m<sup>3</sup>/h. Nous avons alors constaté une diminution de la quantité d'énergie du rebouilleur.

Cette procédure a été poursuivie avec une diminution de la valeur du reflux jusqu'à la constance dans les valeurs de la pression à 15,5 barg et la température de tête à 57°C, on a constaté une diminution de la valeur de l'énergie du rebouilleur qui a atteint 4573kW à cause de la baisse du reflux à la valeur de 74m<sup>3</sup>/h.

### **V-10-5-Variation de la quantité de GPL dans le condensât quantifiée (TVR) en fonction de la pression :**

Pour cette partie de la simulation qui concerne l'influence de la pression sur la quantité de GPL dans le condensât quantifiée (TVR).

D'après les études pratiques, il existe une relation entre TVR, la température de tête, la pression et le reflux. Il est à noter qu'une diminution de la pression implique une diminution de TVR. Cependant, une diminution de la température de tête conduit à une augmentation de TVR. Pour ce qui est du reflux, toute diminution de ce dernier conduit à une diminution de TVR, sachant que la valeur de TVR ne dépasse pas 10 psig.

En examinant les résultats de la simulation qui sont présentés dans le tableau ci-dessous, nous constatons qu'en baissant la pression de 17,65 barg à 17,34 barg la valeur de TVR a baissé de 9,874 psig à 7,706 psig. A ce stade le switch du GPL a changé en mode « OFF », de là, et afin de le corriger, nous avons augmenté le reflux jusqu'à 120 m<sup>3</sup>/h, où nous avons constaté une diminution de TVR à 7,669 psig. Suite à ceci nous avons baissé la température de tête à 63°C qui a donné une augmentation de TVR. Ensuite nous avons procédé à la diminution de la pression de 17,34 barg à 17,25 barg qui a conduit à une baisse de la TVR tout en gardant les valeurs du reflux et de la température de tête constantes à 100 m<sup>3</sup>/h et 63 °C. Le switch du GPL a tourné en mode « OFF » ce qui nous a conduits à augmenter le reflux à 110 m<sup>3</sup>/h sans résultat puisque le GPL est resté en mode « OFF ». A ce moment, nous avons baissé la température de tête progressivement de 63°C ce qui changé le mode en « ON » pour le GPL. A la température de 62,1°C, le switch du condensât a changé, à son tour en mode « OFF » avec une augmentation de TVR avec un maintien du reflux à 100 m<sup>3</sup>/h et la pression à 17,25 barg.

**Tableau V-11:** Influence de la pression et le débit du reflux sur la quantité de GPL dans le condensât quantifiée (TVR).

P (barg)	Tt (°C)	R (m3/h)	TVR (psig)	spécification	P (barg)	Tt (°C)	R (m3/h)	TVR (psig)	spécification
17,65	63,25	100	9,874	ON	16,7	61	37	8,421	ON
17,55	63,25	100	9,127	ON	16,6	61	37	7,76	ON
17,45	63,25	100	8,303	ON	16,6	61	36	7,766	ON
17,35	63,25	100	7,73	ON	16,6	61	35	7,771	ON
17,34	63,25	100	7,706	ON	16,6	61	34	7,777	ON
17,34	63,25	110	7,682	ON	16,5	61	34	7,541	ON
17,34	63,25	120	7,669	ON	16,5	60	34	9,55	ON
17,34	63	100	8,108	ON	16,4	60	34	8,717	ON
17,3	63	100	7,85	ON	16,3	60	34	7,905	ON
17,28	63	100	7,773	ON	16,2	60	34	7,598	ON
17,25	63	100	7,695	ON	16,2	59	34	9,79	ON
17,25	63	110	7,672	ON	16,1	59	34	8,951	ON
17,25	62,9	100	8,463	ON	16	59	34	8,086	ON
17,25	62,8	100	8,738	ON	16	58	34	10,8	OFF
17,25	62,7	100	9,016	ON	15,9	58	34	10	ON
17,25	62,6	100	9,29	ON	15,8	58	34	9,152	ON
17,25	62,5	100	8,761	ON	15,7	58	34	8,264	ON
17,25	62,4	100	9,034	ON	15,6	58	34	7,693	ON
17,25	62,3	100	9,312	ON	15,6	57	34	10,17	OFF
17,25	62,2	100	9,579	ON	15,5	57	34	9,32	ON
17,25	62,1	100	11,66	OFF	15,5	57	33	9,327	ON
17,2	62,1	100	9,456	ON	15,5	57	32	9,334	ON
17,2	62	100	9,728	ON	15,5	57	31	9,342	ON

**Tableau V-11:** Influence de la pression et le débit du reflux sur la quantité de GPL dans le condensat quantifiée (TVR). (suite)

17,15	62	100	9,333	ON	15,5	57	90	9,351	ON
17,15	62	99	9,338	ON	15,5	57	89	9,36	ON
17,15	62	98	9,345	ON	15,5	57	88	9,371	ON
17,15	62	97	9,351	ON	15,5	57	87	9,382	ON
17,1	62	97	8,952	ON	15,5	57	86	9,394	ON
17	62	97	8,133	ON	15,5	57	85	9,409	ON
16,95	62	97	7,819	ON	15,5	57	84	9,422	ON
16,9	62	97	7,676	ON	15,5	57	79	9,52	ON
16,9	61,5	97	8,694	ON	15,5	57	75	9,637	ON
16,8	61,5	97	7,905	ON	15,5	57	74	9,675	ON
16,7	61,5	97	7,605	ON					

	P (barg) cte		Tf et Tps du condensat hors la spécification
	Tt (°C) cte		Variables décroissantes
	R (m3/h) ct		Produits à la spécification
	Produit hors la spécification		Paramètres changeants
	Changement de valeur d'un paramètre		ON : à la spécification <b>OFF</b> : hors la spécification

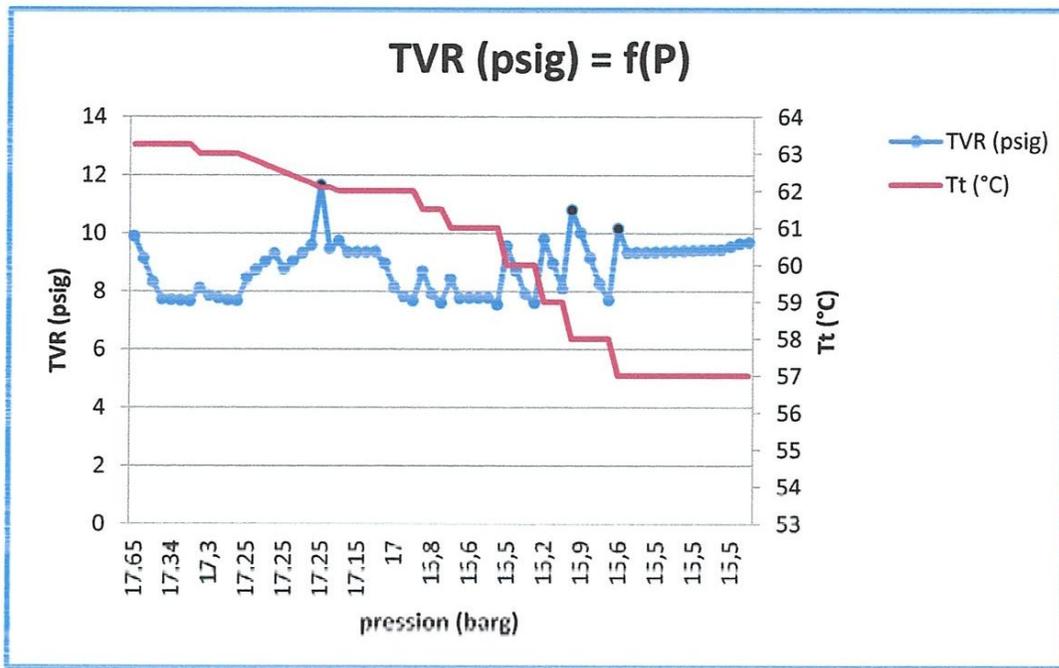


Figure V-6-a: Variation de la TVR et de la température en tête en fonction de la pression

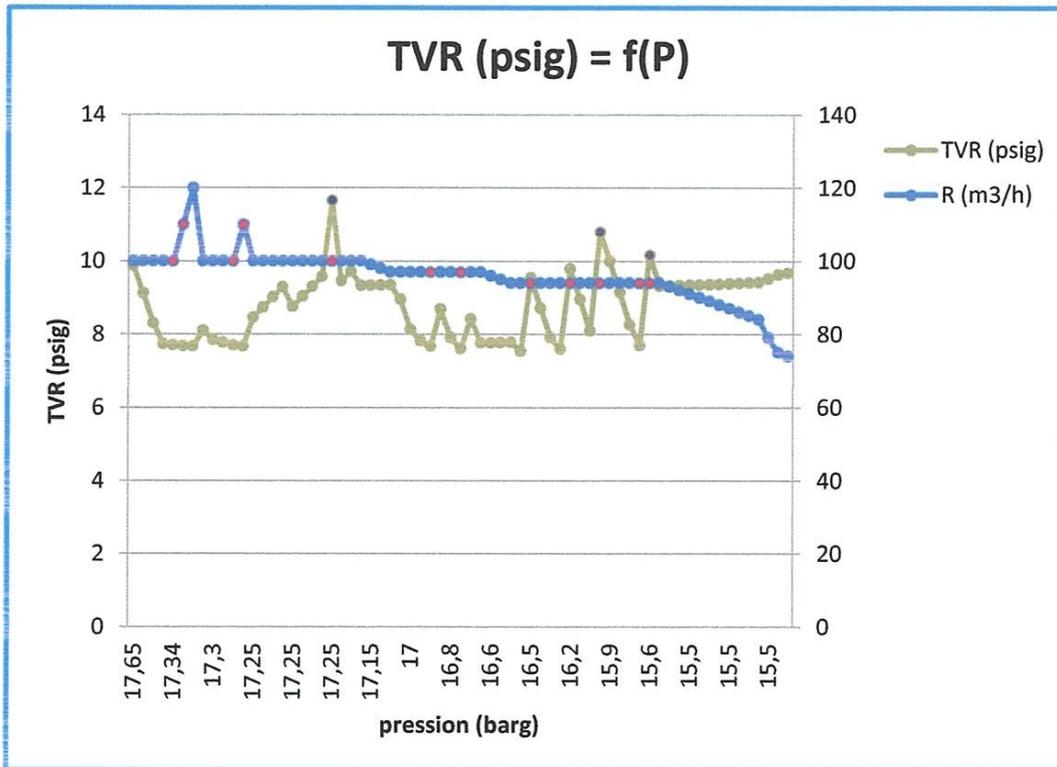


Figure V-6-b: Variation de la TVR et du débit de reflux en fonction de la pression

Cette procédure a été poursuivie avec une augmentation de la valeur de TVR jusqu'à la constance dans les valeurs de la pression à 15,5 barg et la température de tête à 57°C, nous avons constaté une diminution de la valeur de TVR qui a atteint 9,675 psi à cause de la baisse du reflux à la valeur de 74m<sup>3</sup>/h.

#### V-10-6-Variation du taux de reflux en fonction de la pression :

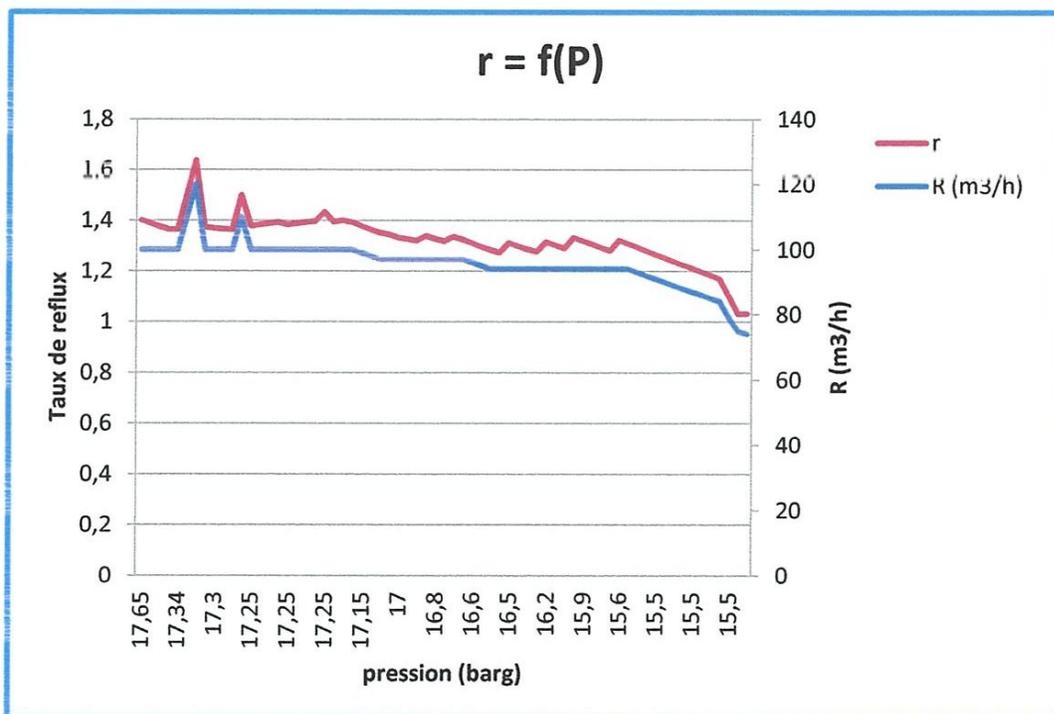


Figure V-7: Variation du taux de reflux en fonction de la pression

#### Interprétation :

Le taux de reflux étant le rapport du reflux au distillat ( $r = R/D$ ), toute variation (diminution ou augmentation) du reflux implique une variation relative du taux de reflux puisque la production (distillat) est supposée constante (80 m<sup>3</sup>/h).

*Conclusion et  
recommandations*

## **Conclusion et recommandations :**

Les travaux réalisés pendant cette étude qui consistait à optimiser les paramètres de fonctionnement de la colonne débutaniseur au niveau du complexe GTFT (à savoir la production du GPL et condensat) ont donné des résultats qui peuvent être jugés satisfaisants en termes d'économie (l'énergie consommée au niveau du rebouilleur et celle du condenseur).

L'étude s'est basée sur la simulation de la colonne par le logiciel **HYSYS version 8.8** en tenant compte des dimensions et caractéristiques de la colonne T6-1501/2501 en utilisant l'équation d'état de Peng-Robinson.

L'objectif de la simulation était de faire baisser la pression de tête de la colonne débutaniseur et observer le changement sur la température du GPL et son reflux. On devait respecter les conditions et les limites du fonctionnement de la colonne (cas dégradé) ce qui a permis de cerner les valeurs optimales pour obtenir des produits (GPL et Condensât) conformément aux spécifications commerciales tout en évitant l'encrassement de la colonne.

En examinant les résultats, on a pu constater que :

- la loi des gaz parfaits est respectée ;
- la diminution de la pression en tête de la colonne débutaniseur influe sur les autres paramètres de la simulation ; c-à-dire : quand on a diminué cette pression avec la température du GPL et le débit du reflux. On remarque la diminution de la température de fond, du plateau sensible et de l'énergie du rebouilleur (qui est proportionnelle à l'énergie du condenseur). En d'autres termes, un gain d'énergie se traduit par un gain d'argent.
- un gain d'énergie signifie une longue durée de vie du rebouilleur et aussi du condenseur.

L'unité des traitements du gaz présente un problème de refroidissement du GPL en été lorsque la température du climat augmente, et pour le résoudre on propose l'ajout des aéroréfrigérants dans l'installation pour éviter la vaporisation du GPL (ou bien pour éviter les dangers du stockage du GPL).

## *références bibliographiques*

## Références bibliographiques

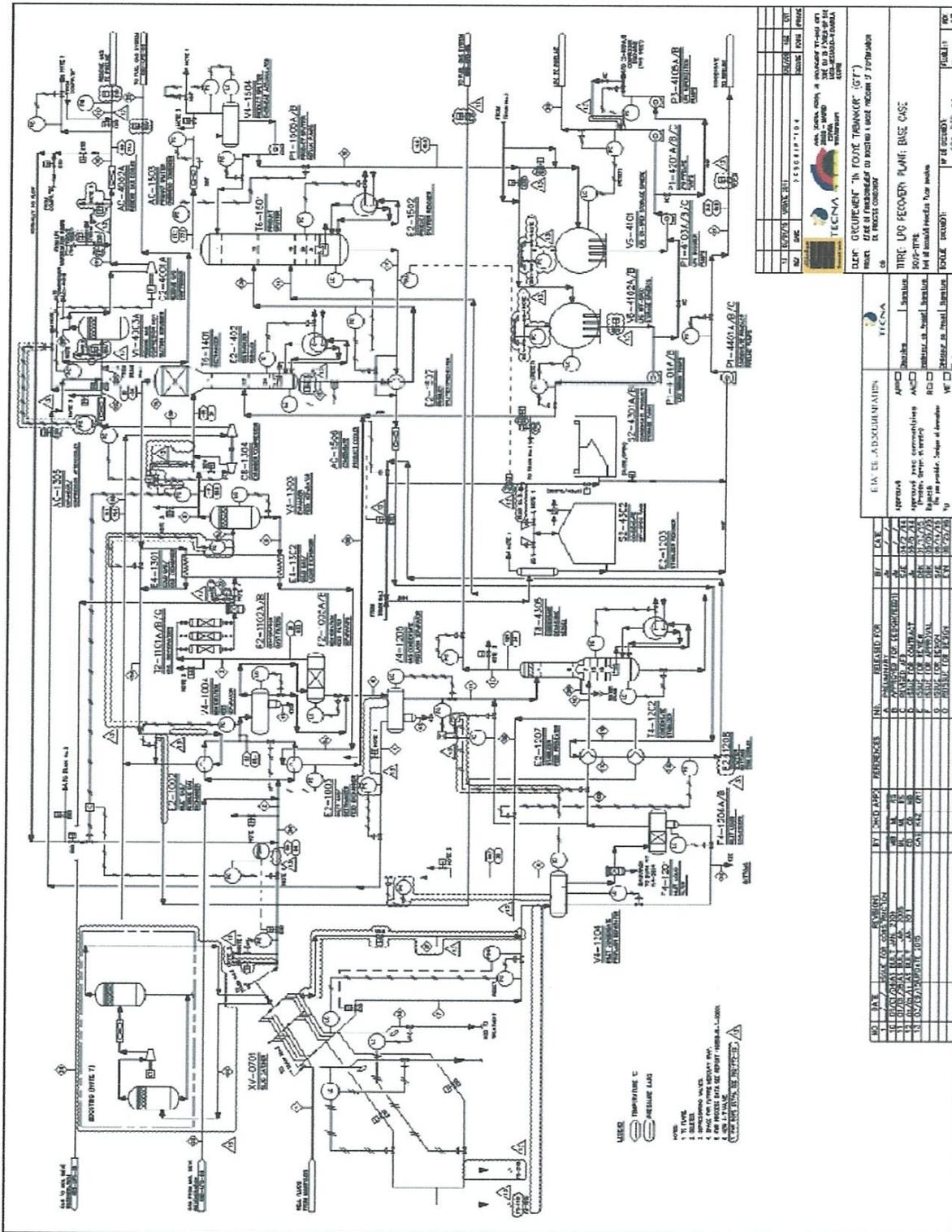
- [1] Manuel opératoire d'exploitation usine GTFT.
- [2] Rapport CIA world Factbook – version de janvier 1, 2014 :  
<https://www.indexmundi.com/map/?v=136&l=fr>
- [3] **G. SARLOS, P.A. HALDI, P. VERSTRAETE.** Système énergétiques offre et demande d'énergie : méthodes d'analyse, TGC vol. 21. 1<sup>ère</sup> édition 2003.
- [4] **A. POJEY, B. DURAND, C. JAFFRET, S. JULLIAN, M. VALLAIS.** Le gaz naturel production traitement transport. pp. 253-310. Editions Technip, Paris 1994.
- [5] Comité français du butane et du propane : <http://www.cfbp.fr>.
- [6] **G. MONNOT, A. FEUGIER, F. LE BOUC, F. MAUSS, C. MEYER, E. PERTHUIS, & G. de SOETE.** La combustion dans les fours et les chaudières. xi + 292 pp. Editions Technip Paris, 270 French F.
- [7] <http://fr.exceptionalenergy.com>.
- [8] Journal « El Watan », 4 décembre 2011.
- [9] **J.P. FAVENNEC.** Le raffinage du pétrole, exploitation et gestion de la raffinerie, Vol 5. Editions Technip.
- [10] Résumé des journées scientifiques et techniques de SONATRACH, Alger, Avril 1998.
- [11] Bilan énergétique national. Revue Algérie Énergie, de l'année 2016 Edition 2017.
- [12] **J.P. WAUQUIER.** Le raffinage du pétrole, Procédés de séparation, vol.2. Editions Technip.
- [13] **P. WUITHIER.** Le pétrole raffinage et génie chimique, Tome 1. 2<sup>ème</sup> édition, publications de l'institut français du pétrole. Editions Technip, Paris 1972.
- [14] Manuel de formation total, les équipements.
- [15] **N. REBAI.** Initiation au simulateur HYSYS (IAP).

# *Annexes*

**SONATRACH  
GAS FIELD DEVELOPMENT PROJECT**

<b>SPLITTER</b>	<b>ELEMENT: T6 - 2501</b>
No de Fabrication <b>331502 - 22/SIMAS SER.: 4273</b>	Volume <b>207.6 m<sup>3</sup></b>
Fluide <b>GAZ D'HYDROCARBURES</b>	Poids á Vide <b>91660 Kg</b>
Code de calcul utilisé <b>ASME VIII DIV. 1 ED 95</b>	Surépaisseur Corr. <b>3 mm</b>
Traitement Thermique <b>NON</b>	Radiographie <b>TOTALE</b>
Press. Max. Service <b>17.3 Bar. G</b>	Temp. max. Service <b>210 °C</b>
Press. de Calcul <b>21 Bar. G</b>	Temp. de Calcul <b>240°C / -5°C</b>
Press. Epreuve Hydro. <b>31.5 Bar. G</b>	Date-essai <b>21/12/97</b>
Poss. <b>SONATRACH</b>	
Contr. <b>BROWN AND ROOT</b>	<b>JOB No BF-4749</b>
MFR. <b>SIMAS S.P.A.</b>	

Annexe A : la plaque signalétique de la colonne débutaniseur



Annexe B : drawing & data sheet (LPG RECOVERY PLANT: BASE CASE)

NO	DATE	REVISION	BY	REASON FOR	REV	DATE
1	10/07/03	1	TECNA	INITIAL DESIGN	1	10/07/03
2	10/07/03	2	TECNA	REVISION	2	10/07/03
3	10/07/03	3	TECNA	REVISION	3	10/07/03
4	10/07/03	4	TECNA	REVISION	4	10/07/03
5	10/07/03	5	TECNA	REVISION	5	10/07/03
6	10/07/03	6	TECNA	REVISION	6	10/07/03
7	10/07/03	7	TECNA	REVISION	7	10/07/03
8	10/07/03	8	TECNA	REVISION	8	10/07/03
9	10/07/03	9	TECNA	REVISION	9	10/07/03
10	10/07/03	10	TECNA	REVISION	10	10/07/03

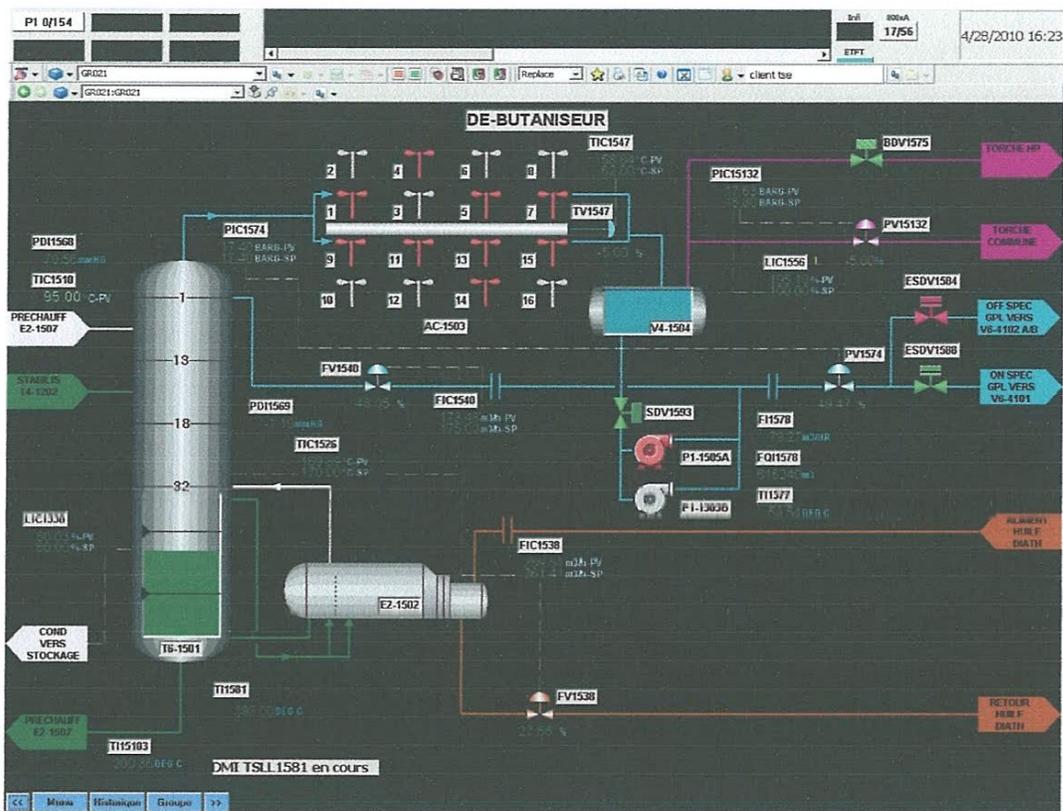
CLIENT: "IN FOTTE TRINOR" (GT)  
 PROJECT: "LPG RECOVERY PLANT: BASE CASE"  
 SCALE: 1:1000  
 SHEET: 1/12

APPROVAZIONE TECNICA	EIA E/LE ADDEQUATE TECNICA
-------------------------	-------------------------------

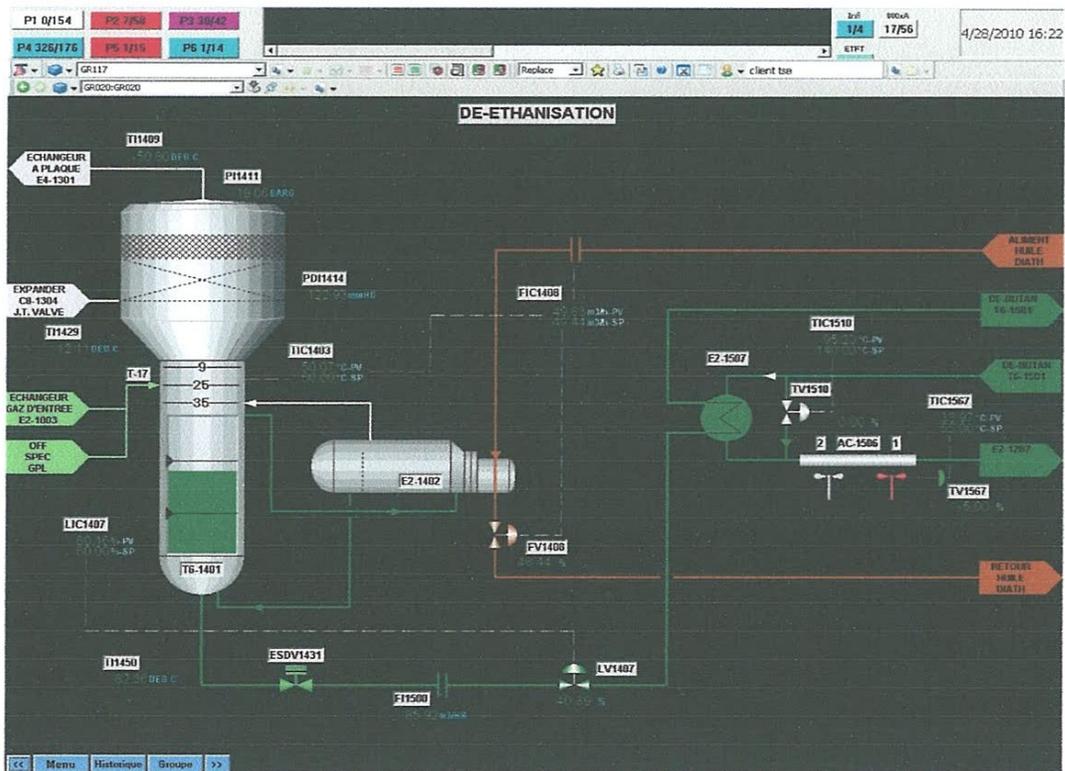
APPROVAZIONE TECNICA	EIA E/LE ADDEQUATE TECNICA
-------------------------	-------------------------------

APPROVAZIONE TECNICA	EIA E/LE ADDEQUATE TECNICA
-------------------------	-------------------------------

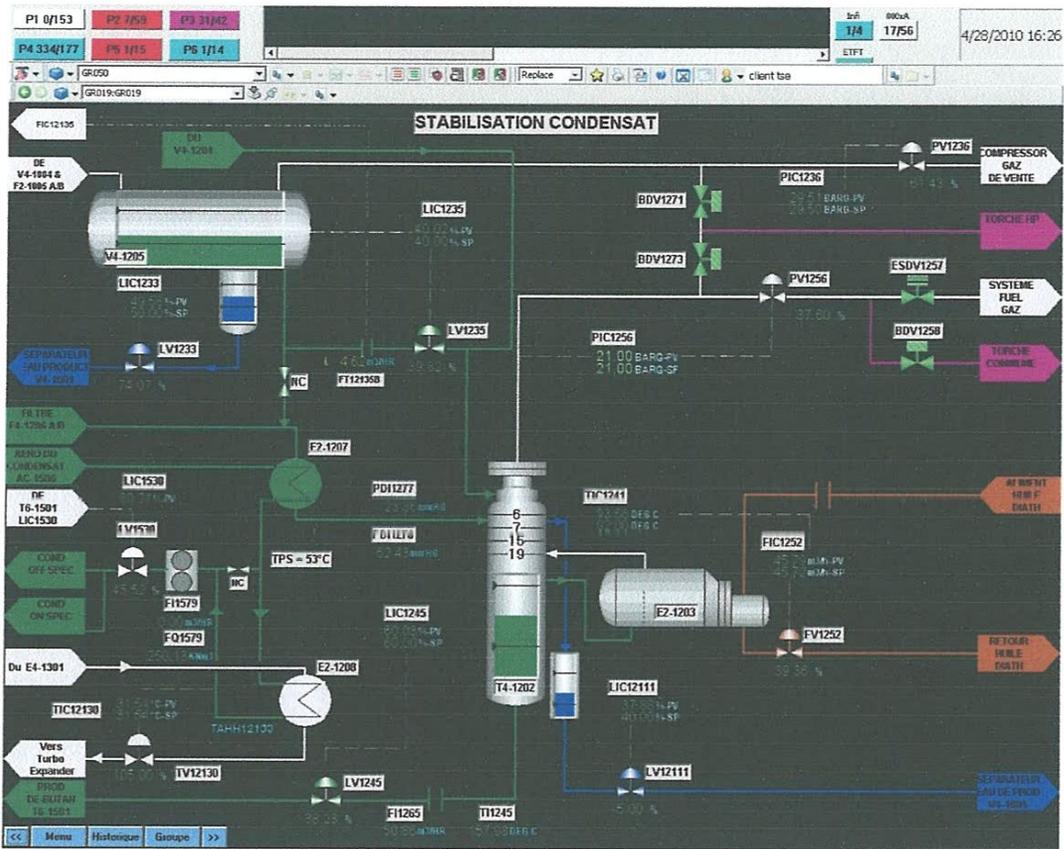




Annexe D-1 : Page graphique DCS GTFT (débutaniseur)



Annexe D-2 : Page graphique DCS GTFT (déethaniseur)



Annexe D3 : Page graphique DCS GTFT (stabiliseur)

## **Annexes E : Paramètre de l'unité de traitement des gaz annuaires (2015 et 2016)**

### **Paramètre de l'unité de traitement Année 2016**

Débit de gaz brut 14848.41 KN m<sup>3</sup> /jour.

Débit de gaz sec 13537.94 KN m<sup>3</sup> /jour.

Débit de gaz d'expédition 13002.41 KN m<sup>3</sup> /jour.

Débit GPL produit 2005.74 Tonnes /jour.

Débit condensât produit 1465.32 Tonnes /jour.

Richesse en GPL par rapport au gaz sec 148 gr/N m<sup>3</sup>.

Richesse en condensât par rapport au gaz sec 108 gr/N m<sup>3</sup>

### **Paramètre de l'unité de traitement Année 2015**

Débit de gaz brut 16518.10 KN m<sup>3</sup> /jour.

Débit de gaz sec 15092.80 KN m<sup>3</sup> /jour.

Débit de gaz d'expédition 14546.76 KN m<sup>3</sup> /jour.

Débit GPL produit 2152.002 Tonnes /jour.

Débit condensât produit 1636.097 Tonnes /jour.

Richesse en GPL par rapport au gaz sec 143 gr/N m<sup>3</sup>.

Richesse en condensât par rapport au gaz sec 108 gr/N m<sup>3</sup>