

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*

Laboratoire de Matériaux,  
Technologie des Systèmes  
Énergétiques et Environnement

*Université de Ghardaïa*



Faculté des Sciences et Technologies  
Département de Génie des Procédés



**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

## **MASTER**

**Domaine :** *Sciences et Technologies*

**Filière:** *Génie des Procédés*

**Spécialité:** *Génie Chimique*

**Par:** Oussama GUERBOUZ & Azzeddine DAHMA

## **Thème**

Vérification et rationalisation des paramètres opératoires  
actuels et leur influence sur l'efficacité du  
**DEETHANISEUR**

**Soutenu publiquement le 27/06/2019**

**Devant le jury:**

<b>Farid TOUAITI</b>	MCB	Univ. Ghardaïa	<b>Président</b>
<b>Dina BOUSDIRA</b>	MAA	Univ. Ghardaïa	<b>Examineur</b>
<b>Salah Eddine BEN CHEIKH</b>	MAB	Univ. Ghardaïa	<b>Examineur</b>
<b>Abderrahmane BELLAOUAR</b>	MCA	Univ. Ghardaïa	<b>Encadreur</b>

**Année universitaire 2018/2019**

N° d'ordre :  
N° de série :

# REMERCIEMENTS

*En premier lieu, nous tenons à remercier DIEU, notre créateur  
qui nous à aider à accomplir ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à*

*M<sup>rs</sup> : Abderrahmane BELLAOUAR*

*Respectivement notre encadreur, pour ses orientations et ses précieux  
conseils*

*Nous voudrions aussi exprimer toute notre gratitude et nos  
remerciements aux*

*Personnels de SONATRACH surtout M<sup>r</sup>: BOUDRAF, M<sup>r</sup>: KOUIDER*

*Pour nous avoir consacré le temps nécessaire pour effectuer ce  
travail.*

*M<sup>r</sup>: HABBI, qui nous a aidé et soutenu*

*M<sup>r</sup>: GUERBOUZ et notre très chère amie LOUISE*

# *DÉDICACE*

Dieu merci

C'est avec une grande joie que nous dédions cette thèse:

A nos chers parents, pour leur soutien moral et matériel  
durant nos études, que dieu les protège.

A nos frères: Kamel, Taher, Abd hak, Nourdine, Mouad,  
Alla, Abd Djalil.

A nos amis : Charaf Eddine, Nacer , Haroun , Sofian ,  
Mouad, Abd Fatah .

Et enfin à toute la famille et les amis qui nous ont  
encouragé et soutenu, nous leurs dédions ce modeste  
travail avec beaucoup de gratitude, en leur souhaitons  
une longue et heureuse vie.

## **Résumé :**

Le centre de production d'OUED NOUMER a subi un changement conséquent des paramètres d'entrée dans le train dû à l'évolution du gisement dans le temps et qui a eu pour conséquence une chute considérable dans la production.

L'objectif de cette étude est d'optimiser les paramètres de fonctionnement de la colonne DEETHANISEUR afin de maximiser les produits finaux qui répondent aux spécifications de vente, pour cela nous avons eu recours au logiciel de simulation ASPEN HYSYS.

Nous avons vérifié le modèle thermodynamique grâce au cas design, puis faire la simulation du cas réel pour pouvoir estimer les pertes et enfin, nous avons réalisé l'optimisation de la colonne afin de maximiser la récupération.

Cette étude a permis d'augmenter et améliorer la qualité de production de GPL de manière significative.

**Mots Clés:** Paramètres de fonctionnement, Optimiser, Colonne DEETHANISEUR, Simulation, GPL.

## **Abstract:**

The OUED OUMER production center underwent a significant change in the input parameters in the train due to the evolution of the deposit over time, which resulted in a considerable fall in production.

The objective of this study is to optimize the operating parameters of the DEETHANIZER column in order to maximize the final products so it can be compatible with the sales specifications, and this is why we used ASPEN HYSYS simulation software.

We checked the thermodynamic model with the design case, then we did the simulation of the actual case in order to be able to estimate the decrease, and we finally find out the new settings we should use to operate column in order to maximize the production.

This study helped significantly to increase and improve the quality of LPG production.

**Key words:** Operating parameters, Optimize, Simulation, DEETHANIZER column, LPG.

## ملخص :

شهد مركز انتاج واد نومر تغيرا كبيرا في اعدادات تشغيل المحطة وهذا راجع الى تغير مكونات الابار مع مرور الوقت وهذا ما ادى الى انخفاض ملحوظ في كمية الانتاج .

الهدف من هذه الدراسة هو تحسين اعدادات تشغيل برج التقطير DEETHANISEUR من اجل استرجاع اكبر كمية ممكنة من المنتجات النهائية والتي تتوافق مع شروط البيع .

ولهذا قمنا باستخدام برنامج المحاكاة ASPEN HYSYS .

لقد قمنا بالتحقق من نموذج الديناميكية الحرارية وذلك بفضل بيانات التصميم الاولي ثم قمنا بمحاكاة للوضع الحالي لتقدير فرق التغير و تحديد نسبة تراجع المنتجات حتى نستطيع تحديد اعدادات الضبط الجديدة.

ونتيجة لهذه الدراسة تمكنا من زيادة معتبرة في انتاج غاز البترول المميع.

**الكلمات المفتاحية:** اعدادات تشغيل ، تحسين ، المحاكاة، برج التقطير DEETHANISEUR ، غاز البترول المميع.

## Liste des Tableaux

<b>Tab .I.1:</b>	Production et consommation mondiales du Gaz Naturel en billion m <sup>3</sup> en 2015..	5
<b>Tab.I.2:</b>	Les compositions molaires du GPL.....	7
<b>Tab.II.1:</b>	Jeu de vanne S 12-02.....	27
<b>Tab.II.2:</b>	Paramètre de compresseur 20-K-01.....	28
<b>Tab.II.3:</b>	Paramètre de compresseur 30-K- 01.....	29
<b>Tab.II.4:</b>	Paramètres des colonnes (40C01+40C02).....	32
<b>Tab.IV.1:</b>	Les domaines d’application des modèles thermodynamiques.....	52
<b>Tab.IV.2:</b>	Paramètres DESING d’exploitation de la colonne 40C01.....	54
<b>Tab.IV.3:</b>	Paramètres de sortie des ballons 20B08/06 et 20B07.....	55
<b>Tab.IV.4:</b>	Données sur les charges froides et chaudes de la colonne 40C01.....	55
<b>Tab.IV.5:</b>	Paramètres de tête et fond de la colonne 40C01.....	56
<b>Tab.IV.6:</b>	Composition de tête et fond de la colonne 40C01.....	56
<b>Tab.IV.7:</b>	Paramètres actuelles des charges d’alimentation sortie des 20B08/06 et 20B07	59
<b>Tab.IV.8:</b>	Composition molaires des alimentations du DEETHANISEUR.....	59
<b>Tab.IV.9:</b>	Comparaison entre les paramètres actuels et actuels simulés de la colonne 40C01.....	60
<b>Tab.IV.10:</b>	Comparaison entre les compositions molaires actuelles et actuelles simulés....	61
<b>Tab.IV.11:</b>	Teneur de C2- dans le résidu.....	64
<b>Tab.IV.12:</b>	Teneur de C3+dans le distillat.....	65
<b>Tab.IV.13:</b>	Emplacement d’injection de la charge froid.....	66
<b>Tab.IV.14:</b>	Paramètres Optimum.....	66
<b>Tab.IV.15:</b>	Quantité et qualité de produits obtenus actuellement et après optimisation...	67

## LISTE DES FIGURES

<b>Fig.I.1:</b>	Distribution des réservations prouvées en 2015 en pourcentage.....	4
<b>Fig.I.2:</b>	Evolution de la production mondiale du GPL en (2010-2017).....	12
<b>Fig.I.3:</b>	Consommation mondiale du GPL par secteur.....	12
<b>Fig.I.4:</b>	La production de GPL par champs /source.....	13
<b>Fig.I.5:</b>	Profil de consommation des GPL du marché nationale par secteur.....	14
<b>Fig.I.6:</b>	Consommation national de GPL par secteur.....	14
<b>Fig.I.7 :</b>	Stockage de GPL.....	17
<b>Fig.II.1:</b>	Situation on géographique d'Oued-Noumer.....	18
<b>Fig.II.2:</b>	Séparateur MP (20B03).....	22
<b>Fig.II.3:</b>	Schéma de l'unité de traitement et séparation.....	23
<b>Fig.II.4:</b>	Photo réel d'Unité 20 (traitement de brut et gaz).....	23
<b>Fig.II.5:</b>	Schéma de l'unité d'extraction du GPL.....	25
<b>Fig.II.6:</b>	Schéma le Premier refroidissement du gaz.....	26
<b>Fig.II.7:</b>	Schéma de la déshydratation.....	26
<b>Fig.II.8:</b>	Schéma de la boucle de régénération.....	27
<b>Fig.II.9:</b>	Schéma du refroidissement par condensation.....	28
<b>Fig.II.10:</b>	Schéma du Turbo-Expender 20-KE-01.....	29
<b>Fig.II.11:</b>	Schéma de la Re-compression du gaz.....	29
<b>Fig.II.12:</b>	Schéma sur le fractionnement du GPL.....	32
<b>Fig.II.13:</b>	Schéma de stockages.....	33
<b>Fig.II.14:</b>	Schéma de circulation huile chaude.....	34
<b>Fig.II.15:</b>	Schéma de l'injection du méthanol.....	34
<b>Fig.II.16:</b>	Schéma de l'unité Air instrument, air service et gaz inerte.....	35
<b>Fig.III.1:</b>	Les différentes zones de la colonne de rectification.....	38
<b>Fig.III.2:</b>	Le condenseur.....	39
<b>Fig.III.3:</b>	Le rebouilleur.....	39
<b>Fig.III.4:</b>	Colonnes à plateaux.....	40
<b>Fig.III.5:</b>	Les différents types de plateaux.....	40
<b>Fig.III.6:</b>	Les différents types de garnissage utilisés.....	41
<b>Fig.III.7:</b>	Schéma général du fonctionnement d'une colonne de rectification.....	42
<b>Fig. IV.1:</b>	Modèle de simulation de la colonne du DEETHANISEUR.....	54

---

<b>Fig.IV.2:</b>	Corrélation entre la composition molaire du gaz sec donné par le DESIGN et trouvé par simulation selon l'équation PR.....	57
<b>Fig.IV.3:</b>	Corrélation entre la composition molaire du gaz sec donné par le DESIGN et trouvé par simulation selon l'équation SRK.....	57
<b>Fig.IV.4:</b>	Image de la section de DEETHANISEUR par système numérique (DCS)..	58
<b>Fig.IV.5:</b>	Evolution de la température en fonction des plateaux.....	62
<b>Fig.IV.6:</b>	Evolution de la pression en fonction des plateaux.....	62
<b>Fig.IV.7:</b>	Evolution de la composition de la clé légère et lourde en phase vapeur en fonction des plateaux.....	63
<b>Fig.IV.8:</b>	Evolution de la teneur en éthane dans le résidu de la colonne DEETHANISEUR en fonction de la température de charge froide.....	64
<b>Fig.IV.9:</b>	Evolution de la teneur en propane dans le distillat de la colonne DEETHANISEUR en fonction de la température de charge froide.....	65



## NOMENCLATURE

<b>GN :</b>	Gaz naturel	
<b>GNL :</b>	Gaz naturel liquéfié	
<b>GPL :</b>	Gaz de pétrole liquéfié	
<b>TVR :</b>	Tension de vapeur Reid	
<b>HP :</b>	Haute pression	
<b>BP :</b>	Basse pression	
<b>MP :</b>	Moyenne pression	
<b>PCI:</b>	Pouvoir calorifique inférieur	
<b>PCS:</b>	Pouvoir calorifique supérieur	
<b>PC:</b>	Pouvoir calorifique	
<b>PR:</b>	PENG ROBINSON	
<b>PFD:</b>	(Process Flow Diagram) Diagramme de flux de processus	
<b>PPM:</b>	Partie par million	
<b>DCS:</b>	Digital contrôle système	
<b>TC :</b>	Température calorifique	(°C)
<b>SRK:</b>	Soave-Redlick-Kwong	
<b>P<sub>s</sub>:</b>	Pression en sommet	(Bars)
<b>ΔP<sub>1</sub>:</b>	Perte de charge entre ballon de reflux et sommet de la colonne	(Bar)
<b>ΔP<sub>2</sub>:</b>	Perte de charge de la résistance de plateau	(Bar)
<b>T:</b>	Température	(°C)
<b>P:</b>	Pression	(Bars)
<b>P<sup>V</sup><sub>i</sub>:</b>	Pression partiel de constituions «i»	(Bars)
<b>P<sub>T</sub>:</b>	Pression de system	(Bars)
<b>Y<sub>i</sub>:</b>	Concentration molaire en phase vapeur de constituions «i»	
<b>X<sub>i</sub>:</b>	Concentration molaire en phase liquide de constituions «i»	
<b>P<sub>i</sub>:</b>	Tension de vapeur de constituions «i»	(Bars)
<b>H<sub>i</sub>:</b>	Contente d'HENRY	
<b>L :</b>	Alimentation	(kmole/h)
<b>K<sub>i</sub>:</b>	Coefficients d'équilibre du constituant i	

<b><math>K_r</math></b> :	Coefficients d'équilibre de référence	
<b><math>P_L</math></b> :	Pression d'alimentation	<b>(Bars)</b>
<b><math>e_0</math></b> :	Taux de vaporisation de la charge d'alimentation	
<b><math>D</math></b> :	Débit du distillat	<b>(kmole/h)</b>
<b><math>\alpha_i</math></b> :	Volatilité relative	
<b><math>P_f</math></b> :	Pression de fond	<b>(Bars)</b>
<b>ONR</b> :	Centre de production OUED NOUMER	
<b>ATK</b> :	Gisements d'AIT-KHIER.	
<b>SMZ</b> :	Gisements de SIDIMEZGHICH.	
<b>MKD</b> :	Gisements MAKOUDA.	

## SOMMAIRE

Liste des Tableaux.....	i
Liste des Figures.....	ii
Nomenclature.....	iv
Sommaire .....	vi
Introduction Générale.....	1
<b>Chapitre I Généralités sur le Gaz Naturel et GPL</b>	
<b>I Généralités sur le Gaz Naturel et GPL</b>	
I.1. Généralités sur le gaz naturel.....	3
1.1. Définition du gaz naturel.....	3
1.2. Le gaz naturel dans le monde .....	3
1.3. Le gaz naturel en Algérie .....	4
1.4. Consommation et production .....	4
1.5. Caractéristiques du gaz naturel .....	5
1.6. La composition chimique du Gaz naturel .....	6
1.7. Les types de Gaz naturel .....	6
I.2. Généralités sur le GPL .....	7
2.1. Définition du GPL .....	7
2.2. Les propriétés des GPL .....	8
2.3. Les sources du GPL.....	9
2.4. Caractéristiques du GPL .....	9
2.5. Domaine d'utilisation du GPL.....	10
2.6. Le GPL dans le monde.....	11
2.7. Stockage de GPL.....	15
<b>Chapitre II Description du procédé du centre de production ONR</b>	
<b>II. Description du procédé du centre de production ONR</b>	
II.1. Présentation.....	18
II.2. Description générale des installations – ONR.....	19
2.1. Séparation et compression.....	20
2.2. Extraction du GPL.....	20
II.3. Description du procès.....	21
3.1. Unité 20(Unité de Séparation).....	21
3.2. Unité 30 (unité de compression).....	23
3.3. L'unité d'extraction du GPL.....	24
3.4. Unité 400 fractionnement de GPL.....	30
3.5. Unité 500 stockages.....	32
3.6. Unité 600 circulation huile chaude.....	33
3.7. Unité 700 Système méthanol et torche froide.....	34
3.8. Unité 800 Système air et gaz inerte.....	35

3.9. Unité 900.....	36
<b>Chapitre III Théorie de la rectification</b>	
III. Théorie de la rectification	
III.1. Définition.....	37
III.2. Description de la colonne de rectification .....	37
III.3. Injection de la charge dans la colonne de rectification.....	38
III.4. Les équipements essentiels de la colonne de rectification.....	38
III.5. Classification des colonnes .....	39
5.1. Colonnes à plateaux .....	40
5.2. Colonnes à garnissage.....	41
III.6. Principes de fonctionnement de la colonne de rectification .....	42
III.7. Les conditions opératoires colonne rectification.....	43
7.1. Lois fondamentales de transfert de matière.....	43
7.2. Bilan de matière de la colonne.....	44
III.8. La volatilité relative.....	45
III.9. Choix de la pression dans la colonne.....	45
9.1. La pression au sommet de la colonne.....	46
9.2. La pression au fond de la colonne.....	46
9.3. La pression dans la zone d'alimentation.....	46
III.10. Régime de la température dans la colonne.....	46
III.11. Taux de vaporisation et compositions des phases liquide/vapeur de la charge	47
III.12. Choix de taux de reflux.....	47
12.1. Fonctionnement à reflux minimal.....	47
12.2. Taux de reflux optimal.....	48
III.13. Bilan thermique de colonne.....	48
<b>Chapitre IV Simulation et rationalisation des paramètres fonctionnels</b>	
IV Simulation et Rationalisation des paramètres fonctionnels	50
IV.1. Généralités sur la simulation.....	50
1.1. Présentation du logiciel HYSYS .....	50
1.2. Le choix de modèle thermodynamique.....	51
2.1. L'équation d'état de SOAVE-REDLICH-KWONG (SRK).....	52
2.2. L'équation d'état de PENG ROBINSON (PR) .....	53
IV.2. Le modèle thermodynamique utilisé.....	53
2.1. Modélisation de la colonne 40C01 par le logiciel HYSYS.....	53
2.2. Simulation de fonctionnement DESIGN et le choix de l'équation d'état thermodynamique.....	54
2.3. Simulation du cas actuel .....	58
2.4. Rationalisation et adaptation des paramètres de fonctionnement.....	63
IV.3. Conclusion.....	67

Conclusion générale .....	68
Bibliographie.....	70
Annexes.....	72

## **INTRODUCTION GENERALE**

Le gaz naturel est une source d'énergie fossile qui occupe une place très importante dans la consommation énergétique mondiale. Il a connu une plus forte progression depuis les années 70, à cause de ses avantages économiques et écologiques. De nombreux pays sont en concurrence. Les propriétés de ce produit en font l'une des sources d'énergie les plus fiables connues à ce jour, il est devenu la deuxième source d'énergie fossile, après le pétrole.

Le traitement du gaz naturel consiste, généralement, à séparer ou retirer certains constituants présents dans le gaz brut, pour assurer les spécifications requises pour le transport et la commercialisation. L'un de ces dérivés est le GPL, à cause de sa souplesse d'utilisations et sa sécurité d'approvisionnement comme carburant automobile ou pour son usage domestique.

Le Sud algérien a des puits gaziers très importants, des richesses naturelles et des réserves en hydrocarbures qui sont à l'origine d'une large gamme de produits, selon la nature des gisements. La société nationale, SONATRACH, a lancé un programme de développement ambitieux qui a pour but l'augmentation de la contribution du GPL dans les exportations globales d'hydrocarbures.

OUED NOUMER (ONR) est l'un des champs bénéficiaires de ce programme. Cela a été concrétisé par la construction d'une nouvelle unité, pour produire du GPL, à partir des gaz associés au pétrole qui y sont stockés. Cette unité a été mise en service en 1997. Aujourd'hui, le champ OUED NOUMER atteint une production de 240 tonnes par jour [22].

Dans notre travail, nous allons procéder à une simulation de vérification de la colonne du DEETHANISEUR afin de connaître l'influence des paramètres actuels sur la colonne de rectification.

Notre mémoire comporte deux parties :

- La première partie, où nous présentons:
  - des généralités sur le gaz naturel.
  - la situation géographique et la description de la région ONR.
  - Etude et description des procédés employés et quelques notions sur la théorie de la rectification.

- La deuxième partie est basée sur :
  - la détermination des différents paramètres opératoires.
  - la modélisation et adaptation des paramètres du DEETHANISEUR avec le logiciel HYSYS afin de rationaliser les paramètres fonctionnels selon la construction de la colonne.
- Enfin on termine le travail par une conclusion générale et des recommandations.

## **I. Généralités sur le Gaz naturel et GPL**

### **I.1 Généralités sur le gaz naturel**

#### **1.1. Définition du gaz naturel[1]:**

Le gaz naturel est une énergie fossile comme la houille, le charbon. C'est un mélange dont le constituant principal varie de 75 % à 95 %, méthane (CH<sub>4</sub>). Il est donc composé majoritairement d'hydrogène et de carbone, d'où son nom d'hydrocarbure.

Pendant longtemps le gaz naturel a été considéré comme un parent pauvre de l'exploitation du pétrole et l'on voyait sur les champs pétroliers mondiaux, des centaines de torches brûlant à l'air libre la plus grande partie du gaz naturel, produite en même temps que le pétrole.

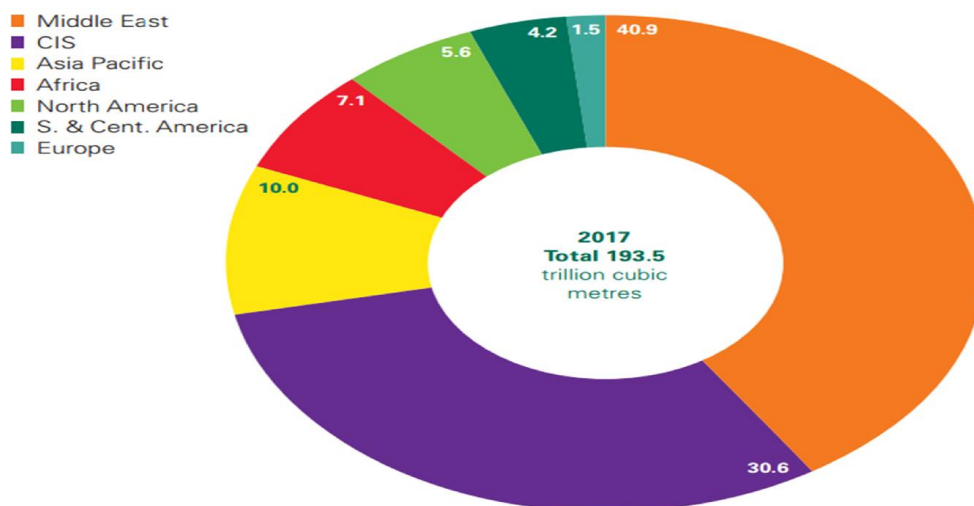
La plus part des pays ont rapidement réagi contre un tel gaspillage d'énergie en interdisant de brûler ainsi le gaz à l'air libre et en imposant; soit une réinjection de ce gaz dans ces formations pétrolières souterraines, soit l'utiliser directement comme source d'énergie.

#### **1.2. Le Gaz naturel dans le monde[2]:**

Le gaz naturel est l'énergie dont le taux de croissance dans le bilan énergétique mondial est le plus rapide. Dans un contexte de préoccupation grandissante de dégradation de l'environnement, la qualité première du gaz naturel est son caractère non polluant.

Il représente donc, une énergie naturelle, performante et compétitive. Ainsi, grâce à ses multiples atouts, le gaz naturel s'impose comme une énergie de choix. Sa disponibilité à tout moment, sa grande facilité de combustion, sa propreté, sa souplesse d'utilisation, sa capacité à s'intégrer dans les systèmes automatisés et son coût compétitif répondent aux besoins de tous les domaines d'activité.





**Fig.I.1:** Distribution des réserves de gaz naturel prouvées en 2015 en pourcentage [3].

### 1.3. Le gaz naturel en Algérie:

Depuis 1980, l'Algérie est devenue l'un des grands exportateurs mondiaux de gaz naturel. Une particularité à souligner est que l'Algérie a pu réaliser diverses installations de liquéfaction de gaz naturel qui lui permettent de le commercialiser sous forme liquide et le transporter dans des méthaniers vers le marché extérieur (Etats-Unis, Europe... Etc.); parallèlement à ce mode de transport l'Algérie a pu transporter son gaz par des gazoducs reliant directement Hassi-R'mel à l'Europe, c'est ainsi qu'elle exploite actuellement le fameux gazoduc transméditerranéen qui relie l'Algérie à l'Italie et la Slovénie via la Tunisie [4].

L'Algérie possède des réserves immenses en gaz naturel ce qui la place au quatrième rang, en possédant 10% environ des réserves mondiales [5].

### 1.4. Consommation et production[6]:

La consommation de gaz naturel dans le monde s'est développée par 1,7% dans 2015, une augmentation significative de très croissance faible (+0,6%) vue dans 2014 mais toujours au-dessous de la moyenne de dix ans de 2,3%. Globalement, le gaz naturel a représenté 23,8% de consommation d'énergie primaire.

La production globale de gaz naturel s'est développée par 2,2%, plus rapidement que la consommation mais au-dessous de sa moyenne de dix ans de 2,4%. Comme avec la consommation, les USA (+5,4%) ont enregistré la plus grande croissance incrémentée, avec

l'Iran (+5,7%) et la Norvège (+7,7%) augmentations significatives également d'enregistrement de production.

La croissance était au-dessus de la moyenne en Amérique du Nord, L'Afrique et l'Asie Pacifique. Production de nouveau est tombée brusquement (-8%), avec les pays bas (-22,8%) enregistrement du plus grand déclin du monde. Grand des déclin volumétriques ont été également vus en Russie (-1,5%) et le Yémen (-71,5%). Le tableau suivant présente la production de consommation mondiale du gaz naturel en billion m<sup>3</sup> en 2015.

**Tabl.1:** Production et consommation mondiales du Gaz Naturel en billion m<sup>3</sup> en 2015.[6]

	Middle Eats	Europe & Eurasia	Asia pacific	Africa	North America	south.& cent America
Production	617,9	989,8	556,7	211,8	984,0	178,5
consummation	490,2	701,1	1003,5	135,5	963,6	174,8

### 1.5. Caractéristiques du gaz naturel:

Les caractéristiques du gaz naturel peuvent être résumées comme suit :

#### la masse volumique:

C'est la masse de volume du gaz exprimé en kg/m<sup>3</sup>, elle est en fonction de la pression et de la température, en dehors des conditions spécifiques on se réfère à des conditions normales ou standards [3]:

- **Conditions normales:** T= 0°C, P= 1atm
- **Conditions standards:** T= 15°C, P= 1atm

#### Le volume massique:

C'est le volume occupé par l'unité de masse de gaz, s'exprime en m<sup>3</sup>/kg est donc l'inverse de la masse volumique [1].

#### La densité:

Elle est définie pour un gaz comme étant le rapport de sa masse volumique à celle de l'air dans des conditions bien déterminées de température et de pression, comme elle peut être obtenue à partir de sa masse moléculaire que l'on peut définir à partir de sa composition chimique en utilisant la relation[7]:

$$\text{Densité du gaz} = \text{masse moléculaire} / 28,966$$

**Le pouvoir calorifique[7]:**

C'est la quantité de chaleur produite par la combustion d'une unité de volume d'un gaz dans les conditions normales de température et de pression, on distingue deux pouvoirs calorifiques:

**▪ Pouvoir calorifique supérieur PCS:**

Il correspond à la chaleur dégagée lorsque tous les produits de combustion sont ramenés à la température ambiante, l'eau formée étant à l'état liquide.

**▪ Pouvoir calorifique inférieur PCI:**

Il correspond à la combustion dans laquelle l'eau reste à l'état vapeur ; le PCI diffère du PCS d'une quantité de chaleur latente de vaporisation de l'eau.

**1.6. La composition chimique du Gaz naturel[7]:**

Le gaz naturel se compose principalement de tous les hydrocarbures qui ont pour formule chimique générale  $C_nH_{2n+2}$ , comme il contient aussi des contaminants parmi lesquels on trouve Hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ), Dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), Oxysulfure de carbone ( $COS$ ), Disulfure de carbone ( $CS_2$ ).

La composition chimique d'un gaz sert à l'étude de vaporisation, elle est utilisée aussi pour le calcul de certaines propriétés en fonction de la pression et de la température tel que la compressibilité et la densité.

**1.7. Les types de Gaz naturel [1]:**

Selon la température et la pression dans le réservoir, il peut avoir apparition du liquide, pour cela on peut distinguer plusieurs types de gaz naturel:

**▪ Gaz sec:**

Ne forme pas de phase liquide dans les conditions de production, ceci lorsque la pression dans le réservoir décroît avec le temps. Le gaz est concentré en méthane et contient très peu d'hydrocarbures lourds.

**▪ Gaz humide:**

Formant une phase liquide en cours de production dans les conditions de surface sans qu'il y ait une condensation rétrograde en gisement, il est moins concentré en méthane.

- **Gaz a condensat:**

Une phase liquide peut se former dans le réservoir en cours de production, la phase condensée est riche en constituants lourds.

- **Gaz associé:**

Coexistant dans le réservoir avec une phase «huile» (gisement de pétrole). Le gaz associé comprend le gaz de couverture (phase gazeuse présente dans le réservoir) et les gaz dissous.

## I.2. Généralités sur le GPL:

### 2.1. Définition du GPL[8]:

Le GPL ou « Gaz de Pétrole Liquéfiés » représente les fractions légères d'hydrocarbures paraffinés, qui sont des hydrocarbures gazeux liquéfiés composés majoritairement de propane et de butane, le propane ( $C_3H_8$ ) et le butane ( $C_4H_{10}$ ) étant les principaux composants.

Les GPL sont issus à plus de 60% des champs de gaz naturel. Pour le reste, ils proviennent du raffinage du pétrole brut dont ils représentent entre 2 et 3% de l'ensemble des produits raffinés.

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

**TabI.2:** Les compositions molaires du GPL[8].

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

## 2.2. Les propriétés des GPL:

A température ambiante et à pression atmosphérique, les GPL ont la propriété d'être à l'état gazeux. Mais ils se liquéfient aisément en augmentant leur pression, facilitant ainsi leur stockage et utilisation.

Le GPL, lorsqu'il se répand sous sa forme liquide, hors d'un container sous pression s'évapore en produisant du froid : au contact de la peau, il provoque des brûlures caractéristiques appelées "brûlures froides" [9].

Les vapeurs des GPL constituent avec l'air un mélange extrêmement inflammable et dangereux. Leur domaine d'inflammabilité dans l'air à 20°C et sous 1atm varie de 2 à 10% (%volumique). Ce mélange est détonnant au contact d'une source de chaleur (flamme ou étincelle) [9].

Pour mieux les reconnaître ou déceler d'éventuelles fuites, on leur donne une odeur particulière au moyen de substances appropriées (mercaptans) [8].

A l'état liquide, les GPL ont un haut coefficient de dilatation, ils se dilatent de 0,25% par degré de température dont il faut tenir compte lors de leurs stockages dans les récipients que le remplissage ne doit jamais être dépassé au maximum 85% de sa capacité [8].

Le propane et le butane sont chimiquement réactifs et ils peuvent détériorer certains caoutchoucs naturels ou certaines matières plastiques. Il est donné primordial de n'utiliser que des accessoires et des équipements spécialement congrus pour ces gaz[10].

Le GPL sont insolubles dans l'eau et ils n'ont pas de propriétés lubrificatrices d'où ce qui doit être pris en considération lors du dimensionnement des compresseurs et des pompes[10].

Le GPL sont d'une pureté parfaite et brûlent sans aucun déchet, n'encrassent ni les conduites, ni les brûleurs des appareils d'utilisation[10].

Le GPL ne sont pas vraiment toxiques, ils présentent tout au plus un léger pouvoir anesthésiant, s'ils sont inhalés longuement et peuvent provoquer des migraines et des maux d'estomac [10].

Le GPL ne présentent aucun danger d'empoisonnement et ne sont pas à craindre par inhalation, à condition toutefois que l'organisme trouve suffisamment d'oxygène dans l'air.

### 2.3. Les sources du GPL[11]:

Le GPL est obtenu généralement:

- ✓ Dans les raffineries, soit au cours de distillation du pétrole brut ou lors cracking ou de Reforming des produits en vue de la production des essences.
- ✓ Au cours des séparations du gaz naturel (GN) qui a pour but de séparer et de récupérer le condensât et GPL (propane, butane, C<sub>5</sub><sup>+</sup>) dans les champs.
- ✓ Par liquéfaction du gaz naturel.

### 2.4. Caractéristiques du GPL[11]:

En général, les propriétés physico-chimiques des GPL (courbe de distillation, tension de vapeur, poids spécifique, pouvoir calorifique, rendement dans les moteurs, etc.) dépendent de leur teneur en divers hydrocarbures.

✓ **Odeur:** le GPL est inodore à l'état naturel, mais on doit ajouter un odorant, ce sont des composés sulfures tel que le diéthylmercaptane ou le diméthylsulfide pour des raisons de sécurité.

✓ **Tension de vapeur:** la TVR du GPL est de 8 et 2 bars pour le propane et le butane respectivement à 20°C.

✓ **Dilatation:** à l'état liquide, le GPL a un haut coefficient de dilatation dont il faut tenir compte lors de leur stockage (les sphères ne doivent jamais être complètement remplies).

✓ **Densité:** aux conditions normales de température et pression, le GPL est plus lourd que l'air, il est diminué avec l'augmentation de la température.

✓ **Température d'ébullition:** à la pression atmosphérique la température d'ébullition de propane est de -42°C, celle de butane est de -6°C.

✓ **Pouvoir calorifique:** c'est la propriété la plus intéressante étant que le GPL est traditionnellement utilisé pour les besoins domestiques [12]:

- Iso-butane: PC = **29460**(kcal/kg).
- Normal butane: PC = **29622**(kcal/kg).
- Propane: PC = **22506**(kcal/ kg).

✓ **Impuretés:** le plus important est le soufre, la teneur en soufre est inférieure ou égale à 0,005 % en masse, ainsi l'eau l'un des impuretés importants.

✓ **Corrosion:** Le GPL n'est pas corrosif à l'acier.

✓ **Lubrification:** Le GPL n'a aucune propriété de lubrification et cet effet doit être pris en considération lors de la conception des équipements du GPL (pompes et compresseurs). Le GPL est incolore, que ce soit phase liquide ou gazeux.

## 2.5. Domaine d'utilisation du GPL:

✓ **Le GPL carburant:** dès 1912, aux USA, le GPL carburant alimentait les voitures, mais cette innovation est restée sans lendemain, car il n'était utilisé que comme carburant de substitution en cas de crises. Le GPL carburant a largement prouvé ses qualités à être un carburant alternatif avantageux tant au plan économique qu'au plan écologique [13].

Actuellement de nombreux pays possédant une flotte de véhicules roulant au GPL carburant, ce sont principalement: Les Pays –Bas, le Japon, l'Italie, l'Allemagne, la Grande–Bretagne, la France et les USA.

L'indice d'octane élevé du GPL carburant permet leur substitution à l'essence sans modification du moteur. Le niveau alarmant de pollution devrait au contraire favoriser l'utilisation des véhicules GPL carburant, car il produit moins de CO<sub>2</sub> et de CO, il ne contient pas de Plomb [14].

✓ **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 à fin d'obtenir des oléfines [15].

✓ **Le GPL dans la production d'électricité:** Le GPL est utilisé pour la génération d'électricité, pourrait être important si les conditions de nature économique venaient à être favorables, les marchés ciblés à cet effet sont attractifs pour le GPL [16].

✓ **Le GPL dans les ménages:** Le butane et le propane 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. Le propane représenté est utilisé comme

combustible dans les unités industrielles et artisanales en substitution domestique dans les régions non reliées au gaz naturel.

✓ **Le GPL dans la climatisation:** Il est utilisé pour la construction des réfrigérateurs et des climatiseurs (moyenne capacité) grâce à sa détente d'absorption de la chaleur et de créer le froid.

✓ **Le GPL dans L'agriculture:** L'utilisation du GPL dans ce secteur sera orientée vers l'agriculture, et certain culture 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.) [16].

## 2.6. Le GPL dans le monde:

### La production mondiale du GPL:

Le GPL peut être récupéré sur les champs de pétrole ou sur les champs du gaz naturel, cette dernière représente 60 % de ces ressources de récupération.

- Aux Etats-Unis ou une longue tradition d'utilisation importante existe. la production et la consommation sont équilibrées.

- Au Moyen- Orient la production de GPL s'est considérablement développée à la fin des années 70 ; lorsque l'augmentation du prix de l'énergie a rendu attractive la récupération du propane et du butane. au paravent ces produits étaient brûlés avec le gaz associé. Le Moyen-Orient est la principale source d'exportation de GPL dans le monde.

- En Afrique du Nord et tout particulièrement en Algérie ou le GPL sont surtout récupérés à partir de gaz naturel dans les unités de liquéfaction.

La production mondiale de GPL est passé de 120 millions de tonnes en 1985 [17], à 164,7 millions de tonnes en 1994, à 177,8 millions de tonnes en 1997 [18] et à 210 millions de tonnes en 2002 [17], allant jusqu'à 270 millions tonnes en 2012[19], et 290 million tonnes en 2017 [20].



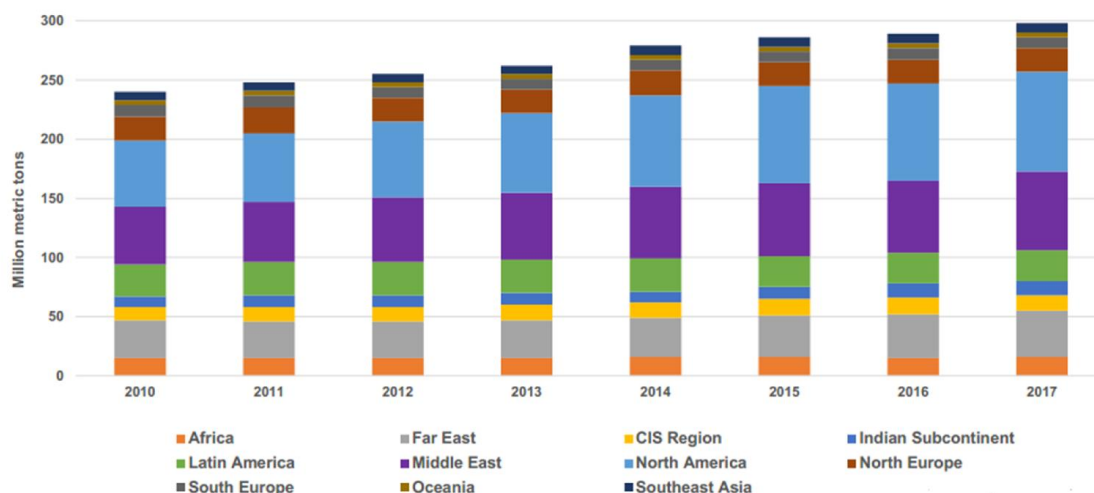


Fig.I.2: Evolution de la production mondiale du GPL en (2010-2017) [3].

**La consommation mondiale du GPL par secteur d'utilisation[21]:**

Concernant la consommation des GPL, selon les études qui ont été faites dont les résultats sont illustrés sur la figure (Fig.I.3), la plus grande part de consommation, qui est estimée à 52% de la consommation mondiale, est destinée au secteur domestique, suivi par le secteur de pétrochimie (26%). Le secteur industriel représente 12% de la consommation mondiale, et enfin on retrouve le secteur du transport ainsi que le secteur agricole représentant 9% et 1% respectivement.

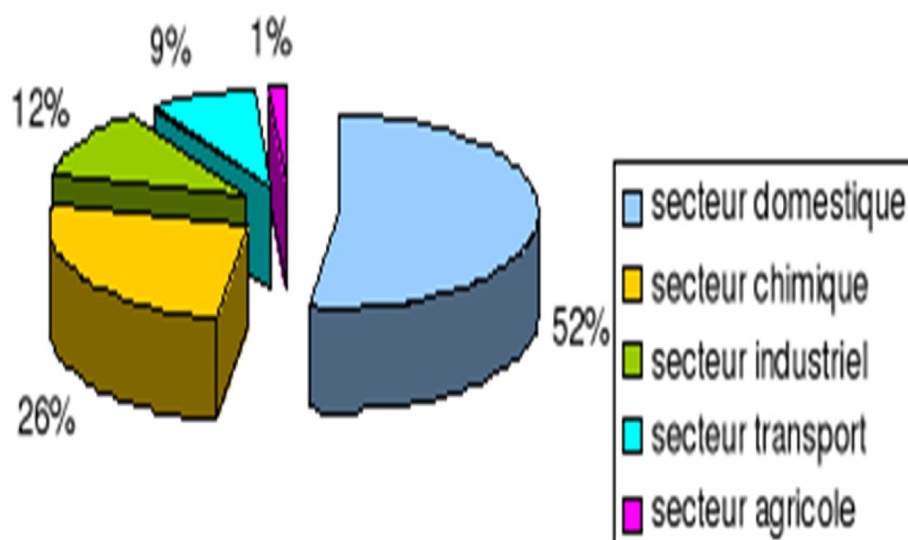


Fig.I.3: Consommation mondiale du GPL par secteur.

### La production nationale du GPL [22]:

Etant l'Algérie un pays pétrolier et gazier, l'industrie du GPL est très importante, sa production connaît une croissance soutenue en raison de l'intérêt suscité chez les pays industrialisés par cette forme d'énergie idéale pour la protection de l'environnement.

La majeure partie du GPL provient des champs pétroliers (79%), l'autre partie est produite au niveau des raffineries de pétrole de Skikda, Alger, Arzew représentant (10%) et les complexes de gaz naturel de Sonatrach GL2Z (Arzew) et GL1K (Skikda) (11%).

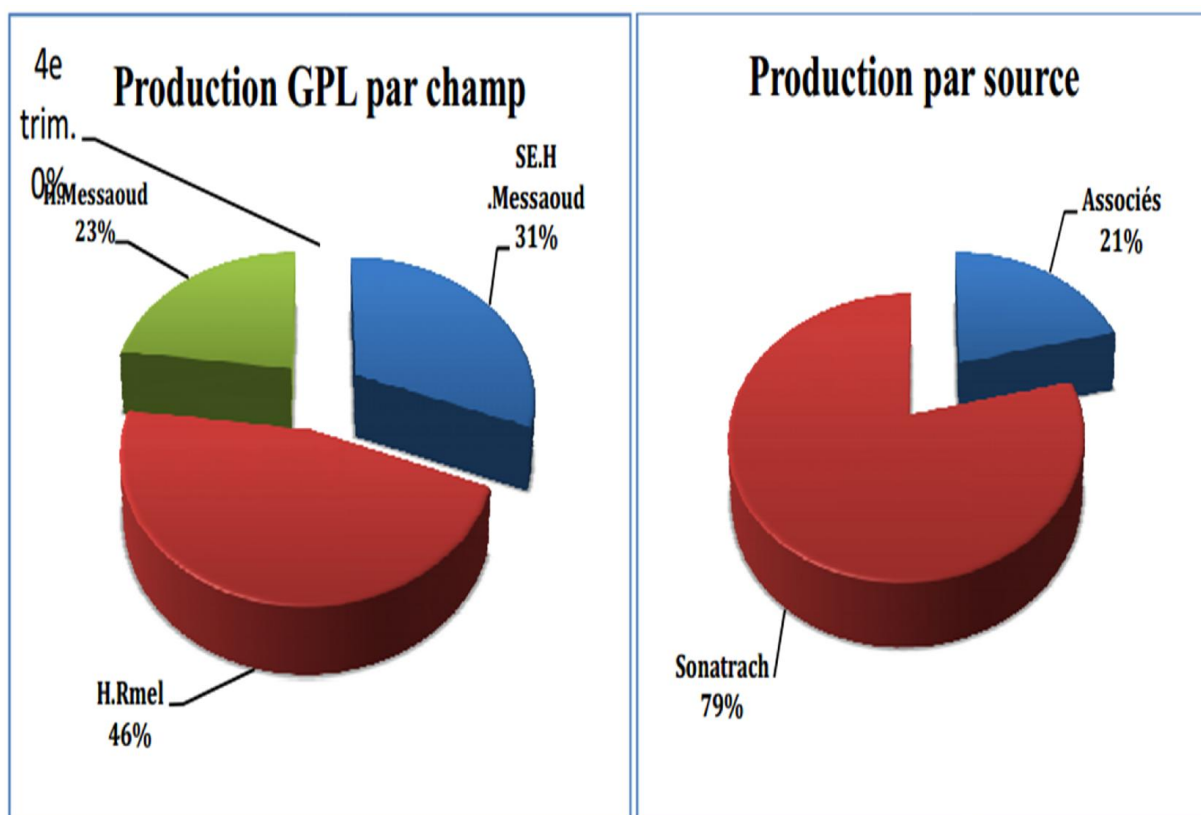


Fig.I.4: La production de GPL par champs /source [23].

### La consommation nationale en GPL par secteur [25]:

La consommation des GPL, principalement dans le secteur domestique, à enregistrer une croissance de l'ordre de 2%. L'utilisation des GPL comme carburant (GPL/C), suscite un intérêt croissant, l'année 2005 à enregistrer un taux de croissance de l'ordre de 7% [24]. en 2010, cette dernière devrait atteindre l'ordre de 500000 tonnes.

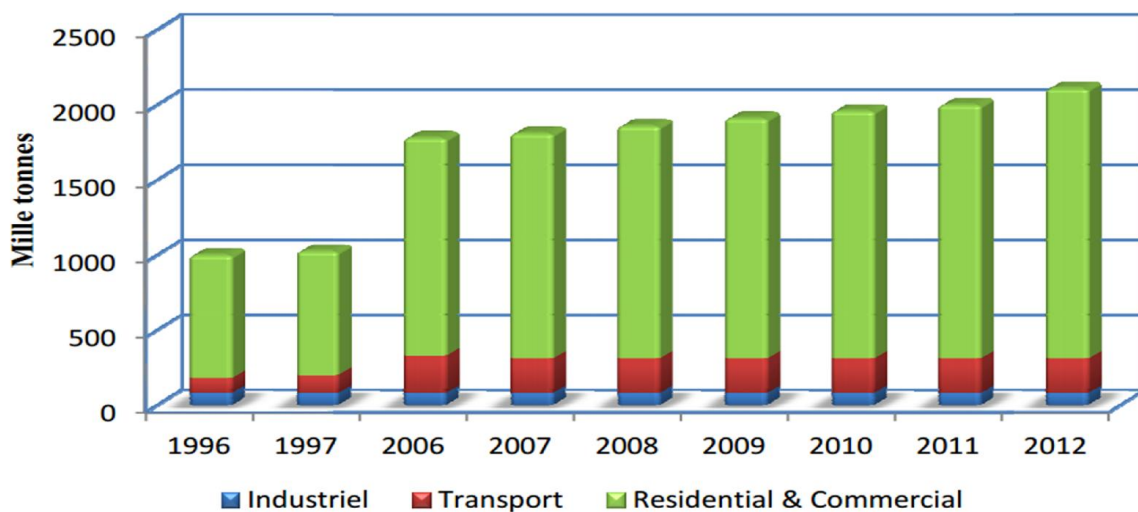


Fig.I.5: Profil de consommation des GPL du marché nationale par secteur.

La consommation nationale en GPL illustre que 80% du GPL destinés vers le domaine résidentiel et commercial, 18% pour le transport et reste 2% pour l'industrie.

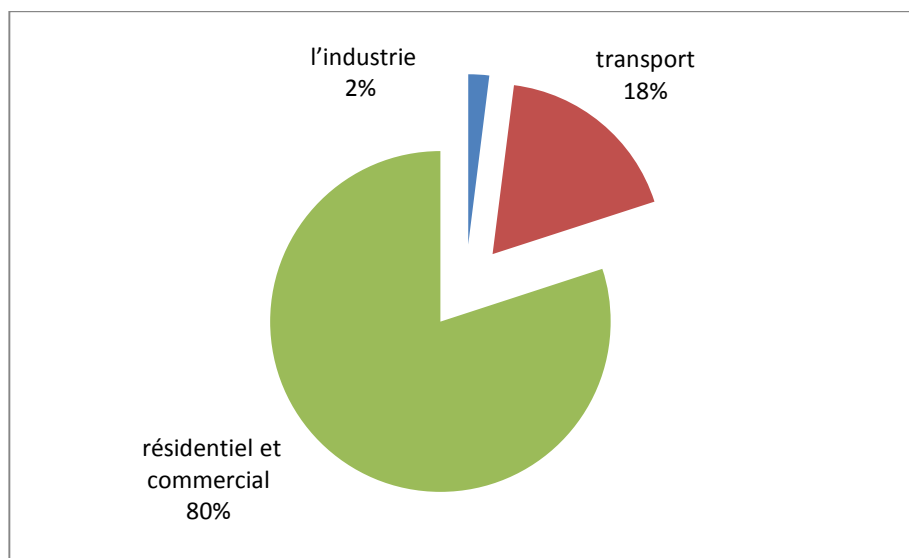


Fig.I.6: Consommation nationale de GPL par secteur [23].

**Exportations Algériennes du GPL [26]:**

L'Algérie est le second exportateur des GPL dans le monde après l'Arabie Saoudite. Ses principaux clients sont : l'Italie et l'Espagne. Elle exporte aussi vers d'autres pays d'Amérique latine, d'Asie et d'Afrique.

- ✓ **Méditerranée : 80%**(France, Italie, Espagne, Portugal, Maroc, Turquie, Egypte, Liban, Tunisie, Syrie).
- ✓ **USA : 14%**.
- ✓ **Amérique latine: 3%**(Brésil, Mexique, Equateur, Guatemala, Porto Rico).
- ✓ **Asie: 2%**(Corée, Chine, Japon, Singapour, Australie).
- ✓ **Europe du Nord: 1%**(Hollande, Suède, Belgique, Finlande, Angleterre).

En effet ; Depuis le début des années 1990 dans le cadre d'une politique de valorisation maximale de ses ressources gazières, la société nationale SONATRACH a lancé un ambitieux programme de développement, en vue d'augmenter la contribution des GPL.

Depuis la mise en exploitation du champ gazier de HAOUD EL- HAMRA en 1996, la production de GPL a suivi une croissance soutenue. Elle devrait atteindre un volume de 11 millions de tonnes avec la mise en service des nouvelles installations.

**2.7. Stockage de GPL:**

Il est indispensable de penser, d'ores et déjà, à la valorisation des excédents de GPL pour ne pas avoir à les torcher ; il faut prévoir des moyens efficaces pour le stockage.

Les GPL sont stockés sous pression dans des réservoirs sphériques, lors de leur stockage, des vapeurs de GPL (ou Boil off) se dégagent par ébullition sous l'effet de :

- La convection et la radiation de la chaleur atmosphérique.
- L'échauffement dû à la friction des GPL produits dans les canalisations
- La différence de température entre le liquide stocké et celui à introduire dans le réservoir.

Pour éviter les pertes de ces vapeurs ; les paramètres de stockage doivent être maintenus dans une plage bien déterminée, pour cette raison, un système de réfrigération par compression, refroidissement et détente des vapeurs est utilisé.

Ces vapeurs sont comprimées de 5.3 bars à 19 bars et 115°C par un compresseur alternatif puis condensées à 54°C dans un Aéro-refrigerents et enfin détendues à 5 bars et 15°C, ceci permet le refroidissement de la sphère et par conséquent la réduction de sa pression.

Il est à noter que certaines unités utilisent des techniques de stockage à savoir:

- Stockage dans des sphères (Fig.I.7) à des pressions variables entre 12.5 et 14.5 bars.
- Stockage comme fuel gaz dans des cigares

Une extension de la capacité de stockage en surface pour recevoir de grandes quantités de GPL, excédentaires est à écarter à cause de ses coûts élevés et l'incertitude des quantités de GPL à stocker, quant aux techniques de stockage souterrain en usage actuellement dans le monde, elles peuvent apparaître difficiles à envisager à cause des investissements élevés qu'elles requièrent.

Certains experts de SONATRACH proposent un procédé de stockage qui consiste à réinjecter le GPL sous forme liquide au sein même du gisement du gaz où il est produit à l'aide d'un ou plusieurs puits injecteurs de GPL liquide et possibilité de stocker de grands volumes de GPL avec un investissement minime en plus de la possibilité de déstocker à n'importe quel moment[27].

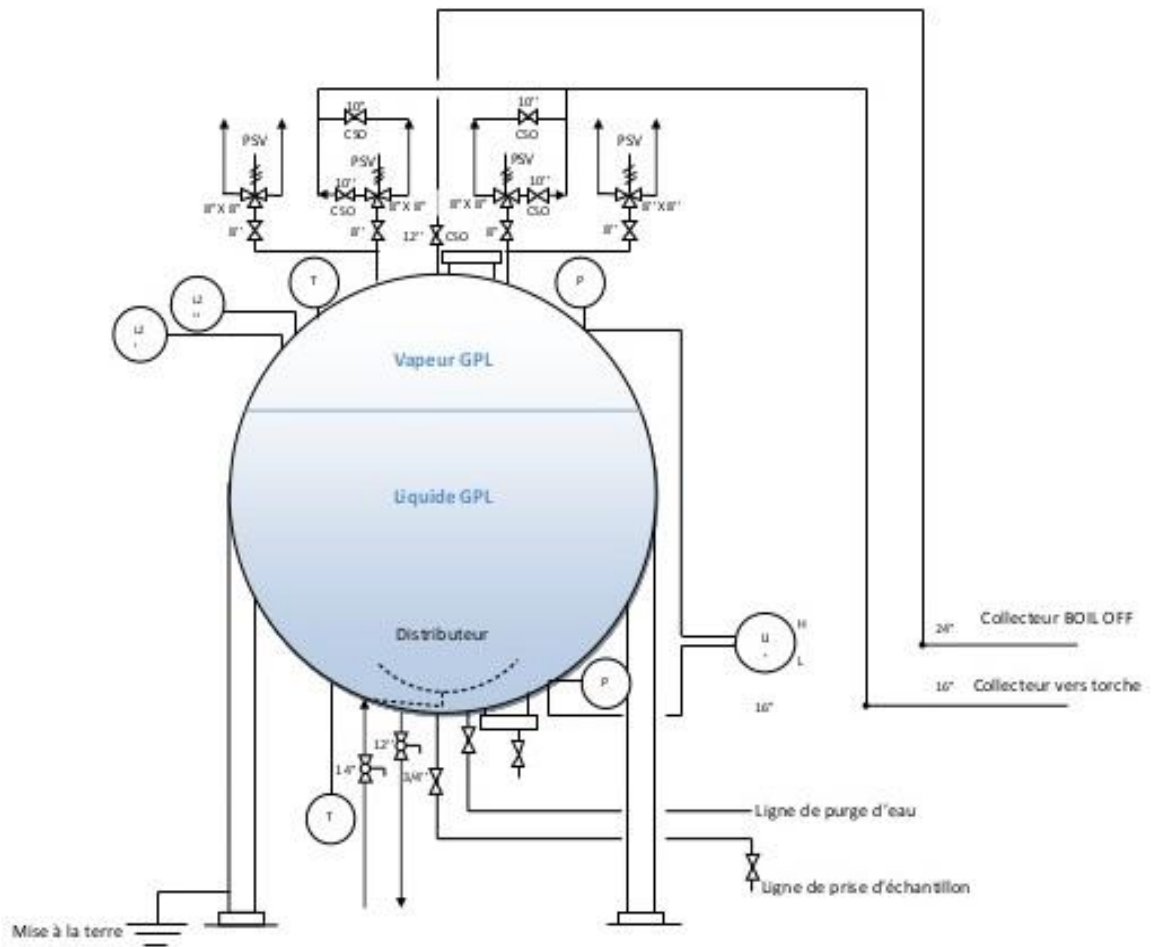


Fig.I.7: Stockage de GPL[27].

## II. Description du procédé du centre de production ONR

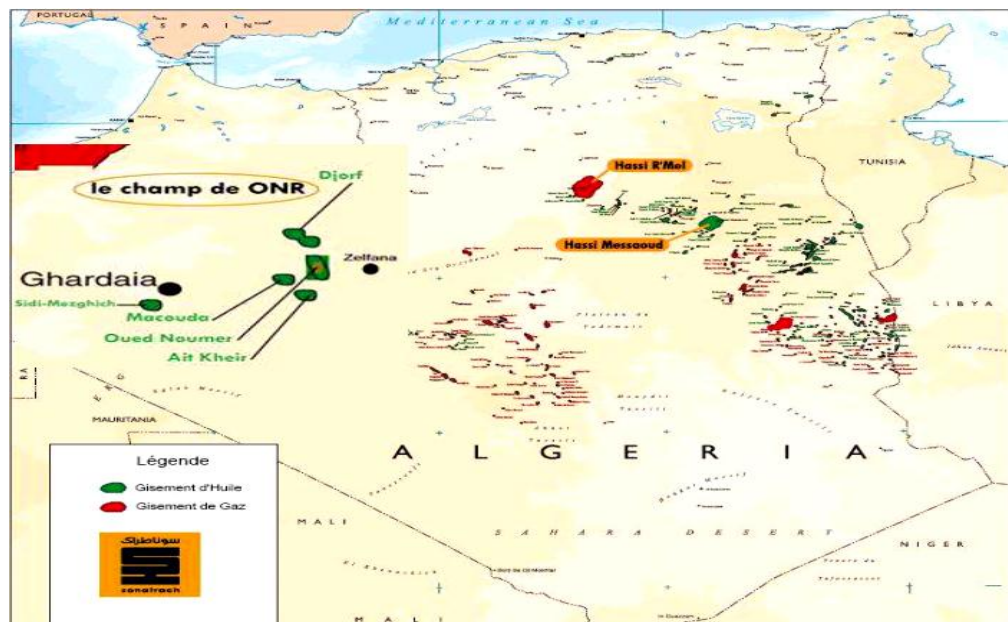
### II.1. Présentation[22]:

Parmi les champs pétroliers découverts par SONATRACH dans les années soixante, on trouve le site de OUED NOUMER, situé à 140 Km au sud-est du champ gazier de Hassi R'Mel et à 220 Km au Nord-Ouest du champ pétrolier de Hassi Massoud, ce site a pris une place considérable dans la production nationale des hydrocarbures dès sa mise en service en 1972, la production actuelle -2019- de ce champ est de:

- Brut: 1700 tonnes/jour.
- GPL: 240 tonnes / jour.
- Gaz sec: 5millions Sm<sup>3</sup>/jour.

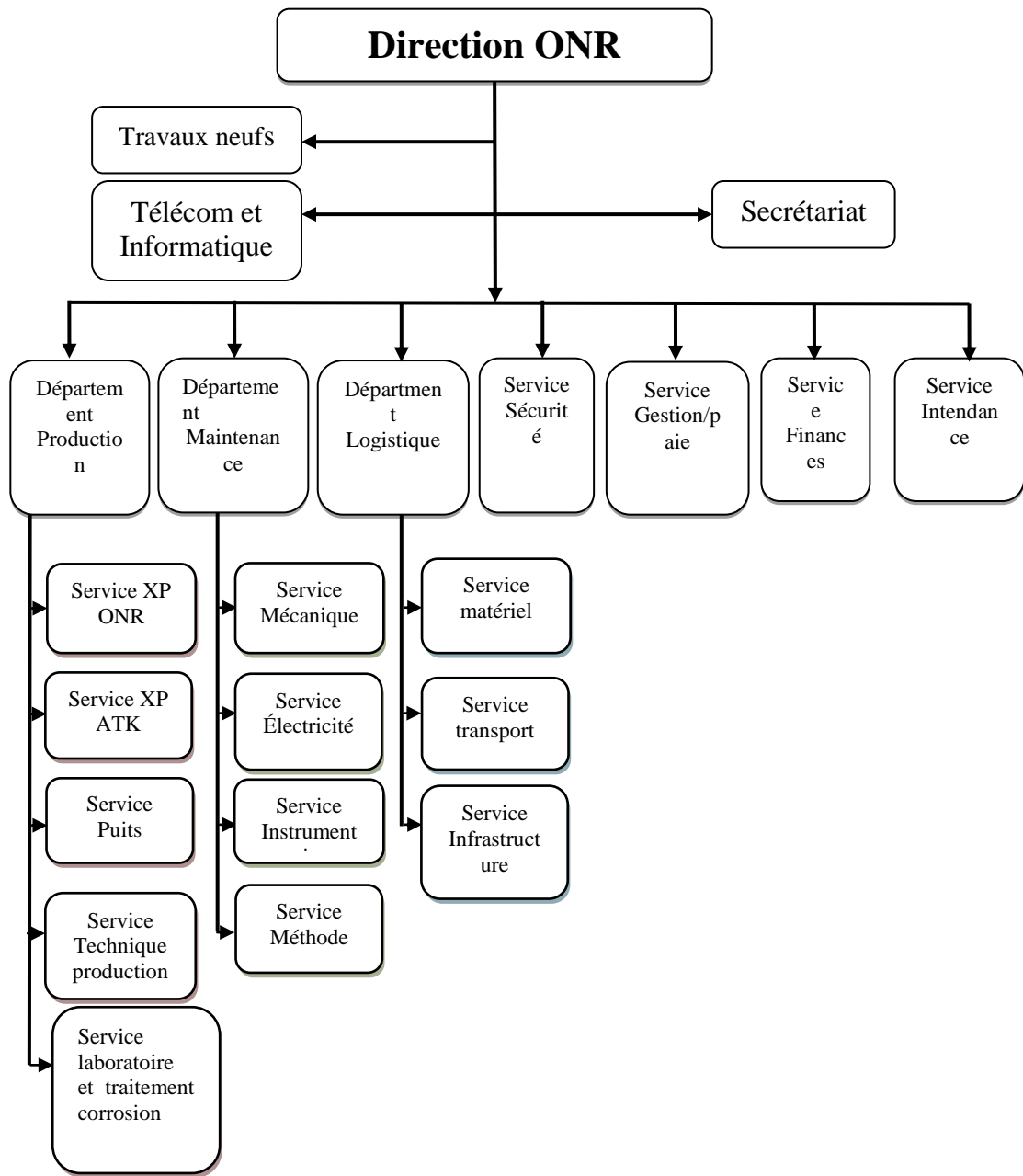
Son siège administratif et sa base de vie sont installés à 5 km au nord de la RN 49; axe routier reliant Ghardaïa et Ouargla. Les différents gisements constituant ce centre sont:

- ONR Oued-Noumer.
- ATK AitKhier.
- SMZ SidiMezghich.
- MKD Makouda.



**Fig.II.1:** Situation géographique d'Oued-Noumer [28].

la direction de ONR comporte de structure précise et elle présente dans l'organigramme suivant :



**Structure organisationnelle du champ ONR- organigramme**

**II.2. Description générale des installations – ONR [22]:**

L’usine d’Oued-Noumer a pour but de produire du pétrole brut, du condensat, et du GPL. Pour cela une première unité de séparation de brut a été construite en 1970 suivi par une autre



servant à récupérer les gaz et les réinjectés dans les puits au lieu de les torchés, et vers le début des années 90 l'usine a été enrichie par une nouvelle unité au but d'extraire du GPL.

### **2.1. Séparation et compression:**

- **Phase de séparation (Unité 20):**

Cette unité a pour but de:

- collecter les effluents gaz et/ou huile provenant des différents centres de production.
- Séparer le gaz associé à l'huile brute.
- stabiliser l'huile pour éviter un dégazage dans les bacs de stockage.
- permettre la mise à la torche des gaz haute pression provenant d'ATK et du séparateur de brut haute pression lors du non fonctionnement des unités de compression.

- **Phase de Compression (Unité 30):**

Les installations de compression ont pour but de récupérer les gaz associés séparés en amont et de les comprimer à la pression de service nécessaire dans l'unité suivante.

### **2.2. Extraction du GPL:**

Cette unité sert à récupérer à partir du gaz à traité, du condensât, du GPL et un courant gazeux de recyclage. Le complexe est formé par six unités des procédés et par trois unités auxiliaires comme il est indiqué ci-après:

- **Les unités principales de l'installation:**

- Unité 100: Pré refroidissement et déshydrations.
- Unité 200: Récupération de GPL.
- Unité 300: Re-compression.
- Unité 400: Fractionnement de GPL.
- Unité 500: Stockage de GPL.
- Unité 600: Huile diathermique.

- **Les unités secondaires de l'installation:**

- Unité 700: Injection du méthanol.
- Unité 800: Fourniture de l'air service; air instrument et l'azote.
- Unité 900: Sous – station électrique.

### II.3. Description du procès [30]:

#### 3.1. Unité 20 (Unité de Séparation) :

Cette unité a pour but de séparer le gaz associé de l'huile brute. Cette séparation s'effectue en plusieurs étages travaillant à des pressions décroissantes, de façon à dégazer le plus possible l'huile brute, avant de la stocker.

Afin d'améliorer la stabilisation de l'huile, deux fours de stabilisation permettent d'ajuster la Tension de Vapeur Reid (TVR) de l'huile pour éviter un dégazage dans les bacs de stockage.

Le centre ONR étant le centre principal de traitement, il est alimenté par:

- ✓ plusieurs puits producteurs de Brut reliés individuellement au centre.
- ✓ une pipe 30" acheminant toute la production de gaz d'ATK.
- ✓ une pipe 12" acheminant toute la production de brut d'ATK.
- ✓ deux pipes acheminant la production des deux puits "SIDI-MEZGHICH et MAKOUDA".

#### ➤ Séparateur HP (20B01):

Le séparateur reçoit, à partir du manifold existant du centre, le mélange (gaz, huile, eau), effluent des puits d'ONR. La pression de séparation déclinera dans le temps, de 15 à 11,6 bars absolus. L'eau de gisement décantée, est expédiée sous régulation de niveau, vers unité déshuilage ou borbier. Tandis que, le gaz haute pression effluent est expédié sous régulation de pression vers le ballon 30B03 et l'huile brute est envoyée sous régulation de niveau dans le séparateur MP 20B03.

#### ➤ Fours de stabilisation (20f01 A/B):

Les deux fours sont identiques, chacun étant dimensionné pour assurer une source de chaleur pour le brut stabilisé. La puissance des fours a été dimensionnée de manière à pouvoir à couler aux bacs de stockage, un mélange stabilisé (huile, condensats), de TVR très faible. L'alimentation des deux fours est constituée de:

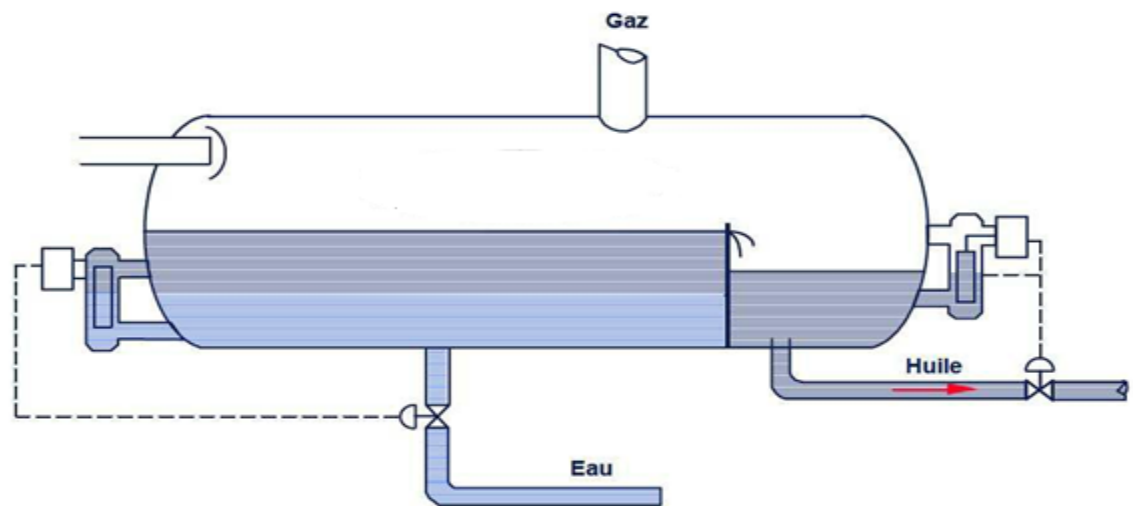
- L'huile récupérée du 20 B 01.
- Les liquides récupérés du 20 B 02.
- L'huile brute récupérée d'ATK du 11 B 01.
- L'huile venant du champ Makouda.
- L'eau de lavage pour éviter le bouchage des tubes du four.

L'alimentation en huile brute du four se sépare en quatre (04) passes circulant de la zone de convection à la zone de radiation (partie basse équipée avec les brûleurs)

Le mélange chauffé à une température voisine de 60°C est envoyé au ballon 20 B 03.

➤ **Séparateur MP (20B03):**

Le séparateur 20B03 de pression de service de 3 bars absolus, reçoit les effluents chauds des 2 fours de stabilisation plus le brut de Sidi-Mezghich .L'eau de gisement éventuelle est décantée puis expédiée à l'unité déshuilage ou borbier sous régulation de niveau .L'huile est envoyée au séparateur BP en régulant le niveau. Le gaz MP effluent est expédié sous régulation de pression vers l'unité de compression.



**Fig.II.2:** Séparateur MP (20B03).

➤ **Séparateur BP (20B04):**

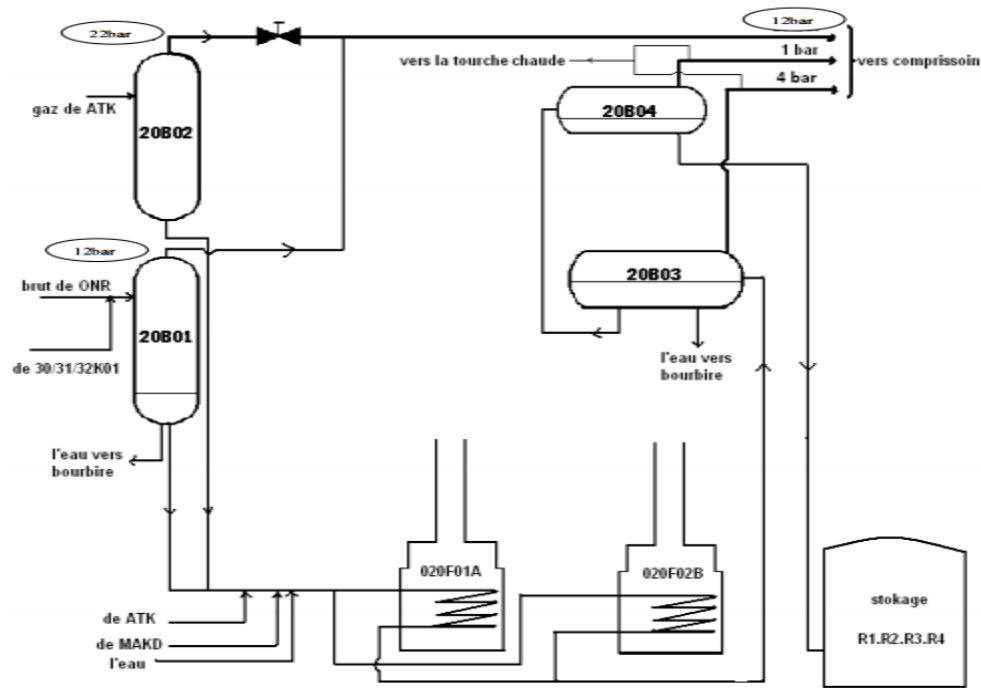
Le séparateur BP de pression de service de 1 bar est alimenté par l'huile effluente du séparateur MP. Il est installé à une hauteur de 10mètres, sur une structure métallique.

Le gaz BP effluent (1bar), est envoyé en régulant la pression vers l'unité de compression.

➤ **Séparateur HP de gaz (20B02):**

Le séparateur HP, de pression de service 23 bars, est alimenté par:

- ✓ Le gaz venant d'ATK dans une pipe de 30°.
- ✓ La partie liquide est collectée avec l'entrer liquide du 20F01A et B.



**Fig.II.3:** Schéma de l'unité de traitement et séparation.



**Fig.II.4:** Photo réel de Unité 20 (traitement de brut et gaz).

### 3.2. Unité 30 (unité de compression) [29]:

Les installations de compression des gaz venant de l'unité de séparation (unité 20) (FigII.3) représentent des unités de conception strictement identique (unités 31/32/33).

Chaque unités (exemple : unité 31) comprend essentiellement:

- ✓ Compresseur 31 K01, comprenant un étage BP et un étage MP.

- ✓ Compresseur 31 K02, comprenant un étage MP et un étage HP.
- ✓ Une turbine à gaz 31 KG 01, avec ses auxiliaires.

Le gaz BP venant du 20B04 arrive en alimentation du 31B01 à une pression d'environ 1 bar absolu.

Le gaz sort du séparateur filtre 31B01, est se dirigé vers l'aspiration du 1<sup>er</sup> étage du 31 K01 et comprimé jusqu'à 3 bars cette pression permis ce gaz pour continuera la compression (l'aspiration du 2<sup>ème</sup> étage avec le gaz MP).

Le gaz MP, venant du 20B03 arrive en alimentation du 31B02 à une Pression d'environ 3 bars absolus. Ce gaz sort du séparateur filtre 31B02, est se dirigé vers l'aspiration du 2<sup>ème</sup> étage du 31 K01.

Le gaz HP, issu du 31K01, est le produit de compression des gaz MP et BP, il est dirigé principalement vers le séparateur HP 20B02, après refroidissement dans l'Aéro-réfrigérant 31A01. Le gaz HP, venant du 20B02, arrive en alimentation du 31B03, à une pression d'environ 15 bars absolus.

Le gaz sort du séparateur filtre 31B03, est dirigé vers l'aspiration au 1er étage du 31 K02 (3<sup>ème</sup> étage de la compression).

Le gaz sort du compresseur à une pression de 45 bars absolus, et est dirigé vers le séparateur filtre 31B04 après refroidissement dans les Aéro-réfrigérants 31A02 et 31A01; ce gaz est dirigé vers l'aspiration, 2<sup>ème</sup> étage du 31K02.

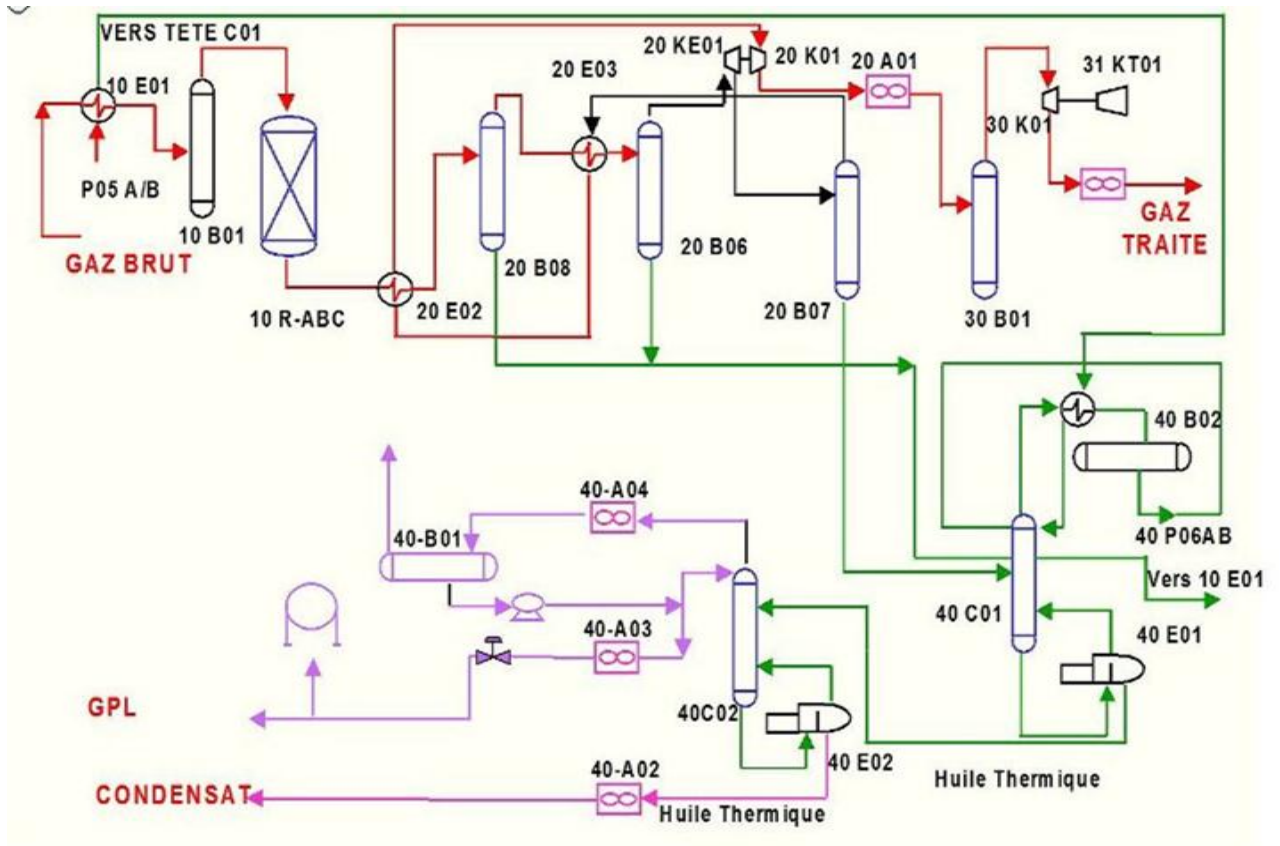
Le gaz HP sort du 31K02 à une pression de 90 bars absolus, il est dirigé directement vers l'unité du GPL après refroidissement.

### 3.3. L'unité d'extraction du GPL [30]:

L'installation reçoit le gaz à traiter de l'unité de compression (l'unité 030), en obtenant du GPL, le gaz traité condensat et un courant gazeux de recyclage .Le complexe est formé par six unités de procédé et trois unités auxiliaires, comme indiqué ci-après:

- **Unités de procédé:**
  - **Unité 100:** Pré refroidissement et déshydratation de gaz.
  - **Unité 200:** Récupération du GPL.

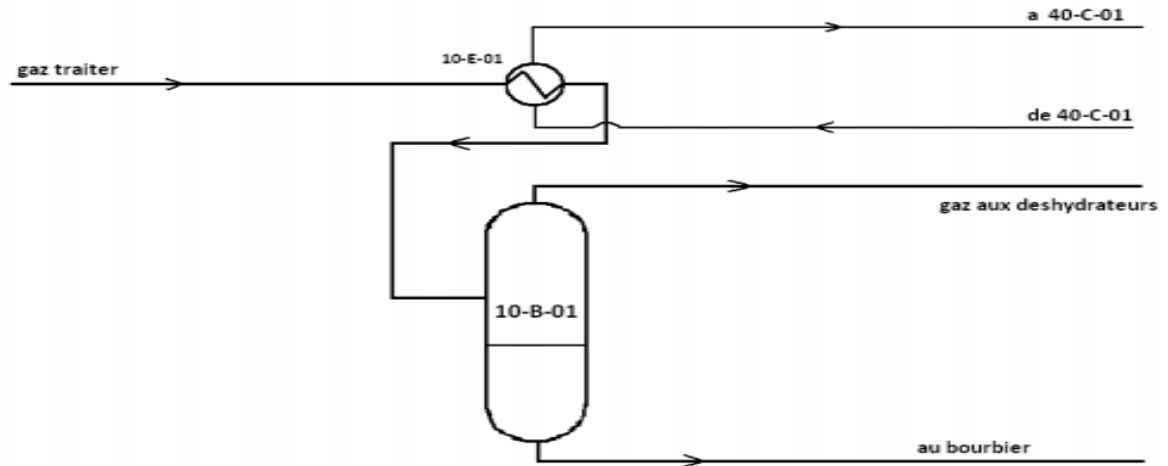
- **Unité 300:** Re-compression du gaz traité.
- **Unité 400:** Fractionnement du GPL.
- **Unité 500:** Stockage et expédition du GPL.
- **Unité 600:** Circulation huile chaude.
- **Unités auxiliaires:**
  - **Unité 700:** Système méthanol et réseau de Torches.
  - **Unité 800:** Système air et gaz inerte.
  - **Unité 900:** Electricité.



**Fig.II.5:** Schéma de l'unité d'extraction du GPL.

### Unité 100 pré refroidissement et déshydratation du GAZ [30]:

Le gaz, provenant de l'unité de compressions U30 existante, est pré refroidi de 60C° à 45C° en été; et de 50C° à 37 C° en hiver cela se fait par l'échangeur de chaleur 010E01, ensuite le gaz est envoyé au récupérateur du liquide 010B01; l'eau se dirige vers le borbier et le gaz se dirige vers les trois déshydrateurs (10R01A, 10R01B et 10R01C). Ci-dessous, les schémas de l'unité 100:

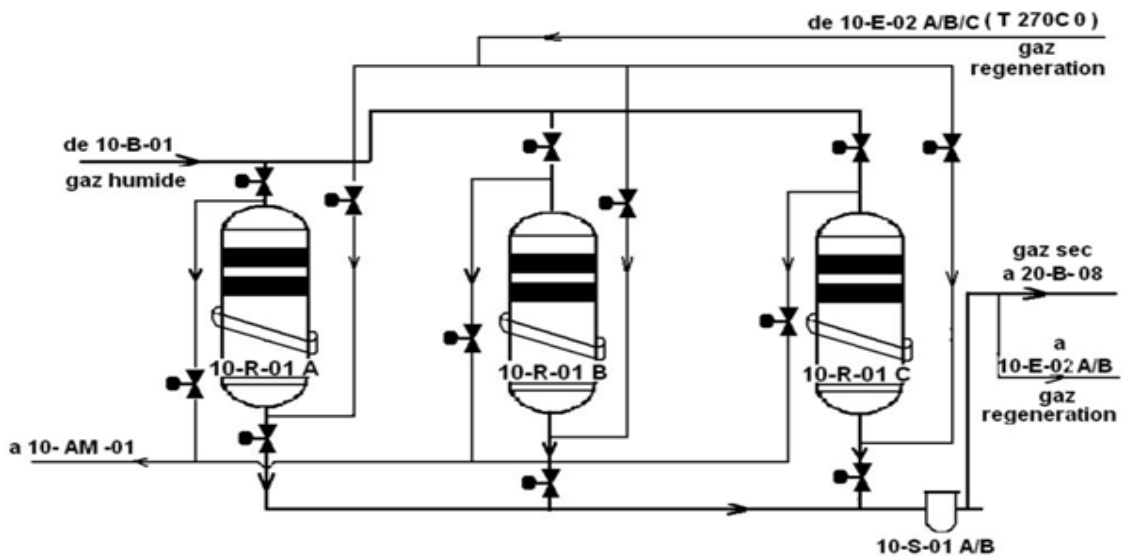


**FigII.6:** Schéma du Premier refroidissement du gaz.

➤ **Tamis moléculaire:**

Les tamis moléculaires qui adsorbent les hydrates au sein du gaz sont des Aluminosilicates métalliques Cristallins avec les formules chimiques suivantes:

- ❖  $\text{Na}_{12}(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
- ❖  $\text{Na}_{86}(\text{AlO}_2)_{86}(\text{SiO}_2)_{106} \cdot 276\text{H}_2\text{O}$

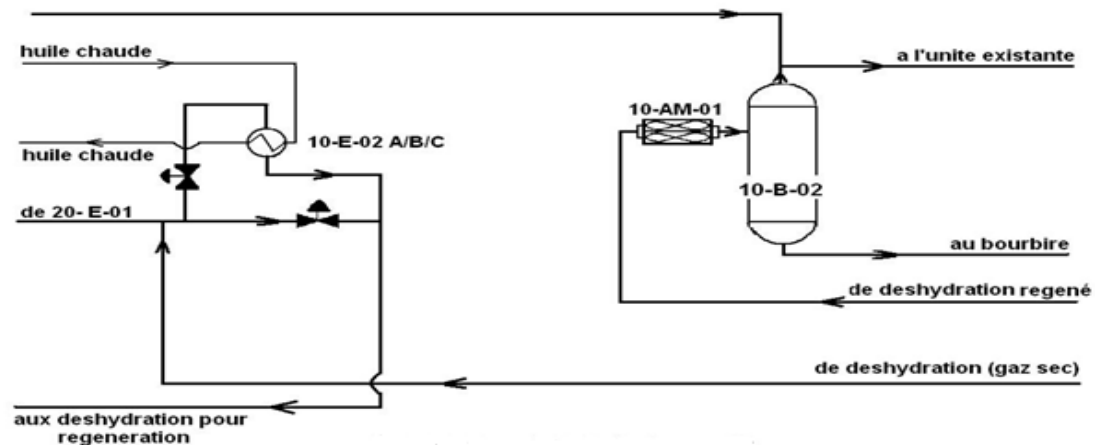


**Fig.II.7:** Schéma de la déshydratation.

Cette déshydratation suivie par la logique S 12-02, c'est un jeu de vanne qui assure les étapes:

**Tab.II.1:** Jeu de vanne S 12-02.

Adsorptions 90 bar, $T_{amb}$	492min
Dépressurisation jusqu'à 20 bars	30 min
Régénération chaud 20 bar, $=T 270 C$	125 min
Re-froidissement 20 bars, $T_{amb}$	70 min
Stan bay	1 min
Pressurization jusqu'au 90 bars	20 min



**Fig.II.8:** Schéma de la boucle de régénération.

➤ **Remarque:**

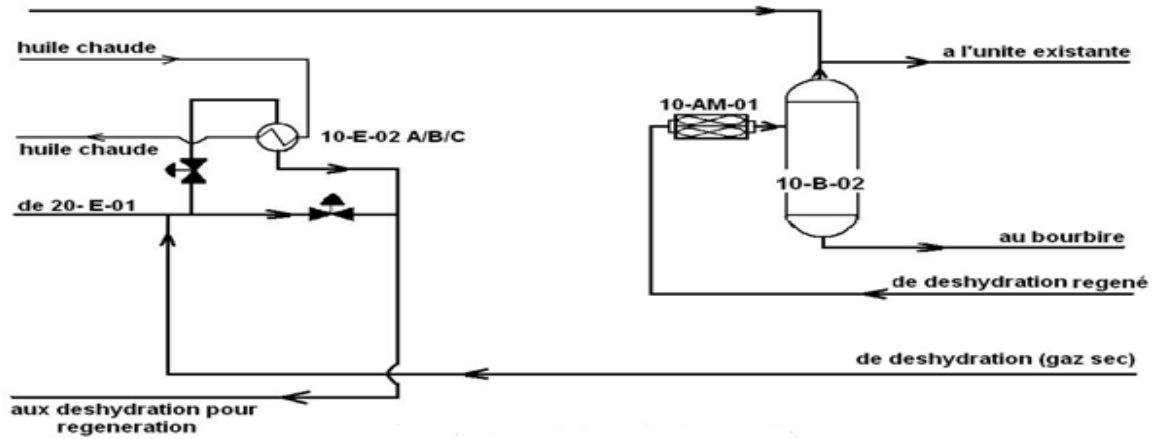
Le gaz de régénération est chauffé à 275(°c) par l'huile diathermique dans les échangeurs 10-E-02A/B/C.

A la sortie des déshydrateurs, le gaz est refroidi à 55(°c) dans l'Aéro-réfrigérant 10-AM-01A /B et séparée dans 10-B-02. L'eau condensée est envoyée au borbire et le gaz est envoyé à l'unité de compression existante (unite30).

**Unité 200 récupération du GPL [30]:**

Dans cette unité le gaz à traiter est refroidi dans les échangeurs de refroidissement 20-E-01,20 E-02 A et B et 20-E-03 pour commencer la condensation des constituent les plus lourdes.





**Fig.II.9:** Schéma du refroidissement par condensation.

Le liquide sortant du séparateur 20-B-06, mélange avec celui sortant du séparateur 20-B-08 est envoyé directement au bas de DEETHANISEUR, tandis que le gaz provenant du 20-B-06 est envoyé à l'Expander 20-KE-01 ou son expansion (de 90 bar à 35 bar) et refroidi de (-6°C à -50°C) et il est alimenté du séparateur 20-B-07.

En cas de problème dans le 20-KE-01 la vanne de détente **JOULE-THOMSON** assure le fonctionnement de l'unité (pour éviter le déclenchement de la turbine Solar par basse pression d'aspiration). Les liquides sortant du séparateur 20-B-07 sont envoyés au dééthaniseur 40-C-01 après refroidissement dans l'échangeur 40-E-03.

Le gaz traité, sortant du séparateur 20-B-07, est envoyé à la récupération du froid dans les échangeurs 20-E-03 et 20-E-02 A et B, ensuite il est Re-comprimé (de 35 bar à 45 bar) par le compresseur 20-K-01 et refroidi (de 84°C à 60°C) dans l'Aéro-réfrigérant 20-AM-01 et envoyé au compresseur final 30-K-01.

**Rq:** Le compresseur 20-K-01 est entraîné par l'énergie produite par l'expander 20-KE-01.

**Tab.II.2:** Paramètre de compresseur 20-K-01.

	<b>P(bar)</b>	<b>T(c°)</b>
<b>Entre 20- KE-01</b>	90	-6
<b>Sortie 20- KE-01</b>	35	-50
<b>Asp 20-K-01</b>	35	37
<b>Ref 20-K-01</b>	45	55

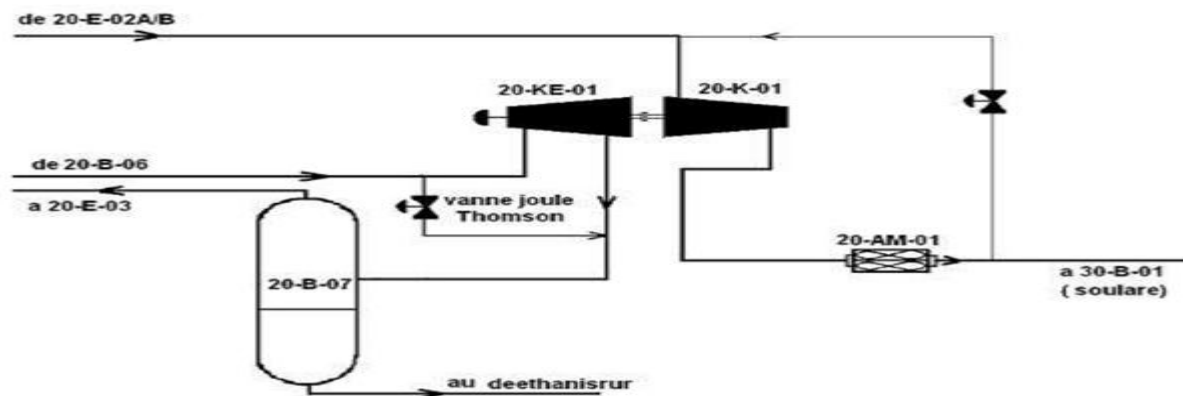


Fig.II.10: Schéma du Turbo-Expander 20-KE-01.

**Unité 300 recomparaissions du gaz traité [30]:**

Le gaz traité, sortant de l'unité 200, est envoyé au séparateur ballon filtre 30-B-01, le liquide sort du séparateur à la torche froide et le gaz comprimé, par le compresseur 30-K-01 (45bar à 80 bars), Refroidi à 60 C° dans l'Aéro-réfrigérant 30-AM-01, il est envoyé vers la station de réinjection Ait Kheir et ou gazoduc 48'' vers GR1 a HassiR'Mel.

Tab.II.3: Paramètres de compresseur 30-K-01.

	P	T(°c)
Asp	45	51
Ref	80	85

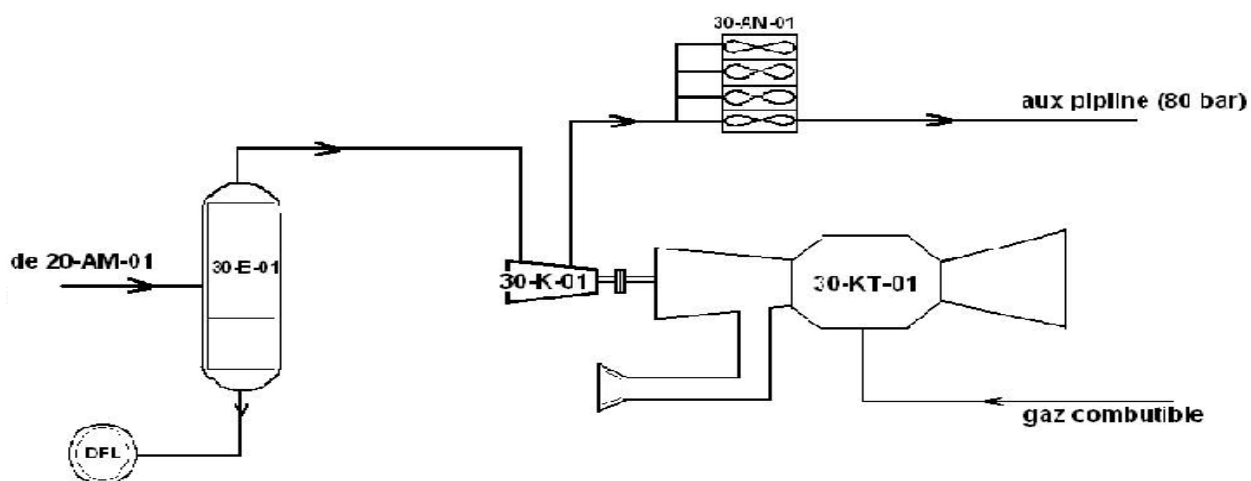


Fig.II.11: Schéma de la Re-compression du gaz.

### 3.4. Unité 400 fractionnement de GPL [30]:

Le but de cette unité est d'extraire le méthane et l'éthane absorbés dans le liquide condensé dans l'unité 200 et de fractionner le liquide ainsi épuré en GPL et condensat .Le fractionnement des hydrocarbures liquides s'effectue essentiellement en deux étapes:

- ▶ L'extraction des constituants légers dans le DEETHANISEUR 40-C-01.
- ▶ La séparation du GPL du condensat dans le DEBUTANISEUR 40-C-02.

Les condensats obtenus par le refroidissement venant des ballons de récupération 20B08/20B06/20B07 alimentent le DEETHANISEUR 40-C-01 en éliminant le méthane et l'éthane (gaz sec)  $C_1$ ,  $C_2$ . Cette colonne a besoin de quelques équipements auxiliaires pour son fonctionnement; tels que le Rebouilleur 40-E-01 qui fonctionne à l'huile diathermique (environ  $200^\circ\text{C}$ ) ; un condenseur de tête de type (tube-calendre) 40-E-03, un ballon de reflux 40-B-02 et des pompes de recirculation.

La pompe 40-P-05 extrait le liquide et le laisse circuler dans l'échangeur 10-E-01 pour refroidir le gaz à traiter (brut). Le fond de DEETHANISEUR 40-C-01 alimente la deuxième colonne, Le DEBUTANISEUR 40-C-02 permet la séparation du GPL ( $C_3^+$ ), après un circuit de réchauffage dans le Rebouilleur 40E01 pour faire dégazer les traces restantes des fractions légères qui restent dans le liquide. Le bouillonnement du DEBUTANISEUR 40-C-02 est assuré par l'échangeur à huile 40-E-02.

Les condensats sortants du fond du DEBUTANISEUR après le passage dans le rebouilleur pour récupérer les traces de GPL et passe ensuite vers le refroidissement par les Aéro-refrigerents. Suite à la faible quantité de production de condensat dans le centre de production de Oued-Noumer, cette quantité est mélangée avec le pétrole brut (gazole) au niveau de l'ancienne unité (20B03). Les vapeurs de tête, après la condensation dans les Aéro-refrigérants sont réceptionnées dans le 40-B-02.

Une partie du GPL est utilisé comme reflux de tête pour la colonne de distillation; l'autre partie est envoyée vers les sphères de stockages de GPL 50T01 (A/B).

**Rq:** vous trouvez plus de détails dans la partie " Théorie de la rectification ".

**Le principe de séparation dans le DEETHANISEUR et le DEBUTANISEUR:**

Cette séparation est basée sur la différence de volatilité des composants du mélange à séparer, Le plus volatile sort en tête de Colonne et le moins volatile sort en bas de la colonne, à cause de la différence de température entre la tête et le bas de la colonne (Rebouilleur pour chauffer la base et un condenseur pour refroidir la tête).

**40-C-01 DEETHANISEUR:**

Cette colonne de 46 plateaux est faite pour séparer et éliminer tous les composés légers ( $C_1$ ,  $C_2$ ), elle reçoit comme charge principale le liquide récupéré du ballon 20 B 07 entrante au niveau du 6<sup>ème</sup> plateaux du haut après être passée à travers l'échangeur 40 E 03 et elle reçoit comme charge secondaire les liquides récupérés des ballons 20 B 08 et 20 B 06 qui sont introduits au niveau du 21<sup>ème</sup> plateaux. Le principe de fonctionnement de cette colonne est basé sur la distillation et sur les équilibre liquides-vapeurs, Grâce au rebouilleur 40 E 01 présent au fond de la colonne, les liquides sont chargés jusqu'à ce qu'on ait l'évaporation des composés les plus volatiles, Les vapeurs formées dans le rebouilleur sont réinjectées au fond de colonne tandis que les liquides sont récupérés en tant que résidu, ce résidu qui sera par la suite la charge principale de la deuxième colonne.

Au sommet de cette colonne, on retrouve l'échangeur de chaleur 40 E 03 qui fait office de condenseur pour les vapeur sortantes de la tête de colonne avant d'être récupérées dans le ballon de reflux 40 B 02 où les liquides formés sont réinjectés au sommet de la colonne comme reflux assuré par les pompes 40 P 06 A/B et les vapeurs ( riches en composés légers  $C_1$   $C_2$  ) sont récupérées pour assurer le refroidissement du gaz traité dans l'échangeur 20 E 01, avant d'être comprimées dans l'unité 300, puis expédiées vers l'unité de compression (Unité 30) ou utilisées comme gaz de régénération dans l'unité de déshydratation.

Dans cette colonne on retrouve une récupération du liquide à partir du 20<sup>ème</sup> plateaux qu'on appelle plateau à cheminée avec les pompes 40 P 05 A/B, afin de l'utiliser pour refroidir le gaz brut dans l'échangeur 10 E 01, à l'entrée de l'unité de GPL, qui est ensuite retourné vers la colonne quelques plateaux plus bas que celui d'où il a été pris car étant plus chaud, ceci nous permettra de garder le bon fonctionnement de la colonne.

**40-C-02 DEBUTANISEUR:**

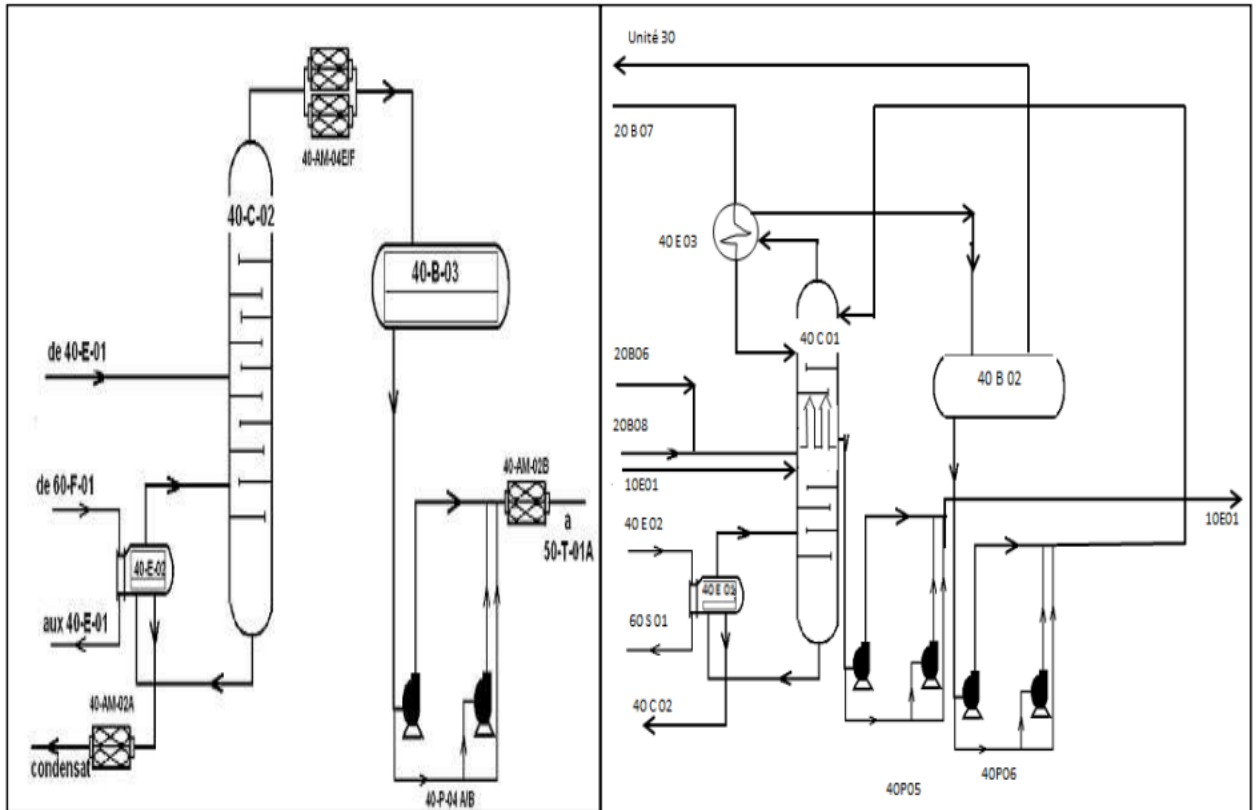
Cette colonne de 40 plateaux qui a pratiquement le même principe de fonctionnement que la précédente, sa charge, introduite au niveau du 22<sup>ème</sup> plateau, vient du rebouilleur de la colonne 40 C 01 (Résidu) composé essentiellement de  $C_2^+$  et est séparée de telle sorte à récupérer en tête, les  $C_4^-$  avec quelques traces de  $C_5$  ce qui est appelé « GPL ». Au fond de la colonne est

recupéré le condensat composé de  $C_5^+$  qui sera réinjecté en amont du 20 B 03. Elle se constitue d'un rebouilleur 40 E 02 au fond de colonne et d'Aéro-réfrigérants 40 AM 04, à son sommet en guise de condenseur des vapeurs quittant le sommet de colonne et d'un ballon de reflux 40 B 03 où est récupéré notre GPL qui sera stocké aux sphères 50 T 01 et une autre partie comme reflux de la colonne. Tout ça est assuré par les pompes 40 P 04.

Vus la différence de composition de la charge et les produits souhaités, les paramètres opératoires de cette colonne différent de la première, qui se résume dans le tableau ci-dessous.

**Tab.II.4:** Paramètres des colonnes (40C01+40C02).

Colonne	P en tête (bars)	T en fond (°c)
40 C 01	22	80
40 C 02	13.5	166

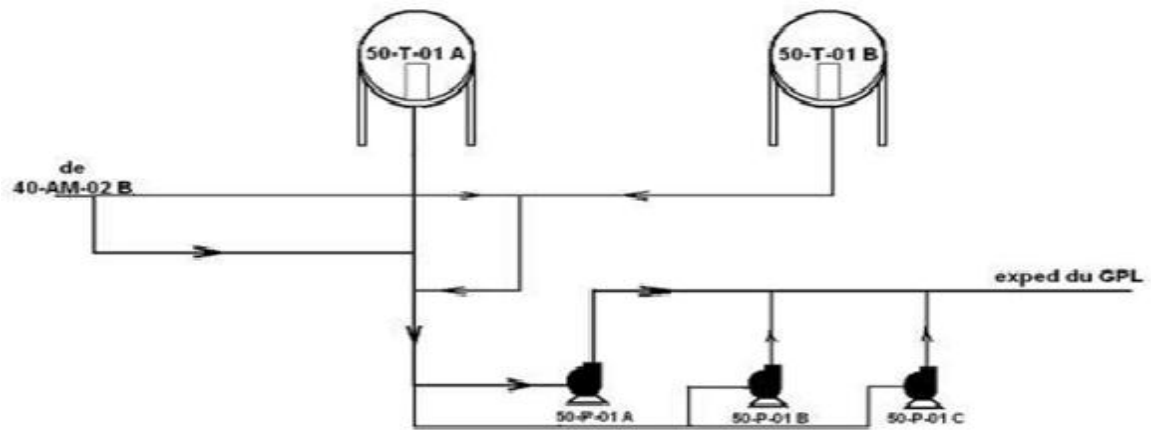


**Fig.II.12:** Schéma du fractionnement du GPL.

**3.5. Unité 500 stockages :**

Cette unité est composée de deux sphères de capacité de 530 m3 et de trois pompes d'expédition de GPL (50-P-01(A/B/C) Une pompe en expédition et les deux autres en réserve.

Dans le cas où le GPL en hors spécifications le retraitement du produit (GPL) est indispensable. L'aide des deux pompes 50P 02A/B en réinjecte le GPL au bas de DEETHANISEUR 40C 01. Le GPL de Oued-Noumer est envoyé travers les pipes vers Arzew.



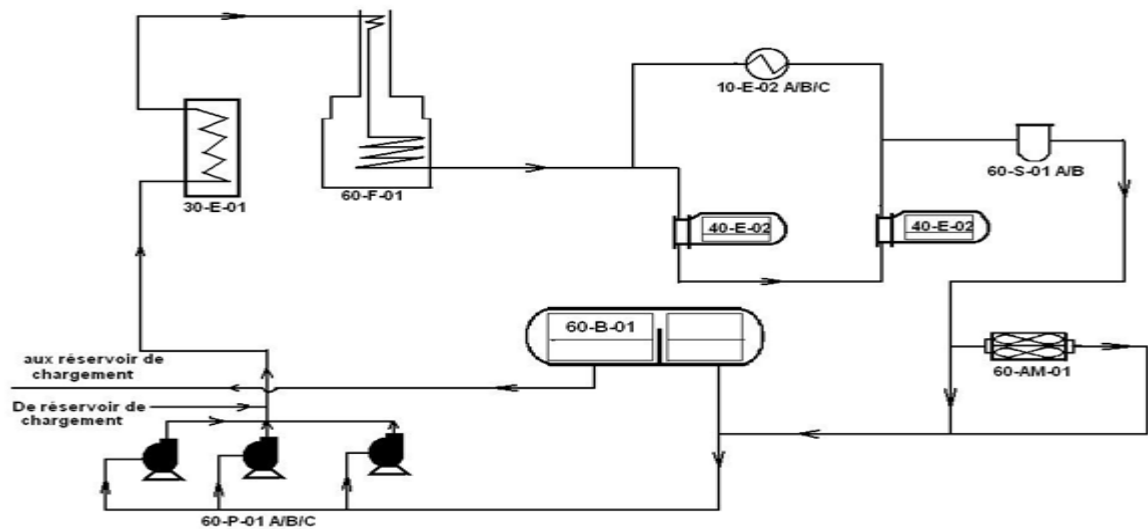
**Fig.II.13:** Schéma de stockages.

### 3.6. Unité 600 circulation huile chaude:

Cette unité est la source de chaleur nécessaire au fonctionnement de l'installation sa chaleur est obtenue en brûlant une partie du gaz combustible dans le four 60-F-01. Le fluide caloporteur prévu est la TORADA TC32, produit et commercialisé en Algérie.

Les fumées d'échappement de la turbine 30-KT-01 permettent de chauffer l'huile grace au récupérateur de chaleur 30-E-01, puis on le passe dans le four 60-F-01, pour augmenter sa chaleur.

Cette huile chauffée est utilisé dans le circuit pour réchauffer le gaz de régénération 10-E-02, et le Bouillonnement des colonnes 40-C-01 et 40-C-02 à travers les rebouilleurs 40-E-01 et 40-E-02. Il y a 3 pompes de circulation (60-P-01 A/B/C), et 2 pompes d'appoint 60-P-02 A/B et un récipient de purge 60-B-02, avec deux pompes de reprise 60-P-03 A/B.

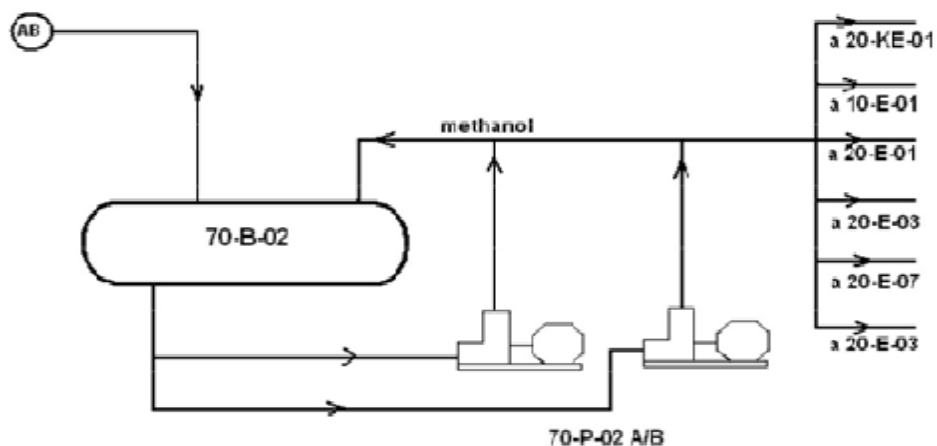


**Fig.II.14:** Schéma de circulation de l'huile chaude.

### 3.7. Unité 700 Système méthanol et torche froide:

#### ➤ Système méthanol:

Le méthanol est stocké dans le réservoir 70-B-01 et il est injecté dans des points de procès par les pompes 70-P-02. Le méthanol utilisé en cas de formation d'hydrate, est injecté dans le procès seulement dans les cas de nécessité absolue.



**Fig.II.15:** schéma de l'injection du méthanol.

#### ➤ Système des déchargements en torche.

Les déchargements froids gazeux et/ou liquides prévus dans l'installation sont acheminés dans le 70-B-01.

Le 70-B-01 sépare les liquides du gaz qui va en torche froide. L'écoulement du liquide peut être effectué par les pompes 70-P-01 A/B (dont l'une est de réserve) ou par évaporation due à l'entrée de chaleur de l'extérieur.

Elles peuvent opérer tant par commande manuelle (HS-7102) que par commande branchement / débranchement de LSH-7101 (démarrage pompe) et de LSL-7101 (arrêt pompe). LSL-7101 arrête les pompes dans tous les cas. Le niveau dans 70-B-01 est indiqué par le LI-7101.

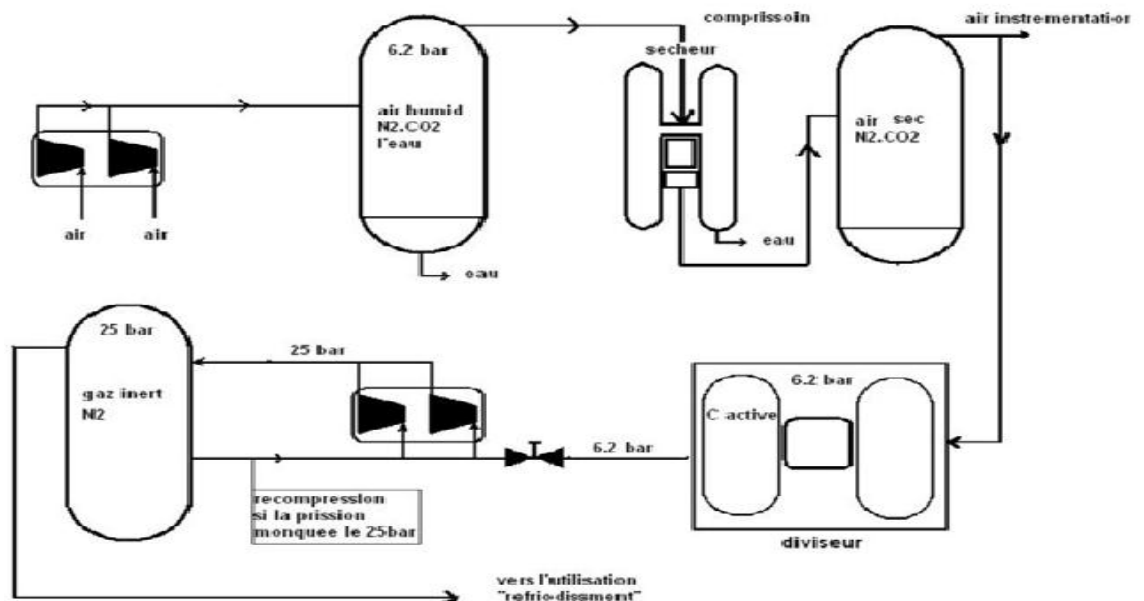
### 3.8. Unité 800 Système air et gaz inerte:

Cette unité est fournie à l'installation:

- ✓ L'air de service (pour le nettoyage).
- ✓ L'air instrument (pour le fonctionnement des vannes de contrôle).
- ✓ Le gaz inerte « l'azote » (pour le refroidissement et le barbotage).

Ce système est formé par :

- ✓ Compresseur d'air 80-K01.
- ✓ Séparateur 80-B-01.
- ✓ Sécheur 80-W-01 (déshydrateur).
- ✓ Accumulateur d'air instrument 80-B-02.
- ✓ Compresseur 80-K-02 pour augmenter la pression dans l'accumulateur d'azote.



**Fig.II.16:** Schéma de l'unité Air instrument, air service et gaz inerte.



**3.9. Unité 900:**

Cette unité assure l'alimentation électrique pour tous les équipements électriques (les pompes et le compresseur d'air) de l'unité GPL.

### III. Théorie de la rectification:

#### III.1. Définition [4]:

La théorie de la distillation n'a été introduite qu'en 1893 par SOREL dans son recueil "la rectification de l'alcool".

La rectification est un procédé physique de séparation d'un mélange d'hydrocarbures et cela par des échanges de matière et d'énergie entre deux phases circulant à contre-courant dans un appareil appelé colonne de rectification.

C'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.2. Description de la colonne de rectification [31]:

La colonne de rectification est un appareil cylindrique vertical, qui peut être constitué de plateaux successifs ou de garnissages, dont le rôle consiste à assurer un contact intime entre les deux phases.

Dans chaque plateau il y a barbotage de la vapeur dans la phase liquide et ceci permettra le transfert de matière et d'énergie entre les deux phases, pour cela les plateaux seront munies d'éléments spéciaux comme les calottes...etc.

Le liquide se déplace par gravité de haut en bas, et la vapeur de bas en haut, grâce à l'énergie de pression utilisée pour qu'il y ait barbotage.

Le liquide arrivant au fond de la colonne est partiellement vaporisé dans le rebouilleur qui crée la phase vapeur nécessaire à la distillation, le liquide non évaporé extrait du fond de la colonne constitue le résidu.

La vapeur arrivant en tête de la colonne est condensée, une partie du produit condensée est envoyée en tête de la colonne en qualité de reflux, le reste est soutiré en tant que distillat (produit de tête) (Voir l'annexe A figure n°3).

La colonne est divisée en trois zones (Voir FigIII.1):

- **Une zone d'alimentation:** C'est l'entrée du mélange à fractionner.
- **Zone de rectification:** Se situe au-dessus de la zone d'alimentation.
- **Zone d'épuisement:** Se situe au-dessous de la zone d'alimentation.

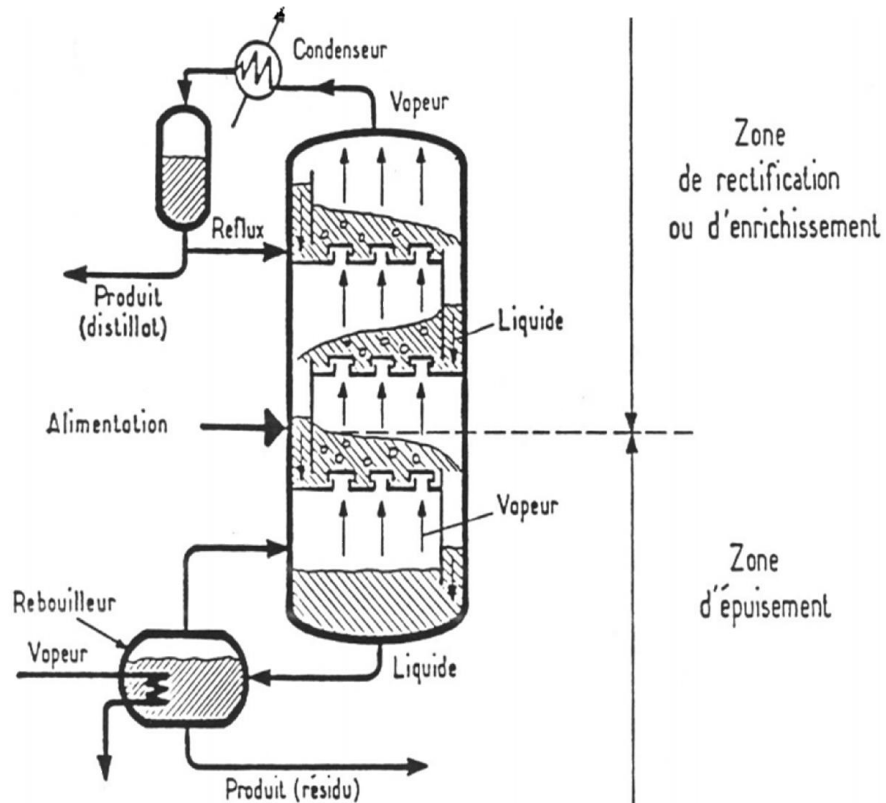


Fig.III.1: Les différentes zones de la colonne de rectification.

### III.3. Injection de la charge dans la colonne de rectification:

Généralement la charge peut être envoyée dans la colonne à :

- **Etat liquide ( $e_0=0$ ):** L'alimentation doit être introduire dans la partie supérieure de la colonne.
- **Etat vapeur ( $e_0=1$ ):** L'alimentation doit être introduire dans la partie inférieure de la colonne.
- **Etat bi-phasique liquide-vapeur ( $0 < e_0 < 1$ ):** L'alimentation doit être introduite dans la partie médiane de la colonne.

Le lieu exact de l'alimentation peut être déterminé en calculant le nombre de plateau de la zone de rectification et d'épuisement.

### III.4. Les équipements essentiels de la colonne de rectification [31]:

- **Le condenseur:**

Le condenseur de tête d'une colonne a pour rôle de refroidir les vapeurs sortantes au sommet de cette dernière afin de les condenser avant leur passage dans le ballon de reflux installé juste après ce condenseur (Voir l'annexe A figure n°1).

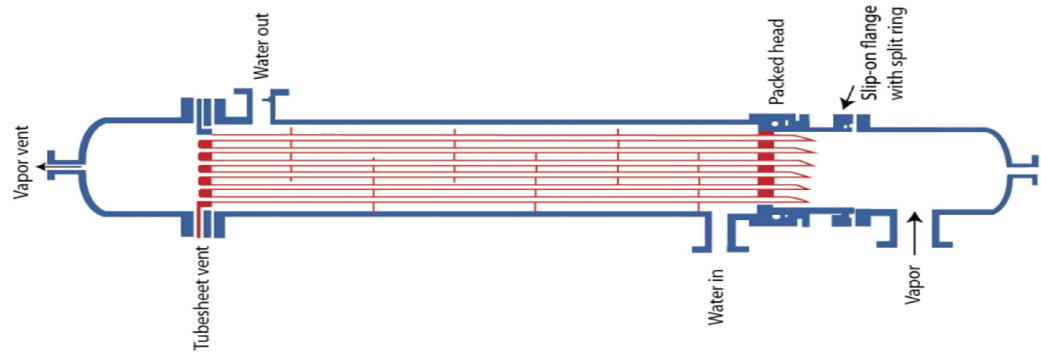


Fig.III.2: Le condenseur.

#### - Le ballon de reflux

Le ballon de reflux est un séparateur où le mélange gaz-liquide (dans le cas d'une condensation partielle) y est séparé, il sert aussi de ballon de stockage afin de renvoyer une partie du liquide formé après condensation vers le sommet de la colonne comme reflux pour maintenir la pression et la température ainsi corrigé la composition de tête alors que l'autre partie est récupérée comme distillat (Voir l'annexe A figure n°1).

#### - Le rebouilleur

C'est un échangeur de chaleur où les liquides sont réchauffés à l'aide d'un fluide chaud (généralement de la vapeur d'eau ou une huile diathermique) passant dans les tubes de cet échangeur. Il est composé de deux compartiments du côté de sa calandre, l'un où les liquides sont en contact avec les tubes pour être réchauffés, la vapeur formée est renvoyé au fond de la colonne pour maintenir une température précise, le deuxième compartiment sert à récupérer une partie des liquides comme résidu (Voir l'annexe A figure n°1).

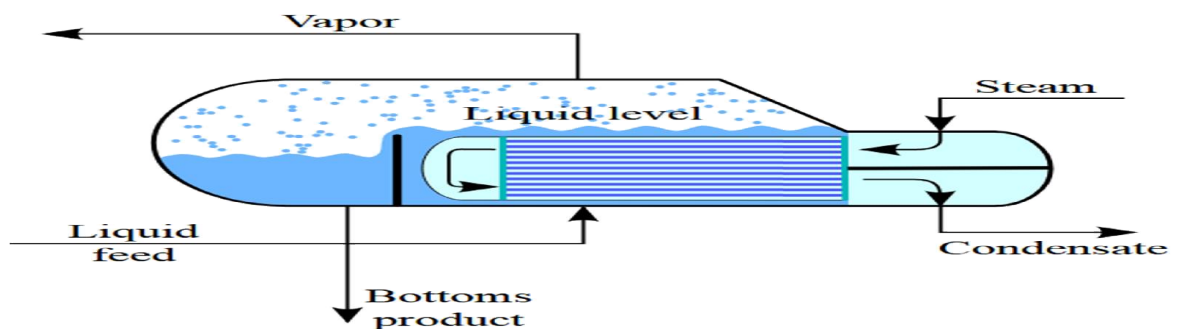


Fig.III.3: Le rebouilleur.

### III.5. Classification des colonnes [31]:

On distingue deux types de colonnes selon leurs plateaux (Voir l'annexe A figure n°4):

- ✓ Colonne à plateaux.
- ✓ Colonne à garnissage.

### 5.1.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 discontinu sur les plateaux.

Les paramètres opératoires (T, P) ainsi que le nombre de plateaux théoriques et les quantités de chaleur à mettre en œuvre sont fonction des bilans massiques (matière) et thermiques et des équations d'équilibre.

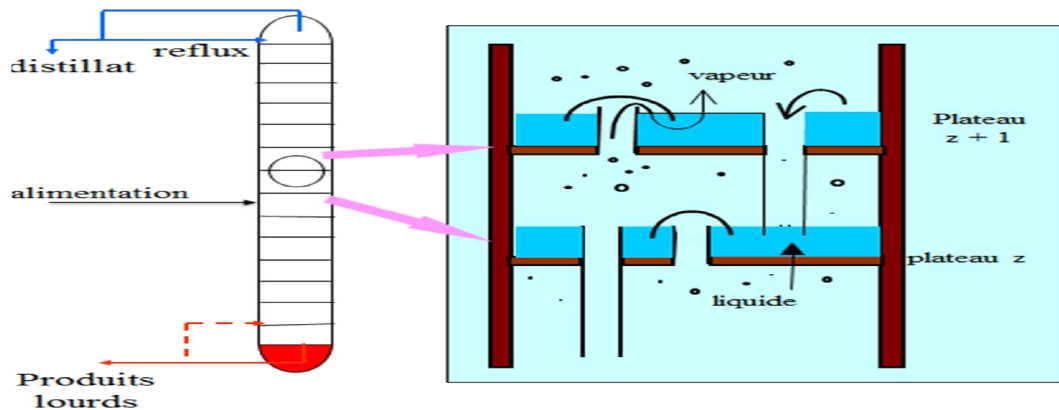


Fig.III.4: Colonnes à plateaux.

#### - Les types de plateaux:

Le plateau est l'élément actif de la colonne, il a pour fonction la mise en contact de la phase liquide et de la phase gazeuse de façon à amener celles-ci le plus près possible de l'état d'équilibre

Les différents types de plateaux les plus utilisés dans l'industrie sont:

- ❖ Plateau à calotte.
- ❖ Plateau perforé.
- ❖ Plateau à clapets.

Ils sont représentés dans la figure ci-dessous:

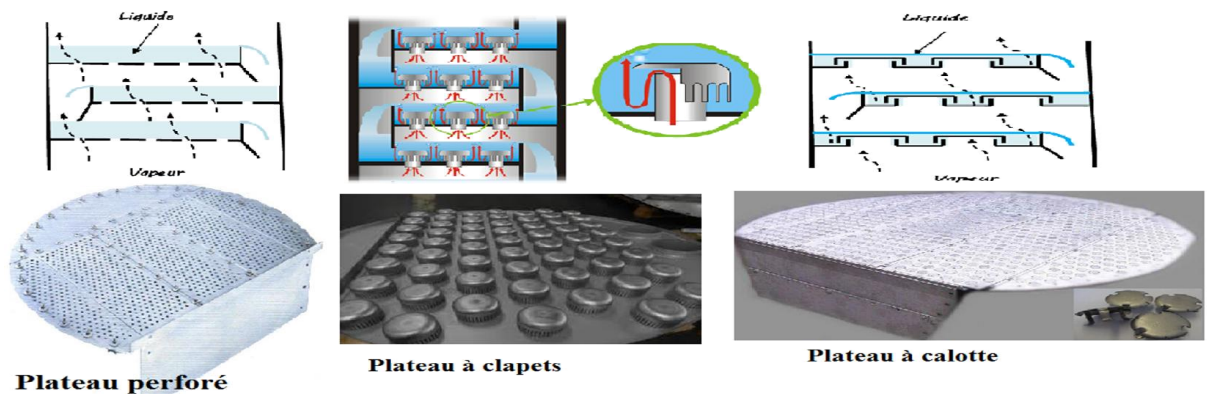


Fig.III.5: Les différents types de plateaux.

### 5.2. Colonnes à garnissage [32]:

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. Le garnissage efficace doit être tel que la surface par unité de volume soit la plus grande possible, distribution uniforme du liquide et du gaz et faibles pertes de charges. (Voir l'annexe A figure n°1)

Les garnissages les plus utilisés dans l'industrie sont de « RASHING » qui est des manchons de cylindres dont la hauteur est égale au diamètre extérieur.

Leur construction est en céramique ou en porcelaine (bon marché et grande résistance à la corrosion). Comme il existe aussi des anneaux en acier, en carbone, et en matière plastique (polyéthylène).

#### Avantage:

- Prix moins élevé.
- Faible perte de charge.
- Rétention peu importante.

#### Inconvénients:

- Faible flexibilité.
- Faible flexibilité des colonnes à grand diamètre [32].

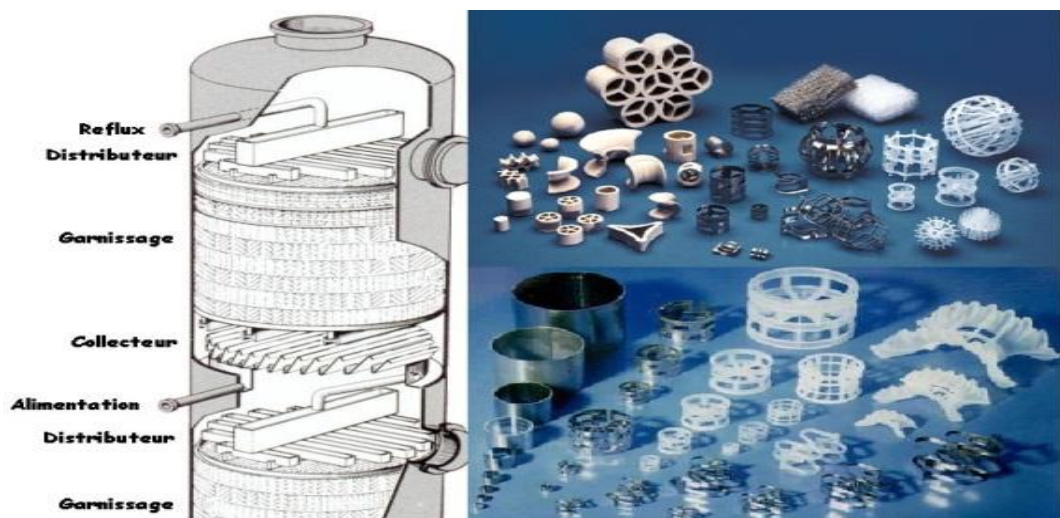


Fig.III.6: Les différents types de garnissage utilisés.

### III.6. Principes de fonctionnement de la colonne de rectification [31]:

La charge est alimentée à la partie médiane de la colonne (zone de flash). Elle peut être admise sous forme de liquide, de vapeur ou d'un mélange liquide-vapeur. Chaque plateau, plateau  $n$  par exemple permet un contact entre la vapeur  $G_{n-1}$  montant vers ce plateau et le liquide  $g_{n+1}$  qui en coule. A la suite de ce contact il se produit une modification des compositions des phases, la vapeur s'enrichissant en corps le plus volatil et le liquide en corps le moins volatil.

La vapeur  $G_n$  qui monte de plateau de rang  $n$  est plus riche en corps le plus volatil que la vapeur  $G_{n-1}$ , tandis que le liquide  $g_n$  est plus riche en constituants le moins volatil que le liquide  $g_{n+1}$ .

Ces échanges se poursuivent jusqu'à ce que la vapeur en haut de la colonne et le liquide en bas atteignent les concentrations imposées ou titre extrême. Il est bien noté que l'échange entre les flux ne s'effectue que si le liquide de  $g_{n+1}$  et la vapeur  $G_n$  se trouvant à un même niveau ne sont pas en équilibre. Si la pression à l'intérieur de la colonne est constante, cette condition est réalisée pour autant que la température  $T$  du liquide  $g_{n+1}$  soit inférieure à la température  $T$  de la vapeur  $G_n$ , c'est-à-dire si la température diminue de plateau en plateau suivant le mouvement de la vapeur.

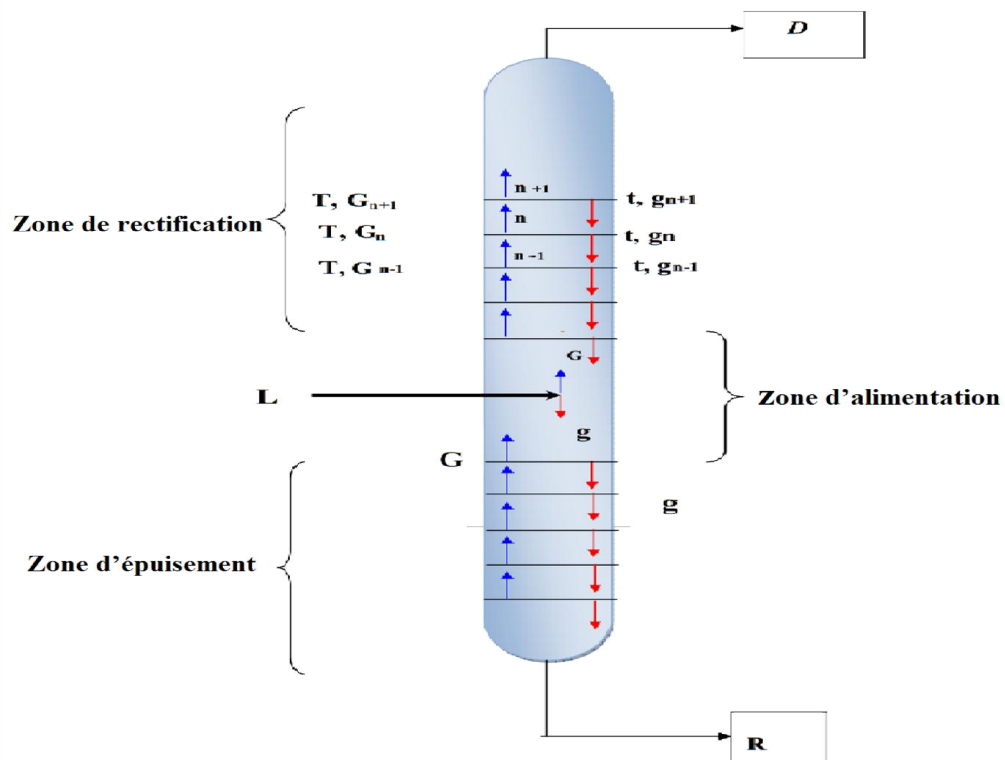


Fig.III.7: Schéma général du fonctionnement d'une colonne de rectification

### III.7. Les conditions opératoires colonne rectification [33]:

Pour assurer le bon fonctionnement de colonne de rectification il faut respecter des conditions opératoires qui déterminent les valeurs de distillat et le résidu qui à leur tour fixent le point de coupe de charge.

A l'aide des lois situées dessous on peut déduire les conditions opératoires nécessaires.

#### 7.1. Lois fondamentales de transfert de matière:

##### Lois de DALTON [33]:

Considérons une phase vapeur composée de constituants auxquels on peut appliquer la loi des gaz parfaits, alors la pression partielle d'un constituant ( $p_i^V$ ) est proportionnelle à la pression du système ( $P_T$ ) et à sa concentration molaire ( $Y_i$ ):  $P_i^V = P_T \cdot Y_i$  (III.1)

Avec:

$P_i^V$ : Pression partielle d'un constituant « i ».

$P_T$ : Pression du système.

$Y_i$ : Concentration molaire du constituant « i » en phase vapeur.

##### Lois de RAOULT et d'HENRY [33]:

Pour un système idéal, la pression de chaque constituant est égale à sa pression de vapeur à l'état pur et à la température du mélange, multipliée par sa fraction molaire dans la phase liquide.

$$P_i^L = P_i \cdot X_i \quad (III.2)$$

$P_i^L$ : Pression partielle d'un constituant « i ».

$P_i$ : Tension de vapeur du constituant « i ».

$X_i$ : Concentration molaire du constituant « i » en phase liquide.

Dans le cas des mélanges réels les constituants obéissent à la loi d'HENRY, d'après cette loi, la pression partielle d'un constituant à une température fixe, est proportionnelle à la concentration molaire du constituant dissout dans la phase liquide:

$$P_i = H_i \cdot X_i \quad (III.3)$$

Avec:

$H_i$ : constante d'Henry; dépend de la nature du constituant et de la température. A l'équilibre, les pressions partielles d'un même constituant dans les deux phases liquides et vapeur sont égales:  $p_i^L = p_i^V$  (III.4)



## 7.2. Bilan de matière de la colonne:

A partir de la figure (FigIII.7) on peut écrire le bilan de matière pour les différentes zones de la colonne.

### - La colonne entière:

Les bilans matière pour la colonne entière et pour le constituant « i » Quelconque s'écrivent:

#### Bilan matière global et partiel:

$$L=D+R \quad (III.4)$$

$$Lx'_{Li}=Dy'_{Di}+Rx'_{Ri} \quad (III.5)$$

Avec : L, D, R : Débit molaire de la charge, du distillat et du résidu respectivement.

$x'_{L}$ ,  $y'_{Di}$ ,  $x'_{Ri}$  : Concentrations molaires du constituant le plus volatil dans la charge, dans le distillat et dans le résidu respectivement.

#### Bilan matière de la zone de rectification:

$$G=g+D \quad (III.6)$$

Donc :

$$G y'_{ni} = g \cdot x'_{(n-1)i} + D \cdot y'_{Di} \quad (III.7)$$

La résolution de cette équation par rapport à  $y'_{Di}$  donne l'équation de concentration de la zone de rectification.

$$y'_{ni}=m \cdot x'_{(n-1)i}+(1-m) \cdot y'_{Di} \quad (III.8)$$

$$y' = r_f / (r_f + 1) \cdot x' + (1 / (r_f + 1)) \cdot y'_D \quad (III.9)$$

Avec

$$r_f = g/D \text{ et } m = r_f / (r_f + 1) \quad (III.10)$$

où  $r_f$ : le taux de reflux.

#### Bilan matière de la zone d'épuisement:

$$g' = G' + R' \quad (III.11)$$

Donc :

$$g' x'_{(n+1)i} = G' y'_{ni} + R' x'_{Ri} \quad (III.12)$$

.A partir de cette équation, on trouve:

$$x'_{(n+1)i} = (1/m') \cdot y'_{ni} + [(m'-1)/m'] \cdot x'_R \quad (\text{III.13})$$

$$y'_i = [(r_b+1)/r_b] \cdot x'_i - (1/r_b) x'_R \quad (\text{III.14})$$

Donc

$$r_b = G'/R \quad \text{et} \quad m' = g'/G' \quad (\text{III.15})$$

### III.8. La volatilité relative [33]:

Dans les calculs de la rectification des mélanges complexes, on sera amené à effectuer des séries de calcul d'équilibre pour chaque zone.

Pour éviter le travail lent et fastidieux des approximations successives, on peut utiliser une méthode simplifiée et rapide donnant une précision assez suffisante.

Cette méthode fait intervenir la notion de la volatilité relative  $\alpha_i$  étant le rapport des coefficients d'équilibre du constituant  $i$  à celui d'un constituant de référence  $r$  choisit généralement comme étant l'élément le plus lourd (le moins volatil du mélange).

$$\alpha_i = K_i / K_r \quad (\text{III.16})$$

En qualité de constituants de référence, on peut choisir n'importe quel constituant (habituellement le constituant moins volatil du mélange). En tenant compte de l'équation (III.15), l'équation d'équilibre peut s'écrire sous la forme:

$$y'_i = K_i x'_i = \alpha_i K_r x'_i \quad (\text{III.17})$$

$$x'_i = y'_i / \alpha_i K_r \quad (\text{III.18})$$

### III.9. Choix de la pression dans la colonne [33]:

Quelle que soit la complexité du mélange à séparer, le choix de la pression est avant tout un problème économique. On sait qu'à faible pression la sélectivité de la séparation sera meilleur et que l'on évitera l'altération thermique des produits, mais on contrepartie, à faible pression il faut condenser à basse température les vapeurs de tête pour obtenir le reflux liquide à sa température de bulle, donc c'est le choix du fluide réfrigérant qui va imposer la pression dans la colonne.

Si la température de la condensation des vapeurs de distillats à la pression atmosphérique est plus basse que celle de l'eau ou de l'air, la colonne doit fonctionner sous haute pression pour que la condensation des vapeurs du distillat puisse être réalisée par réfrigération ordinaire.

Quelle que soit la température de service, la température de la condensation totale des vapeurs du distillat doit être prise au moins de 15 à 20°C plus grande que celle du fluide réfrigérant, ainsi la pression  $P_B$  dans le ballon de reflux est déterminée par approximation successives d'après l'équation d'isotherme de la phase liquide:

$$\sum K_i \cdot x'_i = 1 \quad (\text{III.19})$$

### 9.1. La pression au sommet de la colonne:

La pression au sommet de la colonne est calculée comme suit:

$$P_s = P_b + \Delta P_1 \quad (\text{III.20})$$

En se basant sur l'équation de l'isotherme de la phase liquide, la pression dans le ballon de reflux est calculée par approximations successives d'après l'équation suivante:

$$\sum K_i \cdot X'_{D,i} = 1 \quad (\text{III.21})$$

### 9.2. La pression au fond de la colonne:

La pression au fond de la colonne est calculée comme suit:

$$P_f = P_s + \Delta P_2 \quad (\text{III.22})$$

### 9.3. La pression dans la zone d'alimentation:

La pression dans la zone d'alimentation est calculée comme suit:

$$P_L = (P_s + P_f) / 2 \quad (\text{III.23})$$

$P_L$ : Pression de la zone d'alimentation.

## III.10. Régime de la température dans la colonne [33]:

A la pression de service  $P_s$  (pression du sommet de la colonne), la température au sommet de la colonne est déterminée par approximation successive à partir de l'équation de l'isotherme de la phase vapeur:

$$\sum (Y'_{D,i} / K_i) = 1 \quad (\text{III.24})$$

La température au fond de la colonne (dans le rebouilleur doit être calculée comme la température de bulle du Résidu à la pression  $P_f$ ) Est déterminée par approximation successive à partir de l'équation de l'isotherme de la phase liquide:

$$\sum (K_i \cdot X_{R',i}) = 1 \quad (\text{III.25})$$

Et pour la température de la charge, elle peut être déterminée en trois cas:

1- Si la charge est à l'état liquide, on utilise l'équation suivante:

$$\sum (K_i \cdot X_{L,i}) = 1 \quad (\text{III.26})$$

2- Si la charge est à l'état vapeur, on utilise l'équation suivante:

$$\sum (Y'_{Li}/K_i) = 1 \quad (\text{III.27})$$

3- Si la charge est à l'état liquide-vapeur, on utilise l'équation suivante:

$$\sum X'_{0,i} = \sum [X'_{i}/1 + e'(K_i - 1)] = 1 \quad (\text{III.28})$$

$$(Y'_{0,i}/X'_{0,i}) = K_i \quad (\text{III.29})$$

### III.11. Taux de vaporisation et compositions des phases liquide/vapeur de la charge:

Lors du calcul de la zone d'alimentation, il est nécessaire de disposer du débit et de la composition des phases liquides et vapeurs de la charge.

D'après la définition de taux de vaporisation et de condensation de la charge, on a:

$$e_o' = G_o/L$$

d'où:

$$G_o = e_o' \cdot L \quad (\text{III.30})$$

$$r_o' = g_o/L$$

$$d'où : g_o = r_o' \cdot L \quad (\text{III.31})$$

A une pression et une température donnée, le taux de vaporisation ainsi que la composition des phases de la charge sont déterminées par approximation successive d'après l'équation connue de TREGOUBOV [33]:

$$\sum X'_{oi} = \sum [X'_{Li}/1 + e_o'(K_i - 1)] = 1 \quad (\text{III.32})$$

Où :

$$r_o' + e_o' = 1 \quad (\text{III.33})$$

Cette dernière équation peut être utilisée également pour déterminer la température de la charge si la pression et ( $e_o'$ ) sont connus.

### III.12. Choix de taux de reflux [33]:

Le taux de reflux détermine les dimensions de l'équipement et les dépenses énergétiques au sommet et au fond de la colonne.

#### 12.1. Fonctionnement à reflux minimal:

Le fonctionnement à reflux minimal correspond à un nombre infini de plateaux pour la séparation spécifiée, donc d'après la formule d'UNDERWOOD : généralement, on détermine le taux de reflux minimal suivant l'équation:

$$(r_f)_{\min} = \phi \sum (Y_{Di} / \alpha_{Li} - \phi) \quad (\text{III.34})$$

$$(r_b)_{\min} = \phi \sum (\alpha_{Li} \cdot X'_{R,i} / \alpha_{Li} - \phi) \quad (\text{III.35})$$

La relation entre  $(r_f)_{\min}$  et  $(r_b)_{\min}$  est donnée par la formule suivante:

$$(r_b)_{\min} = [(D(r_f)_{\min}/L) + (1 - e'_{o}) - (R/L)] / (R/L) \quad (\text{III.36})$$

### 12.2. Taux de reflux optimal:

L'étude de procédé de rectification montre que la valeur du taux de reflux correspond à un nombre fini de plateau théorique et que ce nombre diminue quand le taux de reflux s'accroît.

Pour ces calculs approximatifs, on peut utiliser la formule proposée par GILLILAND (Voir l'annexe A figure n°1):

$$[(r_f)_{\text{opt}} - (r_f)_{\min}] / [(r_f)_{\text{opt}} + 1] = 0,1 \div 0,33 \quad (\text{III.37})$$

Donc on aura:

$$(r_f)_{\text{opt}} = a \cdot (r_f)_{\min} \quad (\text{III.38})$$

### III.13. Bilan thermique de colonne [33]:

L'établissement du bilan thermique de la colonne peut être nécessaire pour déterminer:

- La quantité de chaleur à apporter au rebouilleur.
- La quantité de chaleur à retirer du condenseur.

Ainsi que pour vérifier:

- Le débit de fluide chauffant et le débit de fluide refroidissant.
- Le débit de reflux.

La somme des flux enthalpie que entrants doit être égale à la somme des flux enthalpies que sortants.

Les flux enthalpies que entrant sont généralement:

- La chaleur apportée au rebouilleur.
- Le flux enthalpie que des produits alimentant la distillation.

Les flux enthalpies que sortant sont généralement:

- La chaleur retirée du condenseur.
- Les flux enthalpies que des produits extraits de la distillation.

L'équation de bilan thermique de la colonne entière s'écrit :

$$L.h_L + Q_{Rb} = D.h_D + R.h_R + Q_{Con} \quad (\text{III.39})$$

$$h_L = \epsilon_0.H_0 + (1 - \epsilon_F).h_0 \quad (\text{III.40})$$

$$Q_R = G_R \cdot (H_R - h_R) \quad (\text{III.41})$$

$$Q_{Con} = (D + g_x) \cdot (H_D - h_D) \quad (\text{III.42})$$

A partir du bilan thermique de la colonne :

$$g_x = (r_f)_{opt} \cdot D \quad (\text{III.43})$$

$$G_x = (r_b)_{opt} \cdot R \quad (\text{III.44})$$

Avec :

$(r_b)_{opt}$  : le taux de rebouillage optimal.

$Q_R$ : Charge thermique du rebouilleur [kcal /h].

$Q_C$ : Charge thermique du condenseur [kcal /h].

$h_L$ : Enthalpie de la charge [kcal /kmol].

$\epsilon$ : Taux de vaporisation de la charge [molaire].

$H_0$ : Enthalpie de la phase vapeur de la charge [kcal /kmol].

$h_0$ : Enthalpie de la phase liquide de la charge [kcal/kmol].

$h_D$ : Enthalpie du distillat à l'état liquide [kcal /kmol].

$H_D$ : Enthalpie du distillat à l'état vapeur (vapeur de tête de colonne) (kcal/kmol).

$H_R$ : Enthalpie de l'effluent provenant du rebouilleur [kcal /kmol].

$h_R$ : Enthalpie du résidu à l'état liquide [kcal /kmol].

$g_x$ : Débit du reflux froid [kmol /h].

$G_R$ : Débit du reflux chaud (vapeur provenant du rebouilleur) [kmol /h].

## **IV. Simulation et Rationalisation des paramètres fonctionnels**

### **IV.1. Généralités sur la simulation:**

La simulation est définie comme étant la représentation d'un phénomène physique à l'aide des modèles mathématiques permettant de décrire son comportement. Autrement dit, la simulation permet de représenter les différents phénomènes: transfert de masse, de chaleur et de quantité de mouvement, se produisant dans les opérations unitaires, par l'intermédiaire de modèles utilisant des équations analytiques.

Il existe plusieurs logiciels de simulation industriels sur le marché, ils se divisent en deux catégories:

❖ Statiques: ASPEN PLUS (Aspen Technologies), DESIGN II (de WINSIM), HYSYS (HYPROTECH), PRO/II (Simulation Sciences), PROSIM, CHEMCAD.

❖ Dynamiques: HYSYS, ASPEN DYNAMICS (Aspen Technologies), DESIGN II (de WINSIM), SYMSYM (Simulation Sciences INC).

#### **1.1. Présentation du logiciel HYSYS:**

Le Simulateur HYSYS est un ensemble de modèles mathématiques des opérations unitaires (ballon, colonne de distillation, compresseur, vanne...etc.), ces opérations sont connectées dans un schéma de procédé PFD par le courant d'information généré dans ces opérations. Donc le HYSYS est un programme informatique pour la simulation des procédés de l'industrie du gaz, des procédés du raffinage et de la pétrochimie.

- ❖ A l'état stationnaire.
- ❖ En dynamique.

Le HYSYS peut être utilisé pour:

- ✓ Engineering.
- ✓ Etablissement des bilans de matière et d'énergie d'un procédé industriel.
- ✓ Dimensionnement des équipements.

- ✓ Réajustement des paramètres de fonctionnement dans le cas de changements de composition de l'alimentation.
- ✓ Détermination des performances des équipements.

Pour l'utilisation du HYSYS l'utilisateur doit:

- ✓ Choisir un modèle thermodynamique et les constituants.
- ✓ Etablir le schéma de procédé PFD (Voir l'annexe B figure n°1).
- ✓ Spécifier les paramètres nécessaires de chaque opération.
- ✓ Il peut aussi dimensionner des équipements.

Le HYSYS nous donne par un schéma du procédé. Les résultats sont des bilans de matières et d'énergie.

### **1.2. Le choix de modèle thermodynamique [1]:**

Le logiciel donne accès à plusieurs modèles thermodynamiques pour la prédiction de l'équilibre liquide vapeur, d'enthalpie et d'entropie ainsi que les propriétés de transports.

La réussite de la simulation dépend grandement du choix du modèle thermodynamique, car ce dernier est établi pour une classe de fluide et un domaine de conditions P et T recommandées en posant des hypothèses et des suppositions pratiques.

Parmi les modèles thermodynamiques existant, il y a lieu de citer ceux qui sont basés sur les équations d'états comme:

- ❖ PENG ROBINSON(PR).
- ❖ SOAVE RIEDLICH KWONG (SRK).



De plus ces modèles sont applicables pour une large gamme de conditions opératoires, comme le montre le tableau suivant:

**Tab.IV.1:** Les domaines d'application des modèles thermodynamiques

Modèle	Température (°C)	Pression (Bar)
PR	> -271	< 1000
SRK	> -143	< 350

### 2.1.L'équation d'état de SOAVE-REDLICH-KWONG (SRK) [1]:

L'équation SRK vise à améliorer la représentation des fluides réels. Elle est de la forme générale :

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a(T)}{V(V + b)}$$

Où :

P : Pression ;

R : Constante de gaz parfaits ;

T : Température absolue ;

V : Volume ;

$a(T)$ : Paramètres d'attraction dépend de la température, qui est exprimé selon REDLICH et KWONG 1949 en fonction de la température réduite  $T_r$  au moyen de l'expression:

$$a(T) = \frac{a_c}{\sqrt{T_r}} \quad (\text{IV.2})$$

Où :

$a_c$ : Constante liée à la température critique.

Selon SOAVE 1972 le facteur  $a(T)$  est exprimé par la relation :

$$a(T) = a_c \alpha(T_R) \quad (\text{IV.3}) \quad \text{Avec : } \alpha(T_R) = [1 + m (1 - \sqrt{T_r})]^2 \quad (\text{IV.4})$$

Le coefficient  $m$  est calculé en fonction du facteur acentrique  $\omega$  :

$$m = 0.480 + 1.574\omega - 0.176\omega^2 \quad (\text{IV.5})$$

### 2.2.L'équation d'état de PENG ROBINSON (PR) [1]:

L'équation de PENG ROBINSON diffère de l'équation SOAVE par l'expression de terme d'attraction. Il a été introduit en vue d'améliorer les résultats obtenus par l'équation de SOAVE, notamment en ce qui concerne le calcul des densités en phase liquide, sans modifier le nombre des paramètres.

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a(T)}{V(V + b) + b(V - b)} \quad (\text{IV.6})$$

## IV.2.le modèle thermodynamique utilisé :

Avant de faire la modalisation du procédé sur le programme, il faut connaître le modèle thermodynamique utilisé par le constructeur est cela est un peu difficile, à cause de la confidentialité, alors comment allons-nous résoudre ce problème pour achever cette étude ?

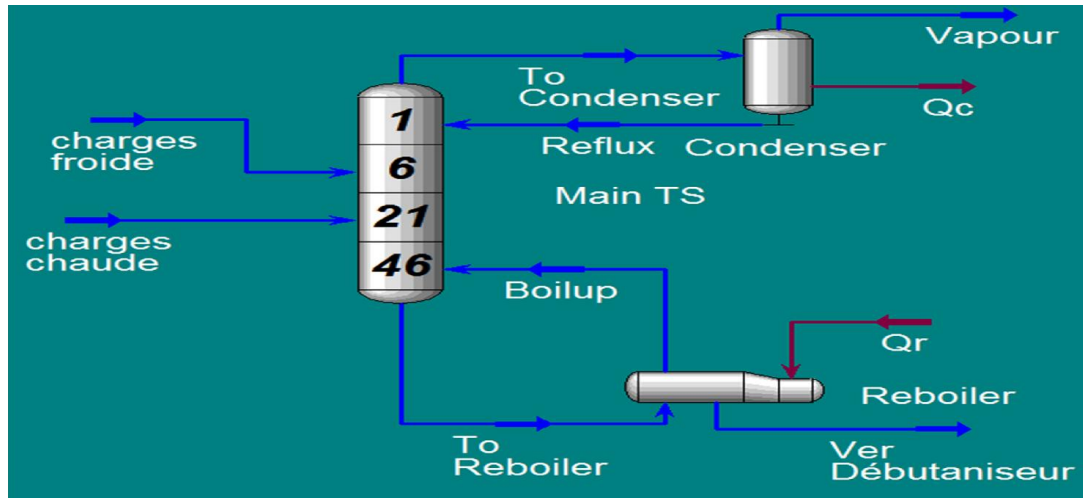
### Notre étude comporte :

- 1- Modélisation de la colonne 40C01 par le logiciel HYSYS.
- 2- Simulation du fonctionnement DESIGN et le choix de l'équation d'état thermodynamique.
- 3- Simulation du fonctionnement actuel.
- 4- Adaptation des paramètres.

### 2.1. Modélisation de la colonne 40C01 par le logiciel HYSYS:

Avant d'appliquer le modèle sur le cas actuel, la vérification des modèles thermodynamiques choisis s'impose, en prenant en considération les paramètres design de la section DEETHANISEUR (40 C 01).

La validation du modèle thermodynamique consiste à comparer les résultats de la simulation avec les données du constructeur. Le schéma de la simulation est donné sur la figure suivante:



**Fig.IV.1:** Modèle de simulation de la colonne du DEETHANISEUR.

## 2.2. Simulation de fonctionnement cas DESIGN et le choix de l'équation d'état thermodynamique:

Nous avons réalisé la simulation du DEETHANISEUR en tenant compte les paramètres opératoires ainsi que les compositions représentées dans les tableaux ci-dessous:

**Tab.IV.2:** Paramètres DESIGN d'exploitation de la colonne 40C01.

Parameters	DEÉTHANISEUR 40C01
Nombre de plateaux	46
Plateaux d'alimentation n°1froide	6
Plateaux d'alimentation n°2choude	21
Type de plateaux	Calottes

Tab.IV.3: Paramètres de sortie des ballons 20B08/06 et 20B07.

Conditions	Alimentation Froide	Alimentation Chaude
Débit molaire (kmole/h)	2348.1	746.8
Débit massique (kg/h)	83210	22478
Température (°C)	-41	-24
Pression (bars)	30.5	23.5

Tab.IV.4: Données sur les charges froides et chaudes de la colonne 40C01.

Composants	Fraction molaire $X_{Fi}$	Fraction molaire $X_{Ci}$
$N_2$	0.0025	0.0110
$CO_2$	0.0019	0.0018
$C_1$	0.2769	0.5157
$C_2$	0.2983	0.195
$C_3$	0.2304	0.124
$iC_4$	0.0517	0.0324
$nC_4$	0.1024	0.0717
$iC_5$	0.0138	0.0133
$nC_5$	0.0147	0.0158
$C_{6+}$	0.0075	0.0193
<b>Total</b>	1	1

**Résultats de la simulation:**

La simulation de la section de fractionnement de la colonne 40C01 qui est effectuée par HYSYS en utilisant les deux modèles thermodynamiques PENG-ROBINSON (PR) et SOAVE REDLICH KWONG (SRK), donne les résultats suivants :

**Débits et compositions des produits finaux:**

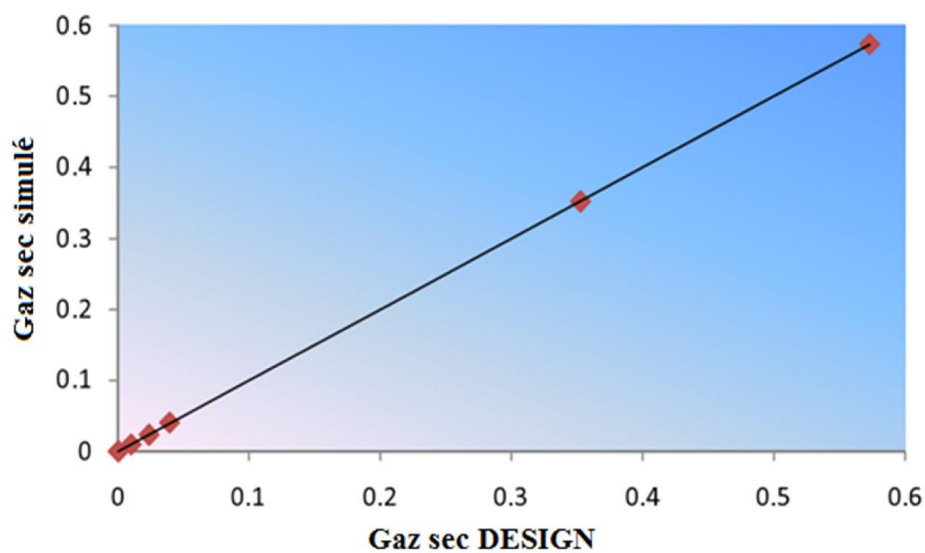
Les débits et compositions des produits obtenus par la simulation et la comparaison avec le cas design sont représentés dans les tableaux ci-dessous.

**Tab.IV.5:** Paramètres de tête et fond de la colonne 40C01.

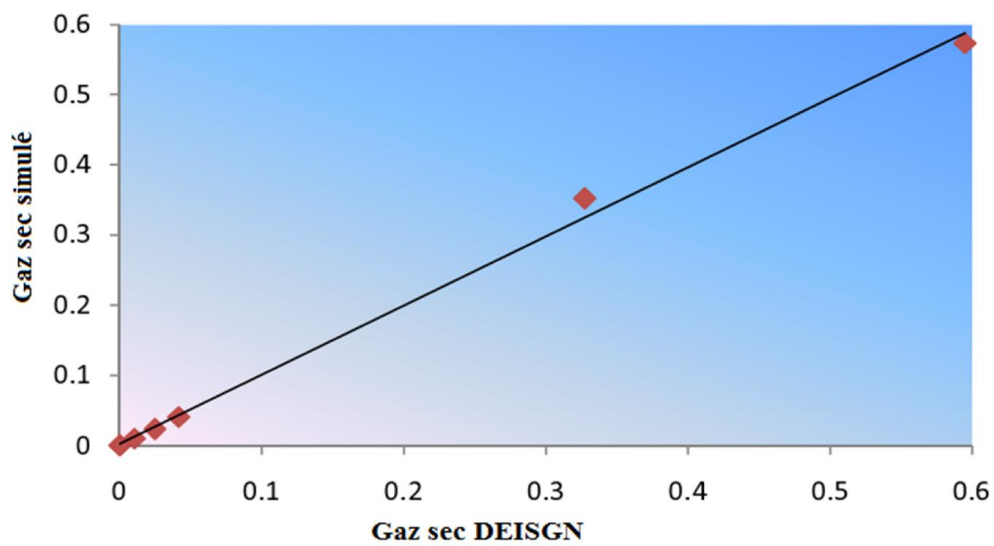
Paramètres	Tête de colonne			Fond de colonne		
	DESIGN	PR	SRK	DESIGN	PR	SRK
Débit molaires (kmole/h)	1965	1996	1998	1130.1	1098	1097
Débit massique (kg/h)	45868	47020	47060	59820	58320	58270
Pression (bars)	22	22	22	22.3	22.3	22.3
Température (°C)	-22	-21.58	-21.55	89	89.01	88.99

**Tab.IV.6:** Composition de tête et fond de la colonne 40C01.

Composition	GAZ SEC C <sub>2</sub> -			Produit de fond C <sub>3</sub> +		
	design	PR	SRK	design	PR	SRK
N <sub>2</sub>	0.0071	0.0070	0.00698	0	0	0
CO <sub>2</sub>	0.0029	0.00290	0.0028	0	0	0
C <sub>1</sub>	0.5269	0,5178	0.5171	0	0	0
C <sub>2</sub>	0.4191	0,4208	0.4227	0.02	0.0057	0.0020
C <sub>3</sub>	0.0427	0.04977	0.0486	0.4865	0.4867	0.4881
iC <sub>4</sub>	0.0008	0.0009	0.0011	0.1275	0.1307	0.1311
nC <sub>4</sub>	0.0005	0.00049	0.00041	0.2593	0.2678	0.2684
iC <sub>5</sub>	0	0	0	0.0374	0.0386	0.0387
nC <sub>5</sub>	0	0	0	0.041	0.0421	0.0422
C <sub>6</sub> +	0	0	0	0.0283	0.0291	0.0292



**Fig.IV.2:** Corrélation entre la composition molaire du gaz sec donnée par le DESIGN et trouvée par simulation selon l'équation PR.



**Fig.IV.3:** Corrélation entre la composition molaire du gaz sec donnée par le DESIGN et trouvée par simulation selon l'équation SRK.

### Interprétation des résultats:

D'après les résultats affichés dans les tableaux (IV.6) et (IV.5), on remarque que les résultats du modèle de PENG ROBINSON (PR) et SOAVE REDLICH KWONG (SRK) sont proches des données de DESIGN, mais le modèle thermodynamique de (PR) est le plus proche et plus utilisé et recommandé.

### 2.3. Simulation du cas actuel:

La simulation du cas actuel est représentée par la conservation de la conception du procédé et le modèle thermodynamique appliqué au cas DESIGN (PENG-ROBINSON) avec les paramètres opératoires actuels.

Les paramètres actuels de fonctionnement de la colonne du DEETHANISEUR ont été collectés au niveau de la salle de contrôle dans laquelle un système numérique (DCS DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM) est mis en œuvre.

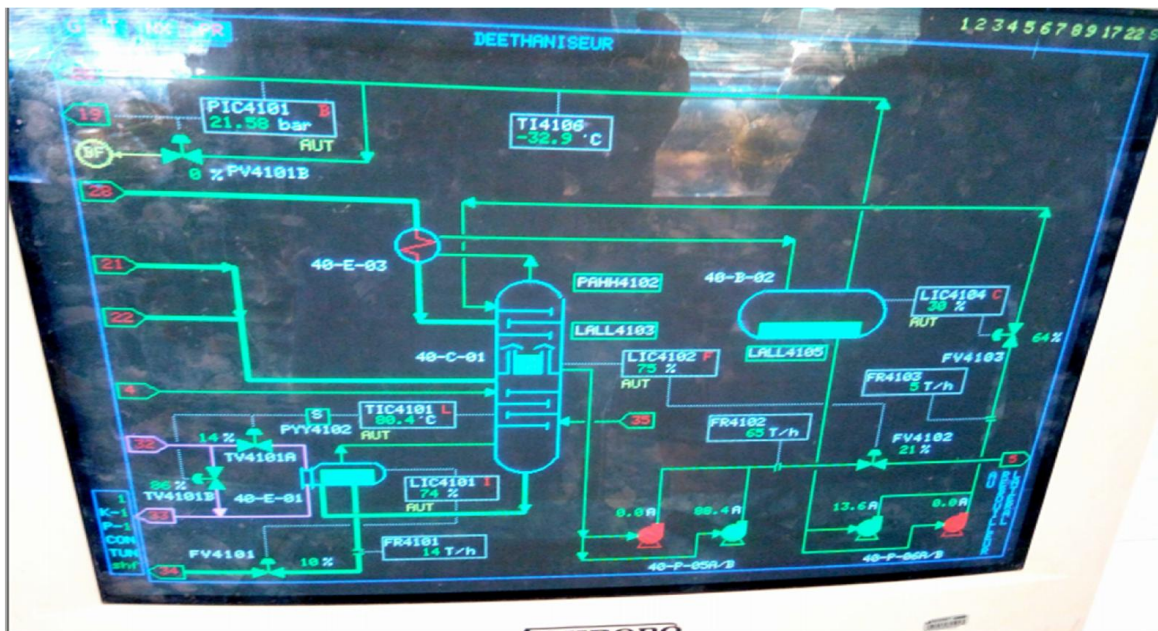


Fig.IV.4: Image de la section de DEETHANISEUR par système numérique(DCS).

Les données actuelles des charges d'alimentations de la colonne de stabilisation 40C01 sont définies dans le tableau suivant:

**Tab.IV.7:** Paramètres actuels des charges d'alimentation sorties des 20B08/06 et 20B07.

Conditions	charges chaude	charges froide
	20B08/06	20B07
Débit molaire (kmole/h)	313.9	865.9
Débit massique (kg/h)	11270	28770
Température (°C)	-24	-41
Pression (bar)	23.5	30.5

Les compositions chimiques des deux alimentations de la colonne de la stabilisation 40C01 sont obtenues par les analyses chromatographiques (CPG) au niveau du laboratoire de (ONR):

**Tab.IV.8:** Composition molaire & des alimentations du DEETHANISEUR.

Composants	Fraction molaire $X_{Fi}$	Fraction molaire $X_{Ci}$
N <sub>2</sub>	0.003744	0.008304
CO <sub>2</sub>	0.002766	0.002160
C <sub>1</sub>	0.364257	0.462642
C <sub>2</sub>	0.320080	0.191199
C <sub>3</sub>	0.143849	0.080731
iC <sub>4</sub>	0.027793	0.020343
nC <sub>4</sub>	0.053789	0.046847
iC <sub>5</sub>	0.016183	0.022449
nC <sub>5</sub>	0.039123	0.065831
C <sub>6+</sub>	0.028416	0.099495
<b>Total</b>	1	1



La comparaison entre les paramètres du fonctionnement trouvés par simulation du cas actuel et ceux donnés par le DSC est présentée dans le tableau suivant:

**Tab.IV.9:** Comparaison entre les paramètres actuels et actuels simulés de la colonne 40C01.

Paramètres	DEETHANISEUR (40C01)	
	Actuel	Actuel simulé
Température d'alimentation froide [°C]	-41	-41
Température d'alimentation chaud [°C]	-24	-24
Pression d'alimentation froide [Bars]	30.5	30.5
Pression d'alimentation chaud [Bars]	23.5	23.5
Température de sommet [°C]	-27	-29
Température du condenseur [°C]	-34	-36
Température du fond [°C]	66	66.5
Température du rebouilleur [°C]	89	90
Pression du sommet [Bars]	19.50	19.50
Pression du condenseur [Bars]	19.50	19
Pression du fond [Bars]	20	20
Débit du distillat [K mol/h]	797.0	799.9
Débit du résidu [K mol/h]	382.9	378.9
Taux de reflux	50%	50%
Rendement	95%	97%

La comparaison entre les compositions molaires du produit fini trouvé par simulation du cas actuel et celle donnée par les analyses du laboratoire du ONR est portée dans le tableau qui suit:

**Tab.IV.10:** Comparaison entre les compositions molaires actuelles et actuelles simulés.

Composants	Actuel		Actuel simulé	
	Produit de tête	Produit de fond	Produit de tête	Produit de fond
N <sub>2</sub>	0.007302	0	0.007303	0
CO <sub>2</sub>	0.003838	0	0.003838	0
C <sub>1</sub>	0.575122	0	0.5751213	0
C <sub>2</sub>	0.397901	0.048792	0.398025	0.048647
C <sub>3</sub>	0.015813	0.362225	0.015596	0.362567
iC <sub>4</sub>	0.000021	0.080329	0.000021	0.080303
nC <sub>4</sub>	0.000003	0.161740	0.000003	0.161686
iC <sub>5</sub>	0	0.055586	0	0.055567
nC <sub>5</sub>	0	0.143955	0	0.143906
C <sub>6+</sub>	0	0.147374	0	0.147324
<b>Total</b>	1	1	1	1

On remarque que les résultats des cas actuel et de cas actuel simulé sont approximés, donc on peut dire que la simulation a été correctement réalisée.

▪ Profils de la colonne DEETHANISUER:

Profil de température:

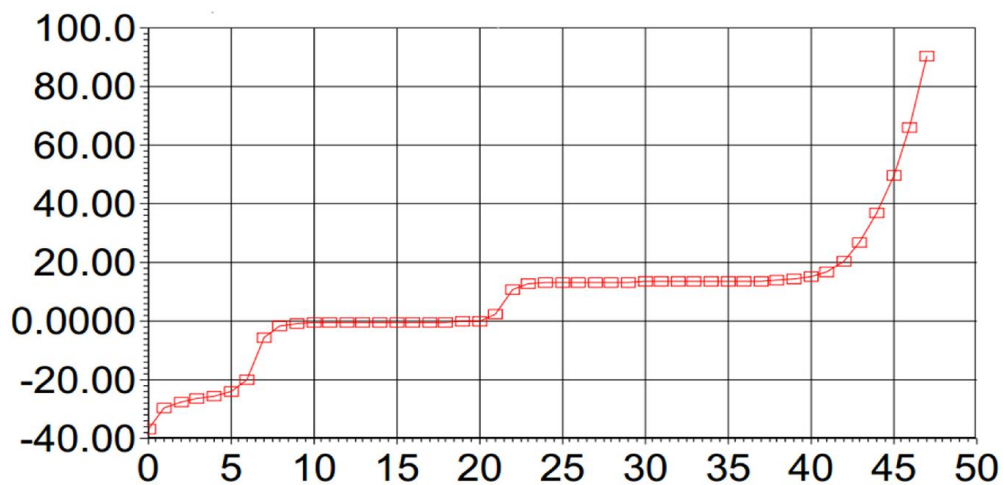


Fig.IV.5: Evolution de la température en fonction des plateaux.

Profil de la pression:

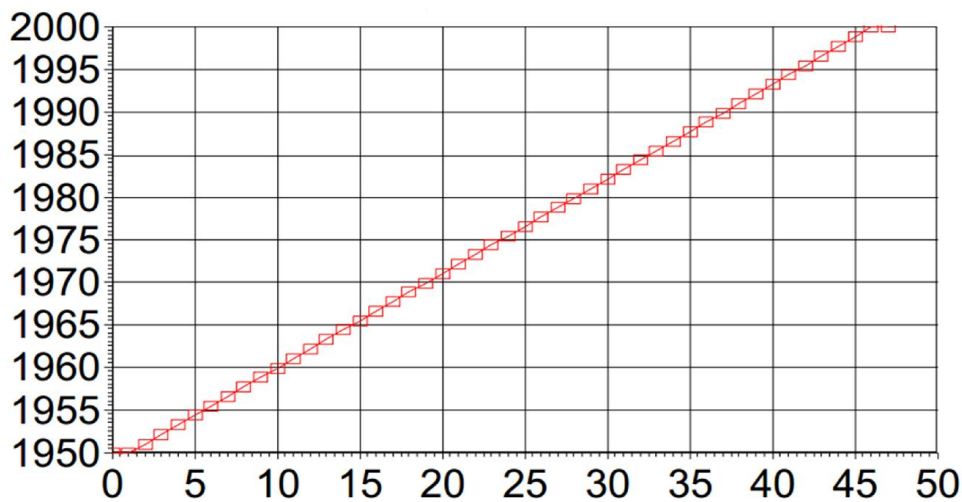
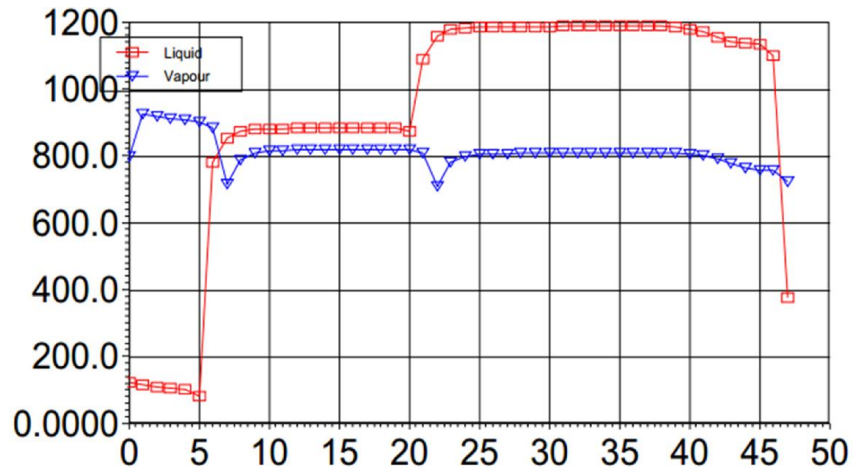


Fig.IV.6: Evolution de la pression en fonction des plateaux.

**Profil de la composition:**

**Fig.IV.7:** Evolution de la composition de la clé légère et lourde en phase vapeur en fonction des plateaux.

#### 2.4. Rationalisation et adaptation des paramètres de fonctionnement:

Dans cette partie on va s'intéresser à l'évolution des paramètres opératoires, ainsi qu'à l'évolution des concentrations des constituants de  $C_2^-$  dans le résidu et de  $C_3^+$  dans le distillat.

Pour voir l'évolution des teneurs en Propane dans le distillat et Ethan dans le résidu. On fait varier la température et la pression de l'alimentation froide et enregistrer a chaque fois cette teneur.

❖ Choix de température et pression en fonction de Teneur de C<sub>2</sub>- dans le résidu:Tab.IV.11: Teneur de C<sub>2</sub>- dans le résidu.

Pression (bar)	Teneur de C <sub>2</sub> - dans le résidu					
	-34 °C	-36 °C	-38 °C	-41 °C	-45 °C	-50 °C
44	4.79E-02	4.72E-02	4.67E-02	4.64E-02	4.59E-02	4.52E-02
40	4.82E-02	4.77E-02	4.72E-02	4.65E-02	4.58E-02	4.52E-02
36	0.049003	0.048301	0.047792	0.047028	0.04609	0.045048
32	4.97E-02	4.89E-02	4.84E-02	4.76E-02	4.66E-02	4.55E-02
28	5.04E-02	4.98E-02	4.93E-02	4.85E-02	4.76E-02	4.64E-02

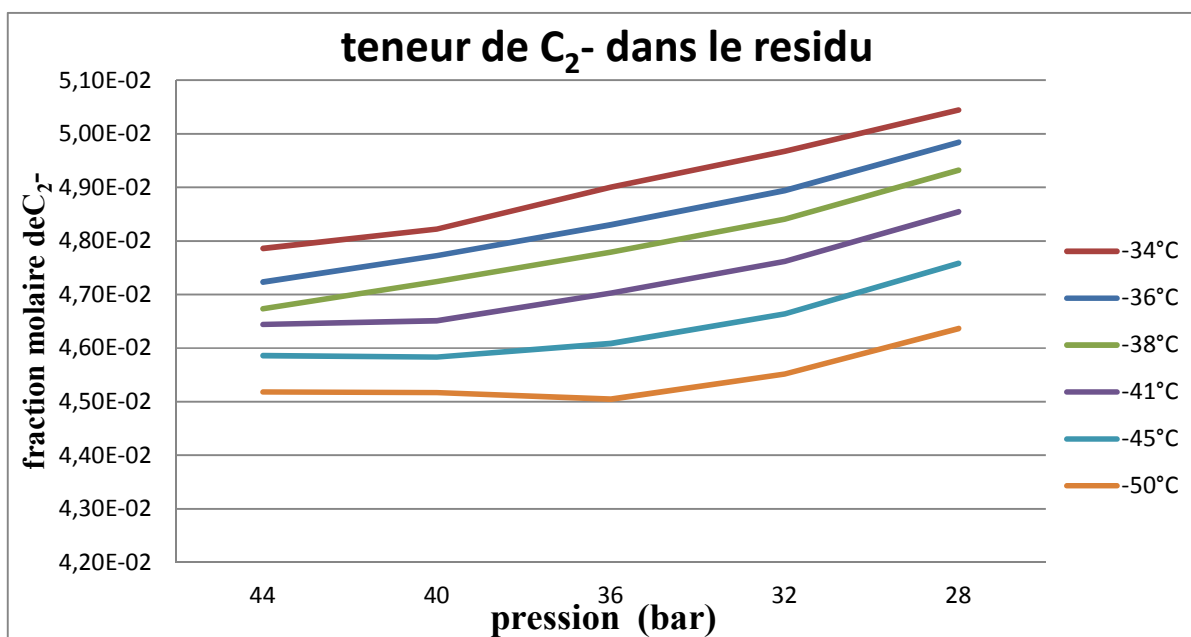


Fig.IV.8: Evolution de la teneur en éthane dans le résidu de la colonne DEETHANISEUR en fonction de la température de charge froid.

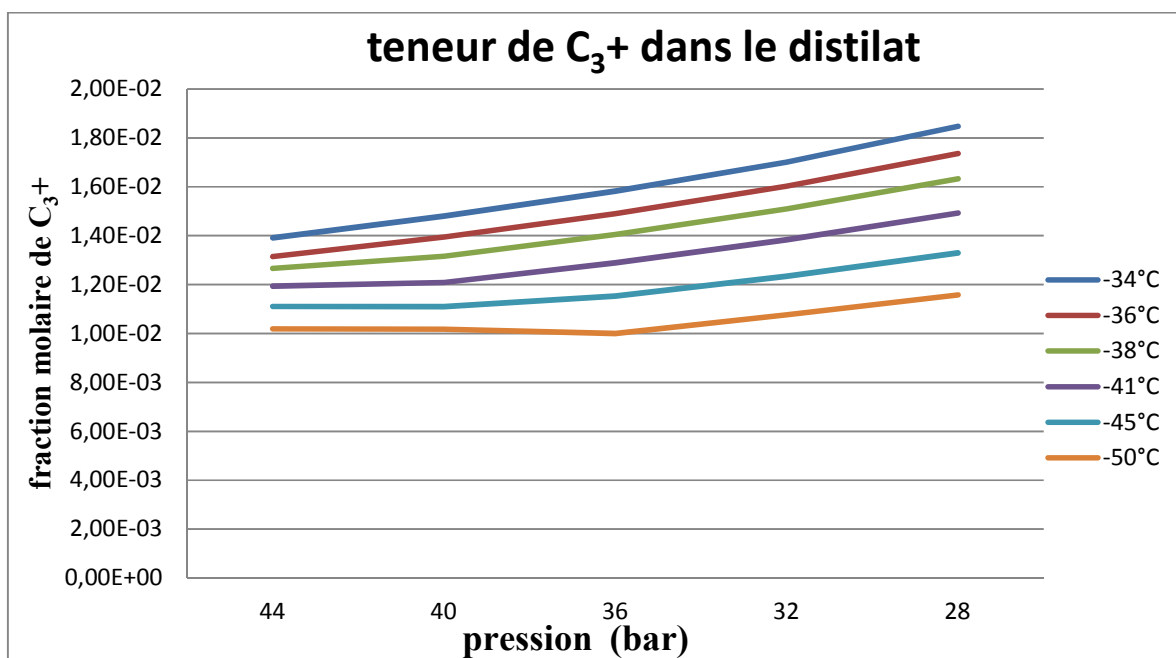
D'après les résultats du Tableau IV.11 on remarque que les valeurs de la teneur de C<sub>2</sub>- dans le résidu sont influées par les paramètres de pression et température, et on peut dire que la

pression optimale est à 36 bars, mais plus on diminue la température, la teneur diminue plus vite, on peut déduire à partir de la figure IV.8 que le facteur dominant c'est la température.

❖ **Choix de température et pression en fonction de Teneur de C<sub>3</sub>+ dans le distilla:**

**Tab.IV.12:** Teneur de C<sub>3</sub>+dans le distillat.

Pression (bar)	Teneur de C <sub>3</sub> +dans le distillat					
	-34 °C	-36 °C	-38 °C	-41 °C	-45 °C	-50 °C
44	1.39E-02	1.31E-02	1.27E-02	1.19E-02	1.11E-02	1.02E-02
40	1.48E-02	1.40E-02	1.32E-02	1.21E-02	1.11E-02	1.02E-02
36	0.015822	0.014906	0.014054	0.012893	0.011525	0.009998
32	1.70E-02	1.60E-02	1.51E-02	1.38E-02	1.24E-02	1.08E-02
28	1.85E-02	1.74E-02	1.63E-02	1.49E-02	1.33E-02	1.16E-02



**Fig.IV.9:** Evolution de la teneur en propane dans le distillat de la colonne DEETHANISEUR en fonction de la température de charge froid.

D'après les résultats du Tableau IV.12, on remarque que les valeurs de la teneur en  $C_3+$  dans le distillat sont influées par les paramètres de pression et température, et on peut dire que la pression optimale est à 36 bars, mais plus on diminue la température, la teneur diminue plus vite, on peut déduire à partir de la figure IV.9 que le facteur dominant c'est la température.

❖ **Choix de l'emplacement des charges d'alimentation:**

**Tab.IV.13:** Emplacement d'injection de la charge froide.

Plateau d'alimentation	Teneur de $C_2-$ dans le résidu	Teneur de $C_3+$ dans le distillat
<b>Alimentation:</b> <b>Froide: 6eme plateau</b> <b>Chaude 22eme plateau</b>	0.045138	0.009986
<b>Alimentation:</b> <b>Froide: 5eme plateau</b> <b>Chaude 21eme plateau</b>	0.045194	0.010217
<b>Alimentation:</b> <b>Froide: 6eme plateau</b> <b>Chaude 20eme plateau</b>	0.045169	0.009998
<b>Alimentation:</b> <b>Froide: 5eme plateau</b> <b>Chaude 20eme plateau</b>	0.045163	0.010217

Le tableau IV.13 nous donne une idée sur l'emplacement de l'alimentation et qui joue également un rôle sur les teneurs de  $C_3+$  dans le distillat et  $C_2-$  dans le résidu, et on peut déterminer l'emplacement optimale par l'outil numériques (Simulation par HYSYS).

❖ **Les nouveaux paramètres de la colonne DEETHANISEUR 40C01:**

**Tab.IV.14:** Les Paramètres Optimum.

Colonne	Plateau d'alimentation	Température d'alimentation froide	Pression d'alimentation froide	Rendement
DEETHANISEUR	Froide: 6eme plateau Chaude: 22eme plateau	-50	36	98%

Ce tableau illustre les paramètres optimisés qui sont opérés par le DEETHANISEUR pour améliorer son fonctionnement.

**Tab.IV.15:** Quantité et qualité de produits obtenus actuellement et après optimisation.

Produit	Caractéristique	Cas réel	Cas optimisé
<b>Gaz (Distillat)</b>	<b>Teneur en C<sub>3</sub>+</b>	0.015813	0.00998
	<b>Quantité (T/h)</b>	0.28099701	0.1763866
<b>Produit de fond</b>	<b>Teneur en C<sub>2</sub></b>	0.048792	0.045048
	<b>Quantité (T/h)</b>	1.08610992	1.00772376
<b>GPL</b>	<b>Teneur en C<sub>2</sub></b>	0.048792	0.045048
	<b>Teneur en C<sub>3</sub></b>	0.362567	0.371371
	<b>Quantité (T/h)</b>	9.15685134	9.31529303

Ces résultats montrent que le fonctionnement de la colonne DEETHANISEUR avec les paramètres rationalisés nous a permis de récupérer jusqu'à 3.8 T/j du GPL et de diminuer la teneur en propane dans le gaz sec et de l'éthane dans le GPL.

### IV.3. Conclusion :

D'après les résultats des différentes simulations que nous avons opérés sur le cas de design, cas actuel et le cas d'optimisation, nous pouvons conclure qu'une optimisation est envisageable pour une valeur de température -50°C et de pression de 36 bars, ainsi que l'emplacement de l'injection plateau N°6 /22.



## **CONCLUSION GENERALE**

Le travail que nous avons effectué au niveau du centre de production OUED NOUMER a eu pour but la vérification des paramètres actuels de la colonne de rectification (DEETHANISEUR), et qui a été sanctionné par ce mémoire de fin d'études.

Notre étude a été axée sur l'influence et la rationalisation des paramètres actuels de la colonne du DEETHANISEUR dans le but d'améliorer la qualité du GPL, Comme l'indiquent les données, la composition des charges actuelles est moins dense et pauvre en constituants lourds, ce qui entraîne une diminution de rendement du GPL par rapport au data de design.

La simulation numérique nous a permis de déterminer les nouveaux paramètres de fonctionnement de DEETHANISEUR, et correspondant aux conditions actuelles pour améliorer la quantité de GPL dont la qualité est conforme aux normes du marché, Il nous a été possible de réaliser cette simulation par le choix du logiciel Aspen HYSYS.

Grâce à l'étude des résultats obtenus et leur comparaison avec ceux des paramètres du fonctionnement actuel, on peut conclure que:

- la simulation nous donne une vue précise sur le fonctionnement de la colonne DEETHANISEUR, et permet de surveiller et changer les paramètres pour obtenir une meilleure efficacité;

- Cette production est une chaîne, donc un problème au niveau des puits provoque une perturbation de la production, la nécessité de garder une relation directe entre le service exploitation et le service puits car les opérations au niveau des puits influent directement sur le débit de production de GPL;

- Cette étude permet de rationaliser les paramètres pour améliorer la production et la qualité du GPL.

Les nouveaux paramètres extraits dans notre travail sont les suivants:

- Température d'alimentation à froid : -50°C
- Pression d'alimentation à froid: 36 Bars
- Lieu d'injection de la charge froide : 6<sup>ème</sup> plateau
- Lieu d'injection de la charge chaude: 22<sup>ème</sup> plateau

L'utilisation de ces paramètres opératoires pour le fonctionnement de notre colonne permettra l'amélioration de la production de GPL de 3.88 tonnes/jour.

On peut recommander ce qui suit :

Le logiciel HYSYS est recommandé pour la modélisation des procédés en pétro-chimie.

Cette étude peut être suivie par l'optimisation des autres paramètres qui étaient figés lors de notre simulation à savoir :

- Pression de tête de colonne
- Pression de fond
- Température de fond
- Température de tête de colonne
- Taux de reflux

Cela afin d'arriver au meilleur rendement possible en optimisant tous les paramètres

**BIBLIOGRAPHIE**

- [1].Le Gaz Naturel - Production Traitement Transport, Alexandre ROJEY, Editions TECHNIP, Paris, 1994.
- [2].Site;/https://www.memoireonline.com/12/09/2962/m\_Lelectricite-et-le-gaz-de-ville-les-facteurs-de-la-hausse-de-la-demande-et-la-gestion-dans-la-33.html.
- [3].BP Statistical Review of World Energy June 2018.
- [4].L.CHEBLI & Y.ABBASSI - Calcul des paramètres de fonctionnement du dépropaniseur (unité (38) ; traitement de GPL) "module iii à Hassi R'mel"-mémoire de fin d'étude université de BISKRA, 2012.
- [5].R.ZERROUK & T.MANANE – Optimisation et Simulation des Pertes du glycol au niveau de la section de déshydratation dans l'unité (RGTE) à In Amenas par HYSYS-mémoire de fin d'étude université de OUARGLA, 2015.
- [6].BP Statistical Review of World Energy June 2016
- [7].Propriétés Des Fluides De Gisements –Cours De Production TOME 2 -J.F GRAVIER Editions TECHNIP, Paris 1986
- [8].M. REECE, A. GIKAS, Pétrole Questionnaire Annuel 2010 Et Révisions Rétrospectives, Revue De L'agence International De L'énergie (Aie/Ocde), Vol. 01, (Juillet 2011), P. 05.
- [9].Center Canadien D'hygiène Et Sécurité Au Travail; Site Web www.cchst.ca , (Février2010).
- [10].Fiche Sécurité Sur Site Web www.airliquide.com; (Juillet 2010)
- [11].W.L.Nelson, Journal Pétrole Et Gaz, Vol. 02, (Septembre1955) P. 129.
- [12].A.VAN. TIGGELEN, Collaborateurs Oxydations Et Combustions, Edition TECHNIP, (1968), P. 301.
- [13].P. DAVERAT, Moteurs A Gaz Et Cogénération, Générale Revue De Thermique, Vol. 383, (1993), Pp. 59-64.
- [14]. P. Argues, Pollution De L'air: Causes, Conséquences, Solutions, Edition EDISUD, (1998), P. 85.
- [15]. P. BELOV, Principes Technologiques De Synthèse Pétrochimique, Edition Ecole Supérieure NOSCOU, (1954).
- [16]. Association Algérienne De L'industrie De Gaz, Site Web www.aegpl.eu (Mai 2010).
- [17].F.DETLEF, Drive test, atelier present au clean Energy Seminar, Sacramento (2002).

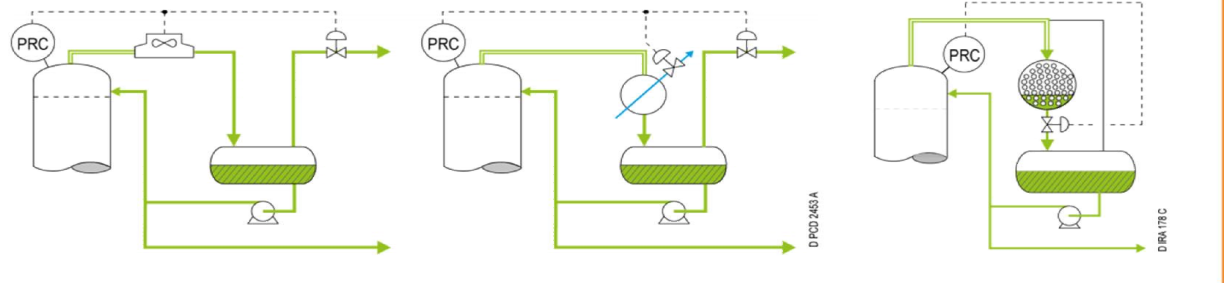
- [18].J.P.FAVENNEC, Raffinage du Pétrole, exploitation et gestion de la raffinerie, Edition TECHNIP (1997).
- [19].K. Otto, Global LPG Market Outlook, PURVIN & GERTZ INC, LP Gas exceptional energy Journal, Edition of International Systems and Communications Limited (ISC) & the World LP Gas Association (WLPGA), ( September 2009), p. 12.
- [20].WFER Mexico 2018 head of the LPG unit energy regulatory commission (CRE)  
www.wfer2018.org
- [21].US,Énergie information administration, site web www.eiagov, (Mars 2010).
- [22].Revue de SONATRACH, Vol. 8, 61,(Octobre 1997), p. 63.
- [23].D.HDJAZI. Industrie algérienne des GPL passé présent et perspectives séminaire international sur les GPL /c (juin 2009).pp.22.23
- [24].Le blog finance, un site web du social media group, www.leblogfinance.com, (Mai 2010).
- [25].Commercialisation de gaz & développement à l'international, Revue de l'activité commercialisation de SONATRACH, Vol. 04, (Décembre 2004).
- [26].Plan à Moyen terme d'activité commercialisation 2008-2012, revue de l'IAP, Vol. 04,1, Qanvier2010), p. 13.
- [27].Revue SONATRACH, Rapport annuel 2010, p18.
- [29].Manuel opératoire de l'ancienne unité du centre de production d'OUED NOUMER.
- [30].Manuel opératoire de l'unité GPL du centre de production d'OUED NOUMER.
- [31].P.TRAMBOUZE Le raffinage du pétrole matériel et équipements Tom 4 édition technique 1999.
- [32].A.SKOBLO, I.TREGOUBOV, N.EGOROV: «Méthodes et appareils de l'industrie du pétrole. » Edition « Etudes supérieures. » MOSCOW.
- [33].J.P.MOULIN Génie de procédés génie chimique opération unitaires idéales Tom 1 2004\_2005.
- [34].C.MATHIEU formation professionnalisant PRO/RCPI Hassi Messaoud center IAP 23.05.2015
- [35]. P. WUYHIER Le pétrole Raffinage et Génie Chimique TOM I 1972.

## ANNEXES A

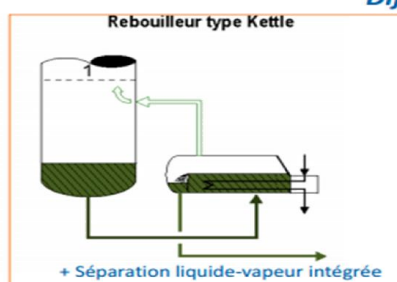
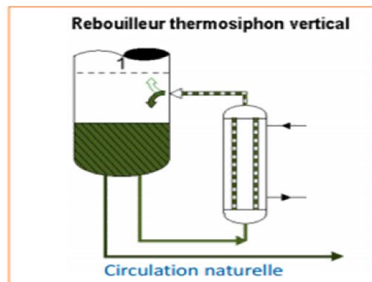
### ■ Ajustement de la charge du condenseur

⇒ Débit de liquide de réfrigération

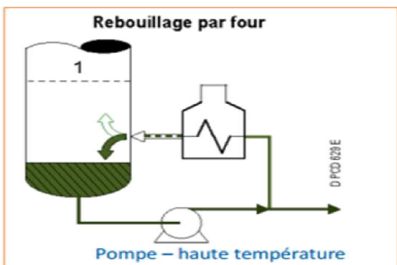
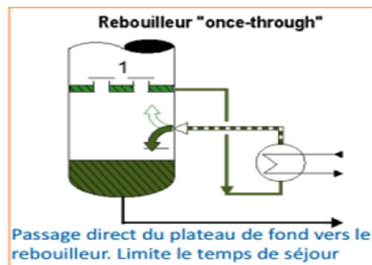
⇒ Surface d'échange de condensation



Différents types de rebouilleur



Liquide du fond de la colonne est **partiellement vaporisé**.



C - DT BIN - 01312\_A\_F - Rév. 2 - 05/01/2015 - Colonnes de distillation : fonctionnement et régulations

INSTRUMAT 1102 ©

23

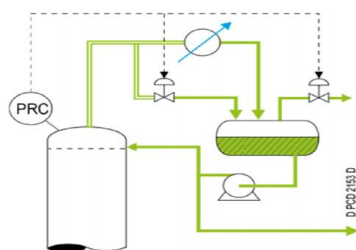
### ■ Ajustement des conditions au ballon de reflux

Pas d'action sur le condenseur

⇒ Bypass chaud

⇒ Engazage/Dégazage

- Manque de pression : Bypass chaud
- Excès de pression : **Dégazage**



- Manque de pression : **Engazage** (gaz externe)
- Excès de pression : **Dégazage**

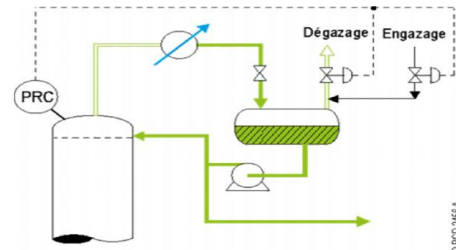


Figure n°1: Le condenseur / Le ballon de reflux / Le rebouilleur [34]

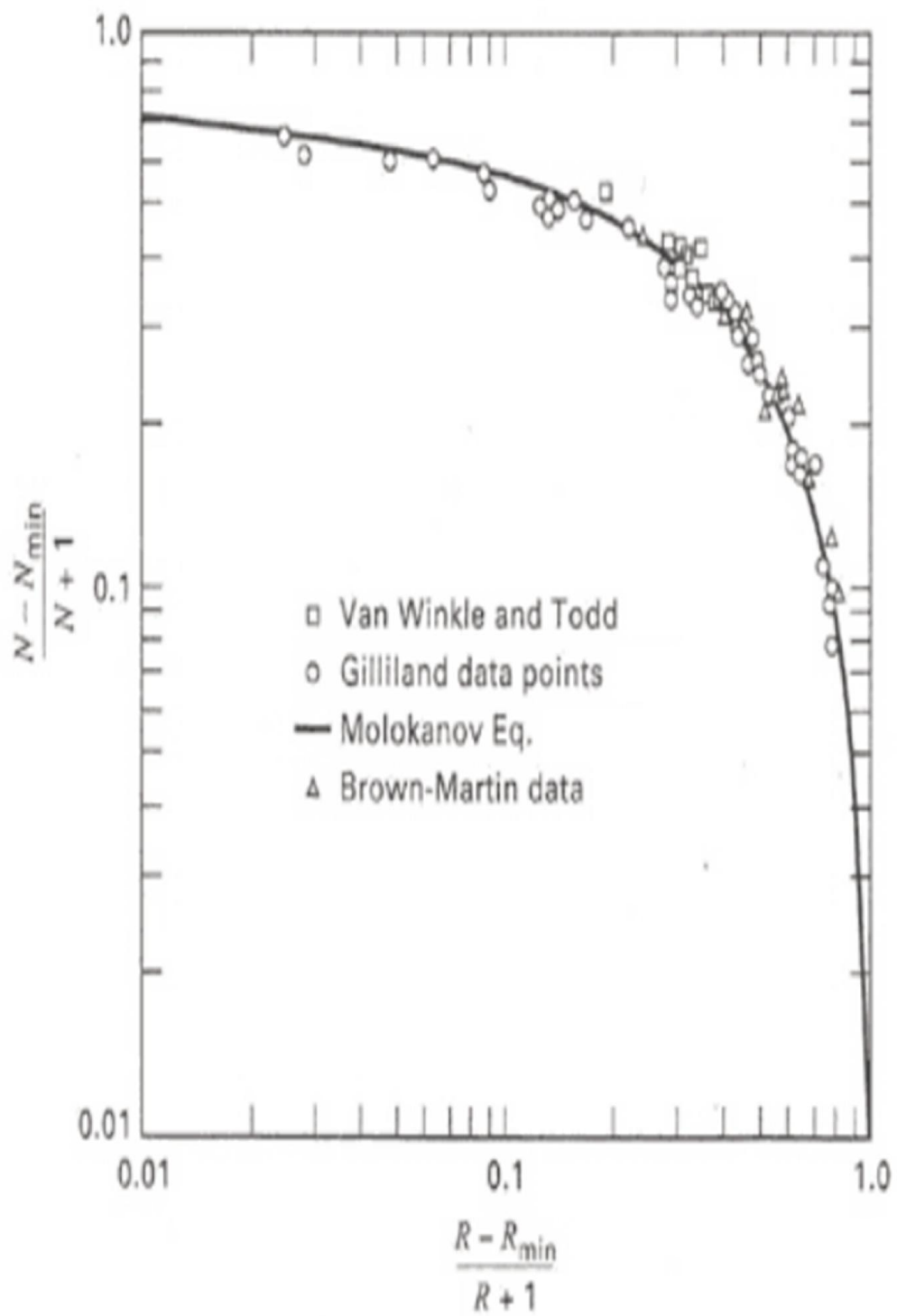


Figure n°2 : Diagramme de Gilliland [35]

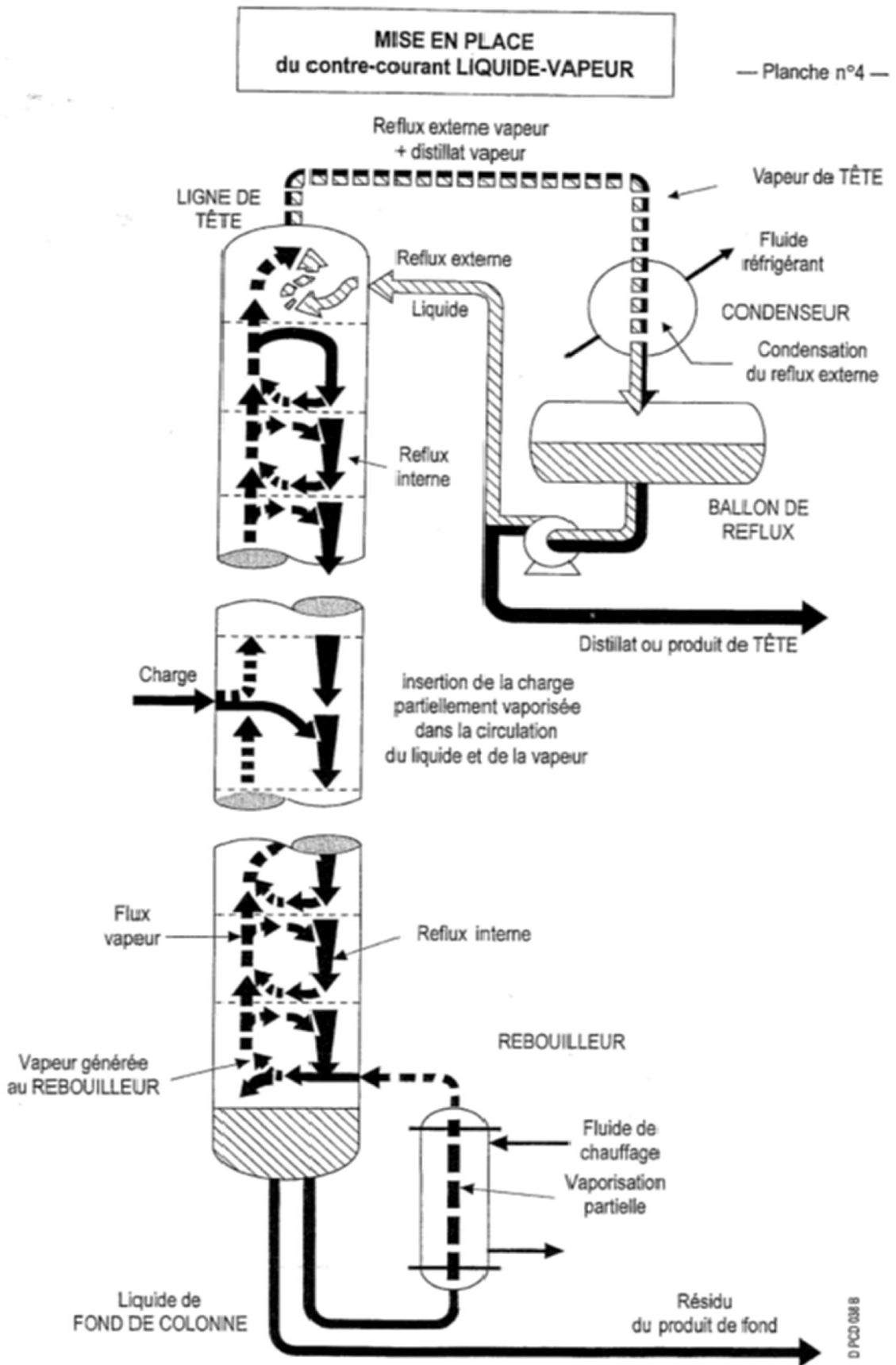


Figure n°3 : Mise en place du Contre – Courant Liquide-Vapeur [31]

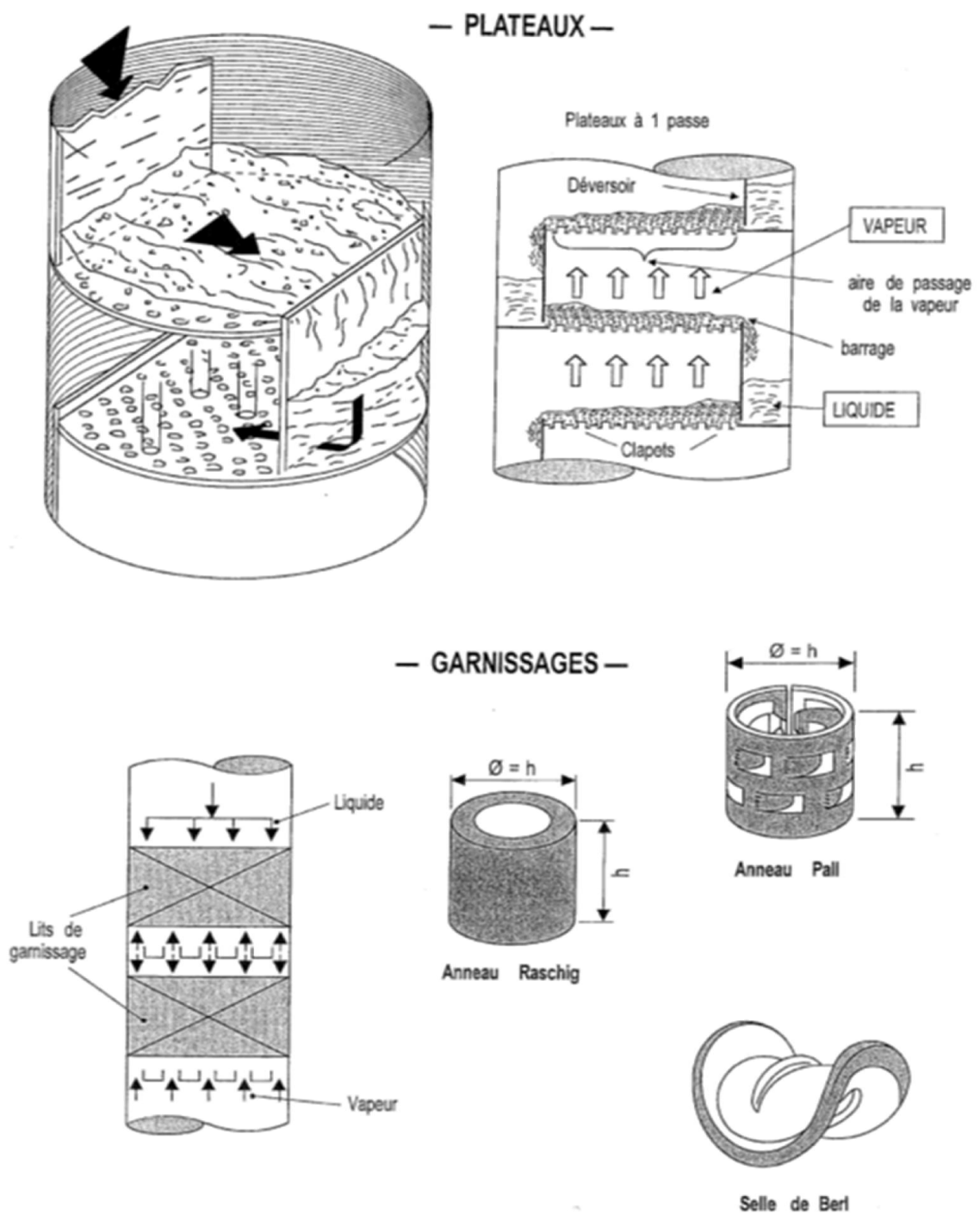


Figure n°4: Contact—Liquide-Vapeur [31]



## ANNEXES B

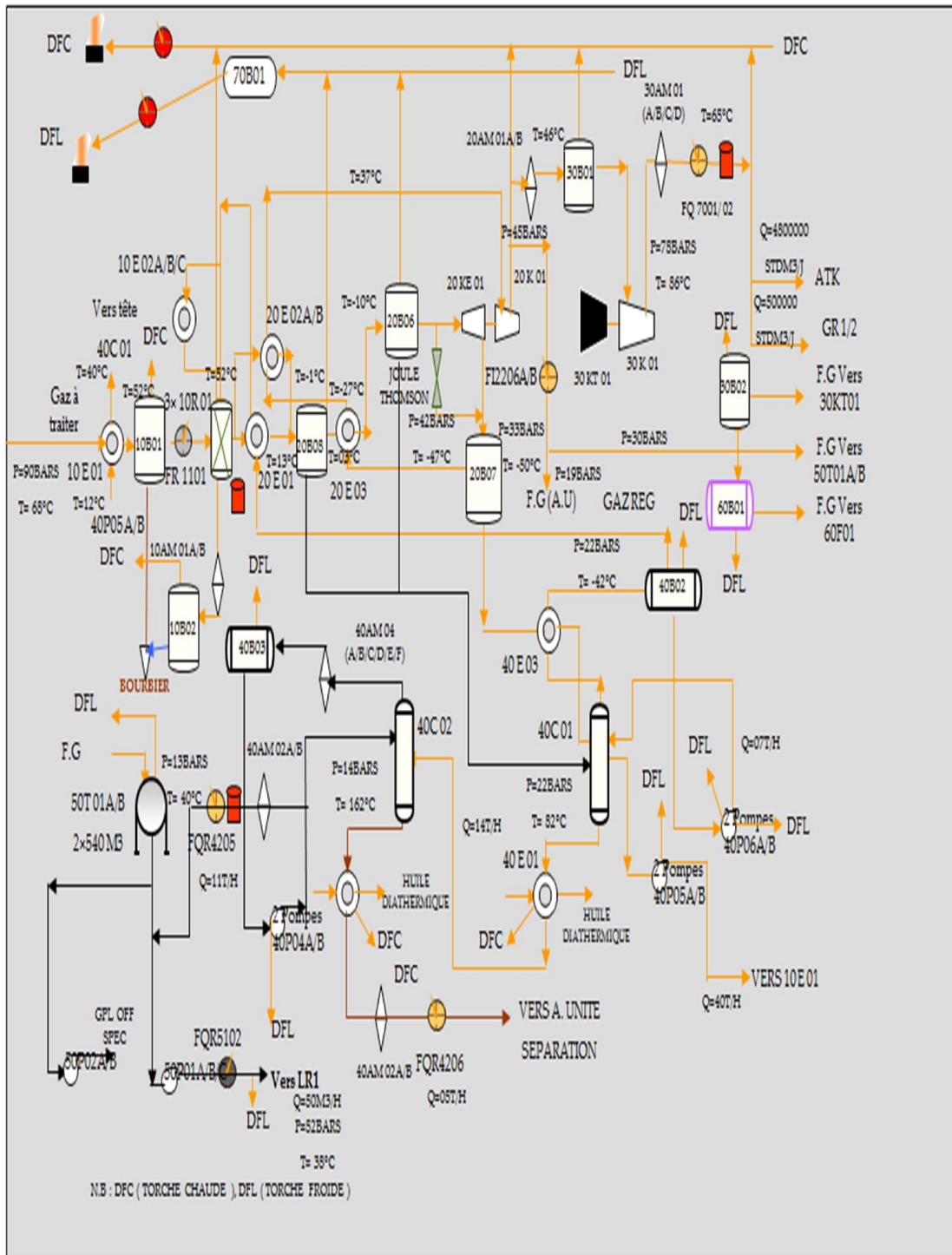


Figure n°1 : Schéma Opérateur Diagramme de flux de processus [30]