

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE EPOPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des sciences appliquées

Département de Génie des procédés

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies.

Filière : Industries pétrochimiques.

Spécialité : génie de raffinage.

Présenté Par :

Taliouine HadjerMeriouma Ikram

Thème :

Procédé de production de GPL
et étude comparative de certains problèmes

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Mr Skirifa Mel El Amine
Mr Baameur Lotfi
Mr SELLAMI Med Hassen

Professeur (UKMO)
MCB (UKMO)
Professeur (UKM Ouargla)

Président
Examineur
Encadreur

Année universitaire 2020/2021

الملخص

يعتبر غاز البترول المميع اليوم مصدرًا كبيرًا للطاقة وله العديد من المزايا والاستخدامات الصناعية و في الحياة اليومية، حيث أنه يستخرج من النفط والغاز الطبيعي ويتم إنتاجه بشكل أساسي في مصافي النفط الخام ووحدات معالجة الغاز الطبيعي أثناء عمليات الفصل.

في هذا العمل، تمثل هدفنا في التعرف على وحدات معالجة الغاز الطبيعي وتحديد أهميته البالغة في الاقتصاد العالمي و الوطني بحيث يتطرق عملنا إلى

❖ دراسة عملية سير إنتاج الغاز الطبيعي.

❖ دراسة تقنيات الغاز البترول المميع ووحداته.

❖ دراسة مقارنة لبعض الإشكاليات الموجودة في الدراسات السابقة ومحاولة تقديم حلول جديدة.

الكلمات المفتاحية: البروبان ، البيوتان ، معالجة الغاز ، الإنتاج ، غاز البترول المسال ، الغاز الطبيعي.

Résumé

Aujourd'hui, le GPL est une source d'énergie majeure et présente de nombreux avantages et utilisations pour la vie industrielle et quotidienne, il est extrait du pétrole et du gaz naturel et principalement produit dans les raffineries de pétrole brut et les unités de traitement du gaz naturel lors des opérations de séparation.

Dans ce travail, notre objectif était d'identifier les unités de traitement du gaz naturel et de définir son importance critique dans l'économie mondiale et nationale, afin que notre travail touche à :

- ❖ Etudier le processus de production de gaz naturel.
- ❖ Etude des technologies et unités de gaz de pétrole liquéfié.
- ❖ Une étude comparative de certains des problèmes et une tentative d'introduit de nouvelles solutions.

Les mots clés : Propane, butane, Traitement de gaz, Production, GPL, gaz naturel.

Abstract

Today, LPG is a great source of energy and has many advantages and uses for industrial and daily life as it is extracted from oil and natural gas and is mainly produced in crude oil refineries and natural gas processing units during separations.

In this work, our goal was to identify natural gas processing units and define its critical importance in the global and national economy so that our work addresses:

- ❖ Study the process of natural gas production.
- ❖ Study of liquefied petroleum gas technologies and units.
- ❖ A comparative study of some of the problems found in the studies.

The key words: Propane, butane, Gas treatment, Production, LPG, natural gas

Dédicace

Mon parcours universitaire est terminé, et je termine ici mes recherches avec détermination, vigueur et force à tous ceux qui ont été crédités du succès de ma carrière :

À mon ciel et du meilleur de moi-même, car elle s'est sacrifiée pour moi et n'a retardé aucun effort pour rendre heureuse ma mère bien-aimée.

A la raison de mon existence et de ma réussite est celle sur laquelle je m'appuie dans chaque grande et petite chose, mon cher père.

À mes frères qui ont eu un grand impact sur de nombreux obstacles et difficultés.

A ceux qui me rend heureux et content quand j'entends leurs paroles touchantes à mes petits, RANA, RANIM, MOUDJTABA, OMNIYA, YOUMNA, MALAK et YAHYA.

A mes amis et à tous ceux qui ont contribué au succès de cette recherche.

T.HADJER



Dédicace

A mon très cher père

Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement jusqu'à ce jour, pour son amour, Et ses encouragements. Que ce travail, soit pour vous, un faible témoignage de ma Profonde affection et tendresse. Qu'Allah le tout puissant te préserve, t'accorde Santé, bonheur et te protège de tout mal.

A ma très chère mère

*Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi .tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours .tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études qu'Allah te protéger et te
Donner la santé, le bonheur et longue vie.*

*A mes sœurs **Insaf, Nourrisse, Rania**, à mon frère **Amine , Islam et Zakou** Pour leur petits mots et leur soutiens*

M.Ikram



Remerciement

Au terme de ce travail, On tient à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

*Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter nos profondes gratitudee et nos sincères remerciements à Notre encadreur le professeur : **SELLAMI Med Hassen** Pour son aide précieuse, ces directions et le temps qu'il nous a donné pour nous encadrer.*

Nous remercions par ailleurs vivement les membres du jury de nous avoir fait l'honneur de juger notre travail et d'assister à la soutenance.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.

Résumé

Aujourd'hui, le GPL est une source d'énergie majeure et présente de nombreux avantages et utilisations pour la vie industrielle et quotidienne, il est extrait du pétrole et du gaz naturel et principalement produit dans les raffineries de pétrole brut et les unités de traitement du gaz naturel lors des opérations de séparation.

Dans ce travail, notre objectif était d'identifier les unités de traitement du gaz naturel et de définir son importance critique dans l'économie mondiale et nationale, afin que notre travail touche à :

- ❖ Etudier le processus de production de gaz naturel.
- ❖ Etude des technologies et unités de gaz de pétrole liquéfié.
- ❖ Une étude comparative de certains des problèmes et une tentative d'introduit de nouvelles solutions.

Les mots clés : Propane, butane, Traitement de gaz, Production, GPL, gaz naturel.

Liste des tableaux

Chapitre I : L'industrie pétrolière et gazière dans le monde et en Algérie.		
Tableaux	Les titres	Pages
Tab. I	les 10 premiers pays producteurs de pétrole dans le monde	4
Tab. II	Production et consommation de gaz naturel(GN) en milliards de m ³ dans quelques pays du monde en 2014	10
Tab. III	Production du pétrole et du gaz naturel de 2009-2012	12
Tab. IV	les estimations des réserves prouvées du pétrole en millions de barils (2002-2010)	13
Chapitre II : Généralité sur Gaz naturel et GPL.		
Tab. I	Composition de GPL.	18
Chapitre IV : étude comparative de certains problèmes relevés dans les études.		
Tab. I	globale des résultats de colonne C-703 et ballon de reflux(HBK).	34
Tab. II	Les résultats pour un bon fonctionnement (T, P) de colonne en tête et fond (HBK) .	34
Tab. III	globale des résultats de colonne C-703 et ballon de reflux (Z-CINA/HMD).	35
Tab. IV	Comparaison enter cas désigne et cas simulé.	36
Tab. V	les résultats pour un bon fonctionnement (T, P) de colonne en tête et fond (Z-CINA/HMD)	36
Tab. VI	Différence entre les deux sujets.	37

Liste des figures

Chapitre 1 : L'industrie pétrolier et gazière dans le monde et en Algérie.		
figures	Titre	pages
fig.01	Les cinq pays disposant des plus importantes réserves prouvées de pétrole au monde à fin 2015.	6
fig.02	la consommation totale d'énergie primaire au monde de 1992 à 2017 par type de combustible.	7
fig.03	consommation mondiale d'énergie par source d'énergie. En quadrillion de Btu .	8
fig.04	Répartition en pourcentage des réserves prouvées de gaz dans le monde à fin 2013	9
fig.05	Consommation, production, exportation d'hydrocarbures entre 2000 et 2012.	13
Chapitre 2:Généralités sur Gaz naturel et GPL.		
fig.01	Consommation mondial de GPL par secteur en 2007	22
fig.02	Demande mondiale du GPL.	23
fig.03	Évolution de l'approvisionnement de la France en GPL	24
fig.04	Répartition de la consommation française de GPL par usages (©DR, d'après données 2013 CEREN/CFBP)	24
Chapitre 3 : Description générale d'un train de procédé.		
fig.01	Description de procédé de traitement	32

Liste d'Abréviations

GPL : gaz de pétrole liquéfié.

GNL : gaz naturelle liquéfié.

GPL /c : gaz de pétrole liquéfié carburant.

GN : gaz naturel.

OPEP : Organisation des pays exportateurs de pétrole.

BP : société multinationale pétrolière et gazière de droit britannique.

RON : indice d'octane de recherche.

MON : indice d'octane moteur.

C1 : méthane.

C2 : éthane.

C3 : Propane.

C4 : Butane.

C5+: Les condensats.

MEA :(mon éthanol amine).

MCR : Salle de Contrôle des Trains.

BOG : Boil-Off Gas /Boil of gaz (le nom de station de récupération et liquéfaction des gaz évaporées au niveau du complexe).

Z-CINA/HMD : nouvelle Zone Centre Industriel Naili Abdelhalim/ HASSI
MESSAOUDE HAOUD-El-Hamra.

HBK : HAOUD BERKAOUI.

LISTE DES NOMENCLATURES

Mtep : millions de tonnes d'équivalent pétrole.

VE : nombre de véhicules électriques.

Mds m³ : milliards de m³.

MT : millions de tonne.

TVR : Tension de vapeur.

T ppm : Teneurs en eau Partie Par Million.

Atm : atmosphère.

SOMMAIRE

TITRES	PAGE
Dédicace (1)	I
Dédicace(2)	II
Remerciement	III
Résumé	IV
Liste des tableaux	V
Listes des figures	VI
Liste des abréviations	VII
Nomenclature	VIII
Sommaire	XI
Introduction générale	1
Chapitre I : L'industrie pétrolière et gazière	
Introduction	3
I.1. L'industrie pétrolière et gazière dans le monde et en Algérie	3
I.1.1. L'industrie pétrolière et gazière	3
I.1.2. L'industrie pétrolière dans le monde	3
I.1.2.1. La production	3
I.1.2.2. Réserve	5
I.1.2.3. Consommation	7
I.1.3. L'industrie gazière dans le monde	8
I.1.3.1. La demande	8
I.1.3.2. La production	8
I.1.3.3. Réserves	9
I.1.3.4. Développement	10
I.1.4. L'industrie pétrolière et gazière en Algérie	10
I.1.4.1. Les principales activités de la Société	11
I.1.4.2. Productions, Exportations, Réserves du pétrole et du gaz naturel en Algérie	11
Chapitre II : Généralités sur Gaz naturel le GPL	
II.1. Définition de gaz naturel	14
II.1.1. Formation du gaz naturel	14
II.1.2. Le traitement du gaz naturel	14

II.1.3. Les principaux types de gaz à usage domestique et leur utilisation	16
II.2. Généralités sur le GPL	17
II.2.1. Définition du Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL)	17
II.2.2. Origine du GPL	18
II.2.3. Caractéristiques générales des GPL	19
II.2.4. Situation international de GPL	20
II.2.5. Situation Algérienne de GPL	21
II.2.6. Usages	21
II.2.7. Consommation mondiale en GPL	22
II.2.8. Stockage des gaz liquéfiés	25
Chapitre III : Description et généralité d'un train de procédé	
III.1. Description et généralité d'un train de procédé	27
III.1.1. Section de traitement de gaz	27
III.1.2. Section séparation	29
III.1.3. Section refroidissement	29
III.1.4. Section liquéfaction	29
III.1.5. Section compression	30
III.1.5.1. Boucle de propane	30
III.1.5.2. Boucle MCR	30
III.1.6. Section fractionnement	30
III.1.6.1. Le dé-éthaniseur	30
III.1.6.2. Le dépropaniseur	30

III.1.6.3. Le débutaniseur	31
III.1.7.Section Stockage du G.P.L	31
Chapitre IV : étude comparative	
Introduction	33
IV.1. Problème(1) (à HAUD BERKAOUI)	33
IV.1.1.Le problème étudié	33
IV.1.2.Détail du problème	33
IV.1.3.Principe de fonctionnement	33
IV.1.4.Observations et résultats finaux	34
IV.2. Problème(2) (à Z-CINA/HMD)	34
IV.2.1.Le problème étudié	34
IV.2.2.But de cette étude	34
IV.2.3.Principe	35
IV.2.4.Observations et résultats finaux	35
IV.3. ETUDE COMPARATIVE	37
IV.3.1.Les points de différence entre les deux mémoires	37
Conclusion	37
Conclusion générale	38
Références	

Introduction générale

Introduction générale

Etant la troisième source d'énergie la plus utilisée au monde après le pétrole et le charbon, le gaz naturel est une énergie fossile (ou primaire), extraite simultanément des mêmes gisements ou des mêmes zones de production.

Le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures obtenu à partir de gisements de pétrole brut et séparé pour y être pompé vers le réseau gazier ou les usines de traitement du gaz. C'est un gaz riche en méthane (de 70 % à 100 %) et constitué principalement d'hydrocarbures gazeux (C1 à C5) et contient également en moindre quantité des molécules gazeuses plus lourdes (azote, dioxyde de carbone et sulfures, hydrogène.).

La production de ce gaz produit généralement des hydrocarbures liquides, cette liquéfaction se produit lors de la détente dans les installations de production. C'est pourquoi on caractérise souvent un gaz naturel par la quantité de condensat associé.

Pour que le gaz soit purifié dans les unités de traitement pour séparer les composants associés pouvant entraîner des problèmes au sein des unités lors du processus de séparation des gaz, d'où le gaz passe vers les stations de commercialisation ou vers les unités de séparation pour la production de gaz de pétrole liquéfié.

Le GPL est un mélange de gaz propane et butane qui peut être converti en un liquide sous pression. Il peut être obtenu à partir du gaz naturel ou de l'unité d'essence naturelle, ainsi que de l'unité de distillation primaire, qui est considérée comme un combustible domestique important. Il est également utilisé comme matériaux intermédiaires dans l'industrie pétrochimique. Et tout cela, nous l'apprendrons en détail dans notre leçon.

Notre objectif dans cette étude est de mettre en évidence la grande importance du gaz dans l'économie mondiale et nationale et d'identifier les unités de traitement du gaz naturel, qui est une source primaire pour la production de GPL, afin que nos travaux portent sur :

- Etudier le processus de production de gaz naturel.
- Etude des technologies et unités de gaz de pétrole liquéfié.
- Une étude comparative de certains des problèmes et une tentative d'introduit de nouvelles solutions.

Pour mener cette étude, nous sommes passés à ce qui suit :

Dans le premier chapitre, nous avons parlé de l'importance du gaz au niveau national et international. (Production, Réserves et Consommation), et le deuxième chapitre traite des généralités du gaz naturel et du GPL d'un point de vue physique et chimique, sa source et ses

Introduction

utilisations les plus importantes. Un troisième chapitre explique le mode de production du GNL dans le complexe à travers six trains fonctionnant à tour de rôle, dont chacun comprend un certain nombre d'équipements, qu'ils sont essentiellement assemblés en une série. Dans le quatrième et dernier chapitre est une étude comparative sur certains problèmes qui ont été précédemment soulevés, et nous essaierons de les rediscuter et de déterminer les meilleurs résultats qui ont été atteints pour ajouter quelques solutions proposées. Une conclusion générale est également présentée en fin du document.

**Chapitre I:
L'industrie pétrolière et gazière
dans le monde et en Algérie**

Introduction :

Le gaz naturel et le pétrole brut sont souvent associés et extraits simultanément des mêmes gisements ou encore des mêmes zones de production.

Les hydrocarbures liquides proviennent du pétrole brut pour une proportion moyenne de l'ordre de 80% ; les 20% restants, parmi les fractions les plus légères, le propane et le butane sont presque toujours liquéfiés pour en faciliter le transport.

I.1. L'industrie pétrolière et gazière dans le monde et en Algérie :**I.1.1. L'industrie pétrolière et gazière :**

L'industrie pétrolière et gazière est définie par des activités en amont, qui se produisent avant l'extraction du pétrole et du gaz, et par des activités en aval, qui ont lieu après l'extraction du pétrole et du gaz.

- **Les activités en amont** : comprennent la recherche et la découverte de gisements de pétrole et les tests afin de déterminer leur valeur
- **Les activités en aval** : comprennent l'extraction de gisements, la production, l'expédition, le raffinage et la vente de pétrole brute et de gaz naturel découverts sous la terre. Les fabricants utilisant ces ressources pour en faire de l'huile de chauffage, de l'huile pour moteurs, du propane, de l'essence, du kérosène, du butane, du méthane, du benzène et du goudron.


I.1.2. L'industrie pétrolière dans le monde :**I.1.2.1. La production :**

Les gisements pétroliers d'Afrique du Nord ont commencé à être exploités à partir de 1918, mais la production de pétrole sur le continent n'a connu une expansion rapide qu'après la Seconde Guerre mondiale, le pétrole du Moyen-Orient ayant été jugé plus accessible et ayant fait l'objet d'investissements plus importants en conséquence.

Par la suite, le continent a vu sa production augmenter d'un facteur de 20 entre 1960 et 1970, avec l'instabilité au Moyen-Orient (en particulier pendant la crise énergétique des années 1970) soulignant son importance croissante dans le marché pétrolier mondial.

Le tableau ci-dessous présente les 10 premiers pays producteurs de pétrole actuellement. Sur les 10 premiers pays producteurs de pétrole, 4 sont situés au Moyen-Orient [1]

Tableau I : les 10 premiers pays producteurs de pétrole dans le monde

1		Arabie Saoudite - 11,75 millions de barils par jour
2		États-Unis - 10,59 millions de barils par jour
3		Russie - 10,3 millions de barils par jour
4		Chine - 4,19 millions de barils par jour
5		Iran - 4,13 millions de barils par jour
6		Canada - 3,92 millions de barils par jour
7		Émirats arabes unis - 3,23 millions de barils par jour
8		Mexique - 2,95 millions de barils par jour
9		Brésil - 2,8 millions de barils par jour
10		Koweït - 2,75 millions de barils par jour

I.1.2.2. Réserve :

Par réserves de pétrole, on entend les volumes de pétrole récupérables dans des gisements exploités ou pouvant l'être au vu des critères techniques et économiques actuels. Ces réserves peuvent donc fluctuer, comme les réserves de gaz naturel, en fonction de la disponibilité des moyens techniques permettant l'exploitation des hydrocarbures et en fonction des cours du pétrole (avec un décalage dans le temps, les cours déterminant les investissements en exploration)

Lorsqu'il est question de réserves de pétrole dans les bilans statistiques, il est le plus souvent fait référence aux réserves dites « prouvées », c'est-à-dire celles que l'on est « sûrs » (à 90%) de pouvoir extraire. A fin 2015, ces réserves sont estimées dans le monde à près de 1 698 milliards de barils , soit l'équivalent d'environ 51 ans de production mondiale au rythme actuel (durée théorique car la production des gisements diminue au fil du temps).

Notons qu'il existe toujours des incertitudes sur le volume des « réserves ». C'est pour cette raison que les notions de « 1P », « 2P » ou « 3P » ont été introduites.

a. Classification des réserves de pétrole :

Il existe différents types de « réserves » :

- **les réserves dites « 1P » (prouvées) :** qui désigne l'ensemble des quantités de pétrole dont l'existence est établie et dont les chances de récupération et de rentabilisation sont d'au moins 90 %. Les compagnies pétrolières utilisent cette valeur lorsqu'elles veulent être certaines de rentabiliser leurs investissements.
- **les réserves dites « 2P » (prouvées + probables) :** qui comptabilisent, pour un gisement identifié, les quantités de pétrole ayant une probabilité égale ou supérieure à 50 % d'être économiquement exploitables.
- **les réserves dites « 3P » (prouvées + probables + possibles) :** qui désignent le volume maximum du pétrole qui pourrait être extrait d'un gisement. Cette limite supérieure inclut toutes les ressources qui ont une probabilité supérieure à 10 % d'être économiquement exploitables.

Les réserves prouvées ont un impact sur la vie économique des sociétés pétrolières car elles influent directement sur leur valorisation boursière . Des entreprises de consulting sont payées par les entreprises pétrolières pour « certifier » leurs réserves. Certains analystes dénoncent les conflits d'intérêt potentiels induits par ce système.

b. Répartition des réserves de pétrole :

Les cinq pays disposant des plus importantes réserves prouvées de pétrole au monde à fin 2015 sont :

- **le Venezuela** avec 300,9 milliards de barils de pétrole, soit 17,7% des réserves prouvées mondiales.
- **l'Arabie saoudite** avec 266,6 milliards de barils (15,7%).
- **le Canada** avec 172,2 milliards de barils (10,1%).
- **l'Iran** avec 157,8 milliards de barils (9,3%).
- **l'Irak** avec 143,1 milliards de barils (8,4%).

Le Venezuela n'est d'ailleurs que le 10^e producteur mondial de pétrole. Il n'existe ainsi pas de relation directe entre le volume des réserves et le niveau de production (sauf dans les pays de l'OPEP lorsqu'ils se fixent des plafonds de production en fonction de leurs réserves annoncées).^[2]

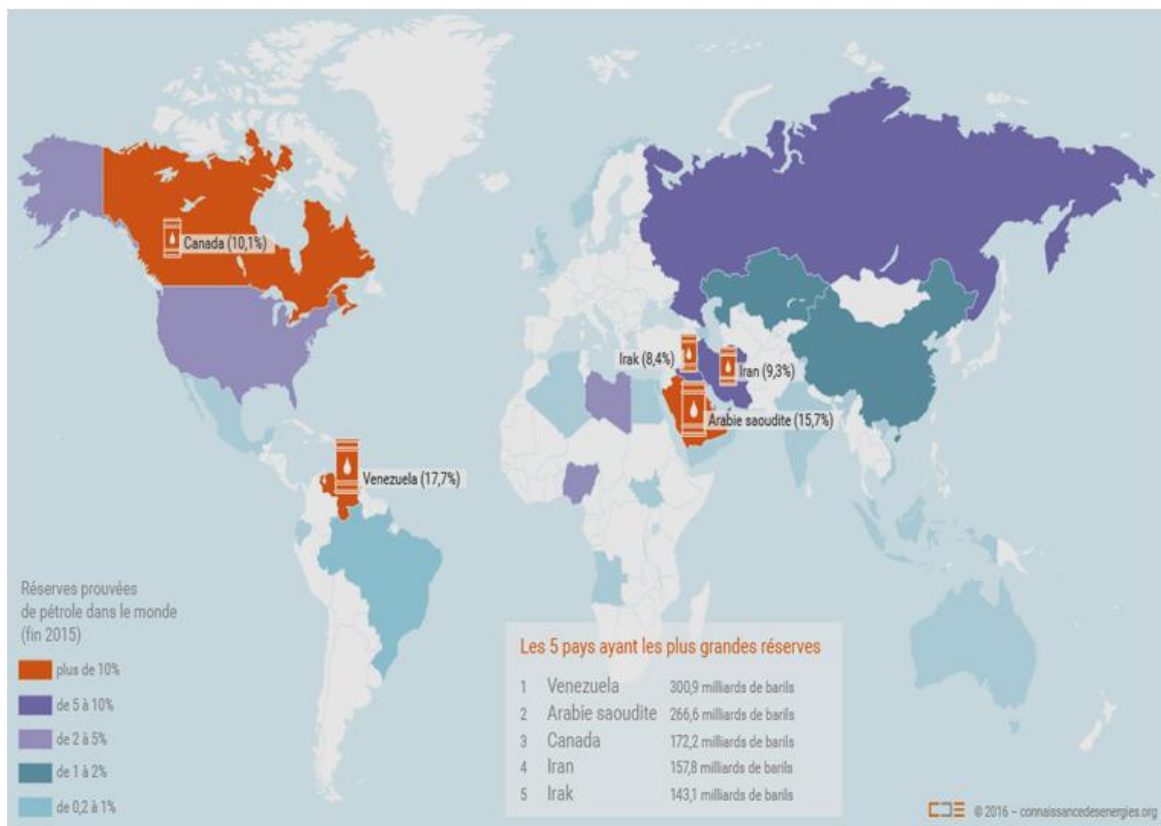


fig.01 : Les cinq pays disposant des plus importantes réserves prouvées de pétrole au monde à fin 2015.

I.1.2.3. Consommation :

Au cours des dernières décennies, l'on a noté un changement dans la consommation du combustible dominant à l'échelle mondiale, et une autre mutation est attendue au cours des prochaines années. Afin de comprendre l'importance du pétrole et du gaz dans le mix énergétique mondial, il est important de comprendre l'état des lieux de la consommation mondiale d'énergie ainsi que les développements technologiques qui déterminent l'offre et la demande dans la chaîne mondiale d'approvisionnement en énergie.

Le graphique ci-dessous montre la consommation totale d'énergie primaire au monde de 1992 à 2017 par type de combustible. La consommation globale d'énergie primaire s'est accrue de 2,2 % en 2017, contre 1,2 % en 2016, soit la plus forte croissance réalisée depuis 2013. Tous les combustibles, à l'exception du charbon et de l'hydroélectricité, ont enregistré des hausses à des taux supérieurs à la moyenne. Le gaz naturel a enregistré la plus forte hausse de la consommation d'énergie, soit 83 millions de tonnes d'équivalent pétrole (mtep), suivi de l'énergie renouvelable (69 mtep) et du pétrole (65 mtep).

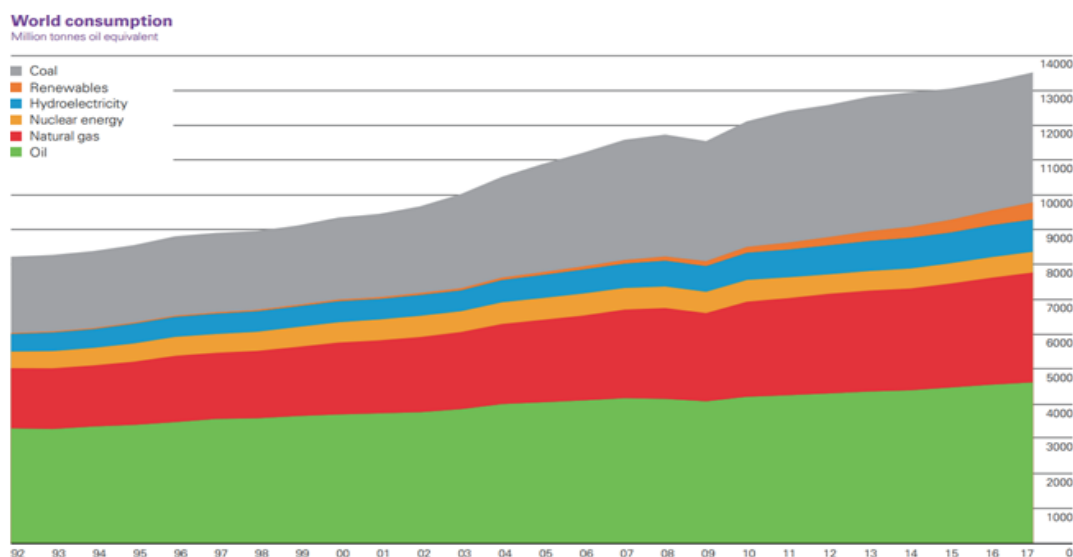


fig.02 : la consommation totale d'énergie primaire au monde de 1992 à 2017 par type de combustible.

Les principaux facteurs à l'origine du changement enregistré dans la consommation des combustibles dominants à l'échelle mondiale sont l'accessibilité, l'abordabilité et la durabilité.

Le graphique ci-dessous, publié par l'Agence d'information sur l'énergie des États-Unis, montre les prévisions de consommation mondiale d'énergie jusqu'en 2040.

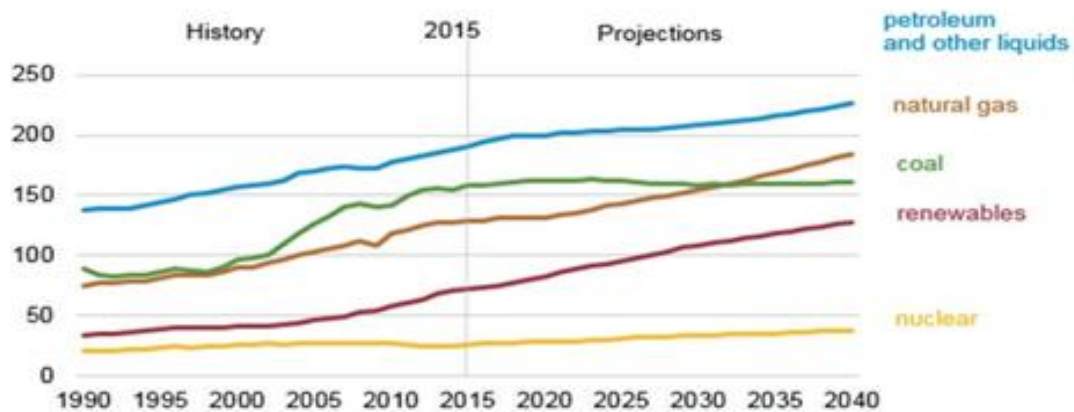


fig.03: consommation mondiale d'énergie par source d'énergie. En quadrillion de BTU

Comme on peut le constater, la consommation de pétrole devrait s'accroître de manière régulière jusqu'en 2040, et ce, en dépit de la transition énergétique attendue en Europe et en Amérique du Nord et de la hausse du nombre de véhicules électriques (VE). Si l'on s'attend à ce que la plus forte hausse de la production mondiale d'électricité provienne des énergies renouvelables, la production à cycle combiné alimentée au gaz est actuellement la source d'énergie la plus propre disponible utilisant les hydrocarbures, et la production de gaz devrait encore s'accroître de manière régulière, contribuant ainsi à l'équilibre des sources renouvelables.

I.1.3. L'industrie gazière dans le monde :

Malgré les avantages évoqués ci-dessus, les marchés mondiaux ont récemment connu une évolution vers le gaz plutôt que vers le pétrole qui était historiquement privilégié.

I.1.3.1. La demande :

La compagnie BP (société multinationale pétrolière et gazière de droit britannique) émet l'hypothèse que, d'ici à 2040, le gaz va surclasser le pétrole en tant que source d'énergie primaire mondiale, au fur et à mesure que s'accroît la demande du combustible fossile le moins polluant. BP s'attend en outre à ce que la demande globale de gaz augmente d'environ 1,6 % par an, contre 0,8 % pour le pétrole.

I.1.3.2. La production :

La production de gaz classique à terre et en mer est appelée à baisser à partir de 2030 environ, en revanche, celle du gaz non conventionnel à terre devrait atteindre un pic en 2040. DNV GL, une société d'enregistrement et de classification norvégienne accréditée au niveau international, s'attend à ce que cette tendance conduise à des

développements plus affinés et plus agiles dans le secteur du gaz marqués par des durées de plus courtes. [1]

I.1.3.3. Réserves :

Les réserves prouvées de gaz dans le monde (dont la rentabilité économique est garantie à 90%) sont estimées à 187 100 milliards de m³. Compte tenu de la consommation annuelle, soit 3 393 milliards de m³ en 2014, ces réserves correspondent à près de 55 ans de consommation. Ces chiffres s'inscrivent dans un contexte général où le gaz représente plus d'un cinquième de la consommation énergétique mondiale

Les gisements sont inégalement répartis dans le monde : 42,7% des réserves prouvées de gaz dans le monde sont notamment situées au Moyen-Orient. En dépit de ses réserves, cette zone ne fournit que 13,7% du marché international

Les cinq pays disposant des plus importantes réserves de gaz au monde sont :

- **l'Iran** : 33 800 milliards de m³ de réserves prouvées à fin 2013 (soit 18,2% des réserves mondiales) ;
- **la Russie** : 31 300 milliards de m³ de réserves prouvées (16,8%) ;
- **le Qatar** : 24 700 milliards de m³ de réserves prouvées (13,3%) ;
- **le Turkménistan** : 17 500 milliards de m³ de réserves prouvées (9,4%) ;
- **les États-Unis** : 9 300 milliards de m³ de réserves prouvées (5%) [2]

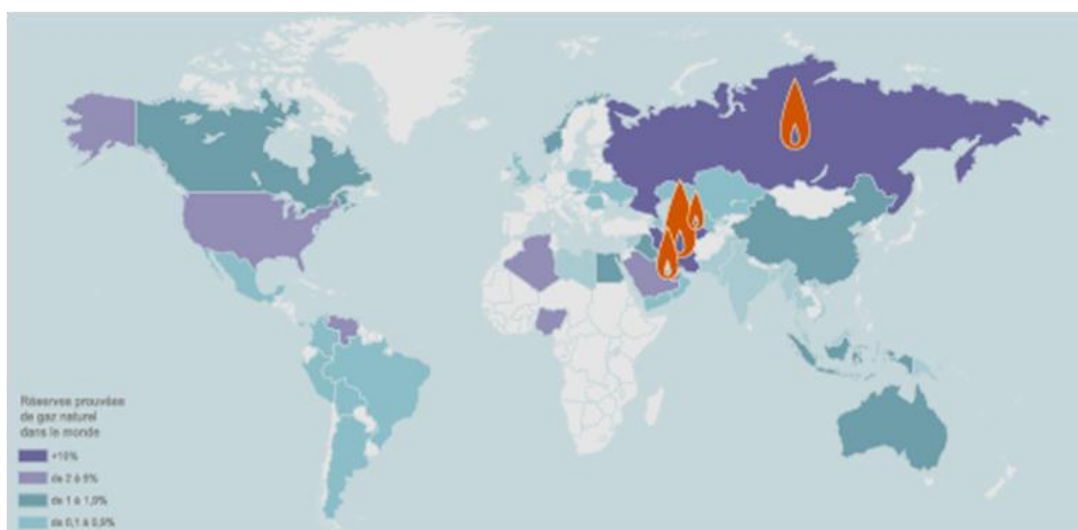


fig.04 : Répartition en pourcentage des réserves prouvées de gaz dans le monde à fin 2013

I.1.3.4. Développement :

En raison des progrès technologiques, le mode de transport du gaz a également connu un changement radical et continuera d'évoluer, ce qui permettra son transport vers des marchés mondiaux plus vastes. À titre d'exemple, le commerce du GNL se développe rapidement, (environ 8% en glissement annuel) ce qui relie des marchés disparates (en particulier à travers l'Asie), et rend plus simple ainsi que moins coûteuse l'importation du GNL du fait de la facilité à le stocker.

Les principaux importateurs de GNL sont le Japon, la Chine, la Corée du Sud et l'Inde. Les principaux exportateurs de GNL sont le Qatar, l'Australie, la Malaisie et le Nigéria.[1]

Tableau II : Production et consommation de gaz naturel(GN) en milliards de m³ dans quelques pays du monde en 2014		
	Production	Consommation
Monde	3 460,6	3 393,0
États-Unis	728,3	759,4
Russie	578,7	409,2
Iran	172,6	170,2
Qatar	177,2	44,8
Canada	162,0	104,2
Norvège	108,8	4,7
Chine	134,5	185,5
Algérie	83,3	37,5
Pays-Bas	55,8	32,1
Royaume-Uni	36,6	66,7
Australie	55,3	29,2
Allemagne	7,7	70,9
Italie	6,6	56,8
France	<1	35,9
Japon	—	112,5

I.1.4.L'industrie pétrolière et gazière en Algérie :

L'Algérie est un membre de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole et du Forum des pays exportateurs de gaz, elle est le 3^e producteur de pétrole en Afrique après le Nigeria et l'Angola et le 11^e exportateur de pétrole au niveau mondiale. L'Algérie occupe la 15^e place mondiale en

matière de réserves pétrolières (45 milliards de tonnes en équivalent pétrole pour les réserves prouvées en pétrole), et représente le 18^e producteur mondial de pétrole.

La SONATRACH est une grande société pétrolière algérienne qui réalise tout le processus de la chaîne pétrolière et gazière (extraction, forage, production, transport, transformation et commercialisation des hydrocarbures).

La société SONATRACH représente un acteur majeur dans le domaine du pétrole et du gaz. La SONATRACH est aujourd'hui la première compagnie d'hydrocarbures en Afrique et en Méditerranée. Elle effectue ses activités dans quatre principaux domaines l'Amont, l'Aval, le Transport par Canalisation et la Commercialisation.

Elle est une entreprise publique algérienne, créée en 1963 pour exploiter les Ressources des hydrocarbures du pays. Ses activités diversifiées touchent toute la chaîne de production ; l'exploration, exploitation, transport, raffinage. Elle s'est diversifiée dans la pétrochimie et le dessalement d'eau de mer.

SONATRACH représente le 12^{ème} groupe au niveau mondial, et le 2^{ème} exportateur de GNL (gaz naturel liquéfié) et de GPL (gaz de pétrole liquéfié) et 3^{ème} exportateur de gaz naturel

I.1.4.1. Les principales activités de la Société :

- **Activité Amont :**

L'Activité de l'Amont rassemble les métiers de recherche, d'exploration, de développement et de production d'hydrocarbures. SONATRACH effectue son travail dans des grands gisements, principalement dans les régions du Sahara algérien, par exemple HASSI MESSAOUD, HASSI R'MEL, HASSI BERKINE, OURHOUD, TIN FOUYE TABANKORT, RHOURE NOUSS, AIN SALAH et AIN AMENAS en partenariat avec des compagnies pétrolières étrangères.

- **Activité Aval :**

Cette activité contient le développement et l'exploitation des complexes de liquéfaction de gaz naturel, de séparation de GPL, de raffinage et des gaz industriels

I.1.4.2. Productions, Exportations, Réserves du pétrole et du gaz naturel en Algérie :

L'Algérie contient de grandes richesses en matière des énergies fossiles, pour la production pétrolière, elle occupe le 17^{ème} rang au niveau mondial et le 3^{ème} rang au

niveau de l'Afrique après le Nigéria et l'Angola malgré le triplement de sa production en 50 ans.

La production pétrolière en Algérie atteint les 73 M TEP en 2012 soit 1,8% de la production mondiale. Dans ces dernières années, le poids dans la production mondiale reste limité.

La production d'hydrocarbures connaît une diversification croissante, l'exploitation du pétrole dans les années 1970 représentait 95,5% de la production d'hydrocarbure, ce taux a été modifié progressivement par la production du gaz, pendant les années 1990, de ce fait, le pétrole ne représente que 50% de la production en 2012. La production principale d'hydrocarbures de l'année 2013 a atteint 186,9 millions de TEP. Elle est composée de 127,2 milliards m³ de gaz naturel, dont 84% au titre de la production opérés par Sonatrach seule, 49,4 millions de Tonnes de pétrole brut, 8,8 millions de Tonnes de condensat et 6.6 millions de Tonnes de GPL. Les apports des principales régions sont localisés à Hassi-R'Mel, Hassi-Messaoud et Rhourde-Nouss.

Tableau III : Production du pétrole et du gaz naturel de 2009-2012

Années	2009	2010	2011	2012
Le pétrole brut (en millions de barils/jour)	1216	1189,8	1161,6	1199,8
Le gaz naturel (en millions de TEP)	71,6	72,4	74,4	73,4

Ce tableau, désigne aussi la production dans le pétrole brut (en milliers de baril par jour) et le gaz naturel (en millions de TEP) en Algérie. Durant la période (2009-2012)

Observant dans ce simple tableau, que la production dans le pétrole est stable passant de 1216M de TEP par jour en 2009 à 1161,6M de TEP par jour en 2012.

En ce qui concerne le gaz naturel, L'Algérie occupe la cinquième place mondiale en terme d'exportation de cette ressource (gazoducs+GNL) et possède entre 1,3% soit 2000 Mds m³ et 2,4% soit environ 4 500 Mds de m³ des réserves mondiales de gaz, aussi bien, elle a produit en 2012, 73,4 Mds m³ de gaz naturel commercialisable soit 2,4% de la production mondiale, ce qui place l'Algérie au 9^{ème} rang des pays producteurs au niveau mondial, et à la 1^{ère} place au niveau de l'Afrique.

Tableau IV : les estimations des réserves prouvées du pétrole en millions de barils(2002-2010)

Année	2002	2003	2004	2005	2006	2008	2009
Réserves prouvées	13100	13100	11870	12460	11000	14790	13420

Le tableau présidé: donne les estimations des réserves prouvées du pétrole et du gaz naturel durant la période 2002-2010 en Millions de barils et la production pétrolière selon la période 2002-2010.

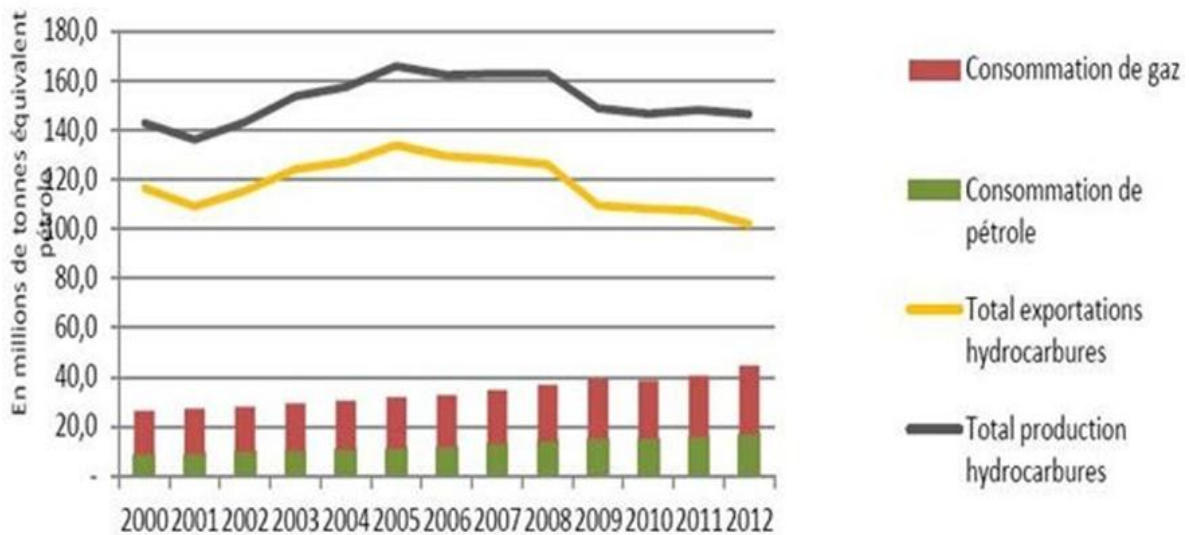


fig.05: Consommation, production, exportation d'hydrocarbures entre 2000 et 2012.

Cette figure, illustre qu'à partir de l'année 2008, le total de la production des hydrocarbures commence à diminuer, ce qui a probablement réduit l'exportation des hydrocarbures. Et la consommation de cette ressource augmente d'une façon stable.[\[3\]](#)

Chapitre II:

Généralités sur Gaz Naturel et le GPL

II.1. Définition de gaz naturel :

Le gaz naturel est un combustible fossile présent naturellement sous forme gazeuse dans les roches poreuses du sous-sol. Utilisé comme source d'énergie, le gaz est composé d'hydrocarbures : principalement du méthane (CH_4) mais aussi du propane (C_3H_8), du butane (C_4H_{10}), de l'éthane (C_2H_6) et du pentane (C_5H_{12}) [2]

II.1.1. Formation du gaz naturel :

Il est généré à partir de la sédimentation de matière organique vieille de plusieurs millions d'années. Le plus souvent, la matière organique enfouie dans le sous-sol se transforme d'abord en kérogène, sous l'effet de la pression et de la température. Lorsque la température augmente (entre 50 et 120°C), le kérogène se décompose. Appelée pyrolyse, cette décomposition thermique expulse deux hydrocarbures : le gaz naturel et le pétrole qui constituent, dans une roche imperméable, un gisement. Entre 1,5 et 3 km de profondeur, le gaz et le pétrole sont présents dans les mêmes gisements.

Le gaz naturel peut être de diverses natures : il est dit thermogénique lorsqu'il provient de la transformation de matière organique sous l'effet de la pression et de la chaleur et il est dit biogénique lorsqu'il est généré à partir de la fermentation de bactéries présentes dans les sédiments organiques.

Selon la profondeur et les types de gisements, le gaz peut être conventionnel ou non conventionnel. Cela dépend de sa difficulté d'extraction et des techniques d'exploitation. A l'inverse des gaz conventionnels piégés dans un gisement facile d'accès, les gaz non conventionnels sont difficiles à extraire. Les producteurs de gaz ont historiquement privilégié l'exploitation du gaz conventionnel qui garantit un taux de récupération des ressources de 80% contre 20% en moyenne pour le gaz non conventionnel [2]

II.1.2. Le traitement du gaz naturel :

- *Extraction et traitement :*

Le gaz naturel et le pétrole brut sont souvent associés et extraits simultanément des mêmes gisements, ou encore des mêmes zones de production. Les hydrocarbures liquides proviennent du pétrole brut pour une proportion moyenne de l'ordre de 80%, les 20% restants, parmi les fractions les plus légères le propane, et le butane sont presque toujours liquéfiés pour en faciliter le transport. Lors de l'extraction, la détente à la tête du puits provoque la condensation des hydrocarbures C_5 à C_8 , les liquides récupérés appelés « condensats de gaz

naturel » ou « liquide de puits de gaz naturel » correspondent à un pétrole extrêmement léger de très haute valeur (donnant de l'essence et du naphta). Tout le reste (hydrocarbures C_1 à C_4 , CO_2 , H_2S , He) est gazeux à température ambiante et acheminé par gazoducs vers une usine de traitement de gaz, il faut donc deux réseaux de collecte, un pour le gaz et un pour les condensats.

Le traitement du gaz naturel est l'ensemble des opérations que l'on fait subir au gaz brut extrait du gisement afin de le rendre utilisable en éliminant les éléments nocifs qui le composent et en conservant ceux qui peuvent être commercialisés. Le traitement du gaz peut intervenir à deux stade distincts : lors de la production (sur le gisement) et après réservoir souterrain ou dans les terminaux méthaniens. Dans ce dernier cas on parle de retraitement.

Le gaz naturel que nous utilisons n'est pas du tout le même que celui qui à été extrait du gisement pour prétendre au titre de « combustible », le gaz naturel doit :

- Etre « sec », c'est-à-dire ne contenir ni eau, ni hydrocarbures à l'état liquide.
- Etre débarrassé de ses composants acides ou de ses corps toxiques.
- Avoir un pouvoir calorifique et une densité invariables.

Si et seulement si ces trois conditions sont réunies, le gaz naturel pourra être utilisé.

La seconde étape du traitement est de récupérer les composés pouvant être commercialisés séparément, l'éthane, les gaz pétrole liquéfiés (GPL) ou l'hydrogène sulfuré (H_2S).

- Les différentes opérations permettant d'épurer le gaz brut extrait du gisement sont : [4]

- ✓ Déshydratation
- ✓ Décarbonatation
- ✓ Désulfuration
- ✓ Dégazolinage
- ✓ Démercurisation

II.1.3. Les principaux types de gaz à usage domestique et leur utilisation :

Le gaz naturel est le type de gaz le plus courant en usage domestique car il est distribué directement aux consommateurs via un système de canalisations centralisé. Le gaz naturel, - d'où son nom ! -, est extrait directement du sous-sol et subit très peu de transformations. Les avantages de ce gaz ? Il est moins cher et très facile d'utilisation puisque vous n'avez pas besoin de vous procurer de recharges (des bouteilles de gaz par exemple). Par ailleurs, votre consommation est directement pilotée et mesurée par l'intermédiaire de votre compteur de gaz.

a. Le bio méthane ou biogaz :

Le bio méthane, aussi appelé biogaz, proposé par différents fournisseurs de gaz naturel, est une énergie entièrement renouvelable, produite par fermentation anaérobie, c'est à dire la fermentation de matières organiques dans un milieu sans oxygène. Sa composition est similaire à celle du gaz naturel, ce qui lui permet d'être distribué par le réseau classique de canalisations.

Cette fermentation, que l'on appelle également méthanisation se produit aussi bien de manière naturelle dans les marais ou les décharges contenant des matières organiques, que par transformation des déchets agricoles ou industriels.

Ce gaz naturel est en grande partie composé de méthane et de dioxyde de carbone (CO₂), avec des proportions pouvant varier d'eau et de sulfure d'hydrogène (H₂S).

Le bio méthane peut être obtenu par extraction du dioxyde de carbone et du sulfure d'hydrogène. Ce gaz peut être facilement injecté – seul ou en proportion variable avec le gaz traditionnel classique – dans le réseau de distribution. Ses propriétés et caractéristiques sont identiques à celles du gaz naturel classique.

- **Utilisation du biogaz :**

Le brûlage du biogaz permet de produire de l'électricité ou de la chaleur, notamment sur le site où il a été produit. Cependant, à l'heure actuelle, c'est sous sa forme purifiée qu'il révèle le plus de potentiel. En effet, le bio méthane est injecté dans le réseau de gaz naturel pour le chauffage et la cuisson. Il est également utilisé en carburant pour alimenter les véhicules fonctionnant au gaz naturel.

b. Gaz butane et gaz propane :

Les gaz butane et propane sont tous les deux des Gaz de pétrole liquéfiés (ou GPL), conditionnés en bouteilles et sous forme liquide. Par ailleurs, ils ne sont pas toxiques et l'ajout d'un additif chimique en faible quantité lui conférant une odeur particulière, permet de détecter toute fuite. Bien que similaires, ces deux gaz domestiques se distinguent néanmoins par leurs usages différents et des modes de fonctionnement qui leur sont propres. Petit passage en revue de ces types de gaz naturel.

- **Le butane :**

Le butane prend une forme gazeuse dès lors que la température dépasse 0°C. Il est utilisé pour alimenter des appareils de cuisson ou de chauffage d'appoint. Son utilisation extérieure est possible, dès lors que la température est supérieure à 0°C.

- **Le propane :**

Plus résistant au froid, le propane prend une forme gazeuse à partir de -40°C. Il est ainsi tout indiqué pour les utilisations extérieures, c'est à dire barbecues et parasols chauffants ou éclairages. Par ailleurs, en raison de son augmentation rapide de pression, son utilisation en intérieur est proscrite [5]

II.2. Généralités sur le GPL :**II.2.1. Définition du Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL) :**

Les gaz de pétrole liquéfiés (GPL) sont un mélange d'hydrocarbures légers stockés à l'état liquide et issus du raffinage et des gaz associés dans les gisements de pétrole avec (40% des ressources mondiales) et du traitement de gaz naturel et de la liquéfaction des GNL avec (60% des ressources mondiales). Les hydrocarbures constituant les GPL sont des molécules constituées de 2 à 4 atomes de carbone (éthylène, propylène, butadiène, propane, butane).

Le GPL est composé d'environ 80% de butane (C₄H₁₀) et 20% de propane (C₃H₈). C'est un carburant dit propre, issu du raffinage du pétrole brut [6]

Comparaison GPL et Gaz naturel :

Le gaz naturel est plus léger que l'air alors que le GPL est plus lourd. Le gaz naturel est stocké à l'état gazeux, le GPL est stocké dans le réservoir à l'état liquide. La température d'auto-inflammation est de 420°C pour le GPL (225°C pour l'essence) et 540° C pour le gaz naturel.

Tableau I : composition de GPL

Le composant du GPL	% molaire
Méthane	0,32
Ethane	1,12
Propane	60,95
Iso butane	15,46
Normal butane	22,14
Iso pentane	0,01

II.2.2. Origine du GPL :

Les GPL peuvent être extraits à partir des champs de production de gaz naturel et/ou du raffinage du pétrole brut. Il s'agit des:

- **Les champs pétroliers :** Lors du traitement de pétrole brut il est nécessaire de stabiliser le pétrole brut à proximité des gisements de production en séparant les gaz dissous qui contiennent des proportions importantes de propane et de butane qui peuvent être liquéfiés.
- **Le raffinage :** Au cours des différentes opérations de raffinage et particulièrement pendant les opérations de distillation atmosphérique sous vide, les GPL sont recueillis : Lors de procédé du raffinage, les gaz (essentiellement les GPL) montent vers le haut de la colonne de dilatation tandis que les autres produits se déposent en bas, ainsi les fractions sont recueillies à chaque étage.

- **Traitement du gaz naturel :** Au cours des opérations de traitement, il est indispensable de séparer les GPL du reste des constituants de gaz naturel pour éviter en particulier les condensations dans les gazoducs sous pression élevée.
- **Les unités GNL :** Lors de l'opération de liquéfaction du gaz naturel et pour un respect des conditions de sécurité liées à son transport par méthanier. Le gaz à l'entrée des complexes GNL est appauvri par une extraction des GPL restants [6]

II.2.3. Caractéristiques générales des GPL :

➤ **Odeur :**

Le GPL est inodore à l'état naturel, mais on doit ajouter un odorant, ce sont des composés sulfures tel que le diéthyle mercaptane ou le diméthyle sulfide 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 à titre exemple : À 38 °C la densité est égale 0,534, la densité est très importante dans le GPL commerciale.

➤ **Température d'ébullition :**

A 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 donné que le GPL est traditionnellement utilisé pour les besoins domestiques :

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

➤ **Impuretés :**

Le plus important est les soufre, la teneur en soufre est inférieure ou égale à 0,005 % en masse, ainsi l'eau l'un des impuretés importants.

- Le GPL est non corrosif à l'acier mais généralement aux cuivres et ces alliages ou l'aluminium.
- Le GPL n'aucune propriété de lubrification et cet effet doit être prise en considération lors de la conception des équipements du GPL (pompes et compresseurs) Le GPL est incolore, que ce soit en phase liquide ou en phase gazeuse.
- Le GPL ne sont pas vraiment toxiques, ils présentent tout au plus un léger pouvoir anesthésiant s'ils sont inhalés longuement et provoquer des migraines et des maux d'estomac.
- Le GPL lorsqu'il se répond sous sa forme, hors d'un container sous pression produisant du froid : au contact de la peau, il provoque des brûleurs caractéristiques appelées « brûlures froides ».
- Le poids spécifique du GPL est environ la moitié de celui de l'eau.
- Le gaz propane à une densité de 1,5 fois de l'air.
- Le GPL n'est ni toxique ni corrosif vis à vis des aciers.
- Le GPL n'est pas de propriétés lubrificatrices et ceci doit être pris en considération lors du dimensionnement des compresseurs et des pompes.

Le GPL est caractérisé par un indice d'octane recherché (RON) naturellement élevé atteignant aisément 98. Cette propriété découle en fait directement de des valeurs de RON de chacun de ces constituants. Par ailleurs, son indice d'octane moteur (MON) est, lui aussi légèrement plus élevé que celui des essences classiques [7] .

II.2.4. Situation internationale de GPL :

Les deux tiers environ des GPL dans le monde sont produits à partir des usines de gaz naturel, Et un tiers est issu des raffineries de pétrole brut.

II.2.5. Situation Algérienne de GPL :

- *Industrie du GPL en Algérie :*

Durant la dernière décennie, l'industrie algérienne des GPL a connue des changements profonds, notamment en matière de production, d'exploitation et dans les activités de transport maritime.

Le programme de valorisation des ressources gazières lancé au début des années 90 fait bénéficier aujourd'hui SONATRACH de disponibilités importantes de GPL. Depuis la mise en exploitation du champ gazier de HAMRA en 1996, la production des GPL en Algérie a suivi une croissance soutenue.

Quelques chiffres peuvent illustrer cette dynamique. La production est passée de 5,05 millions de tonnes en 1996 à plus de 7.3 millions de tonnes en 1998 et devait clôturer dans année (2014) à plus de 14 millions de tonnes. Un pic de 17 millions de tonnes sera atteint en 2020 lorsque les projets développés auront été mis en service. [8]

- *Offre nationale de GPL :*

En Algérie la majeure partie des GPL provient des champs pétroliers (79%), l'autre partie est produite au niveau des raffineries des pétroles de Skikda, Alger et Arzew (10 %) et des complexes de la liquéfaction de gaz naturel de SONATRACH -GL2Z et GL1K (11%).

L'offre du GPL est localisée essentiellement dans la région ouest à Arzew avec 87%, 9% dans la région de Skikda ; 2% au sud et 2% dans la région centre Cet accroissement est dû à la mise en place d'unités d'extraction au niveau des champs de Hassi-R'mel en 1979 ; Adrar en 1985 ; Haoudh-Berkaoui en 1993 .et EL Hamra en 1995.

II.2.6. Usages :

Les GPL sont souvent utilisés là où les réseaux de gaz naturel sont inaccessibles, pour des applications variées :

- *applications itinérantes* : bouteilles pour restauration, briquets, lampes, etc. ;
- *applications domestiques* : cuisson, chauffage, production d'eau chaude sanitaire ;
- *applications industrielles* : métallurgie, pétrochimie, industrie textile et du papier, etc.

Par exemple, ils sont utilisés dans les fours de traitement thermique, de cuisson et d'émaillage (notamment pour le verre, les poteries ou les porcelaines). Les propriétés oxydantes ou réductrices des GPL y sont exploitées, notamment pour jouer sur les couleurs ;

- **applications agricoles** : agriculture, élevage, etc. Par exemple, les GPL sont des alternatives aux produits chimiques pour le désherbage ;
- **transports** : carburant pour des véhicules, des bateaux de plaisance, des montgolfières, etc. [2]

II.2.7. Consommation mondiale en GPL :

Dans le monde, l'énergie GPL (gaz butane et propane) constitue 1,2% de l'énergie primaire consommée.

- Le secteur domestique est le segment de consommation le plus important avec 52% de la consommation mondiale des GPL soit près de 105 Millions de tonnes. Le secteur pétrochimie occupe la deuxième place, avec une part de 26%, évaluée à 52 Millions tonnes et qui devrait atteindre 57 Millions de tonnes en 2010, suivi par le secteur de l'industrie avec une part de 12%.

La croissance de la consommation de GPL-C a été de 9%, mais elle est en réalité moins portée sur des quantités peu importantes et enfin le secteur agricole qui occupe la dernière place avec une part de 1% [6]

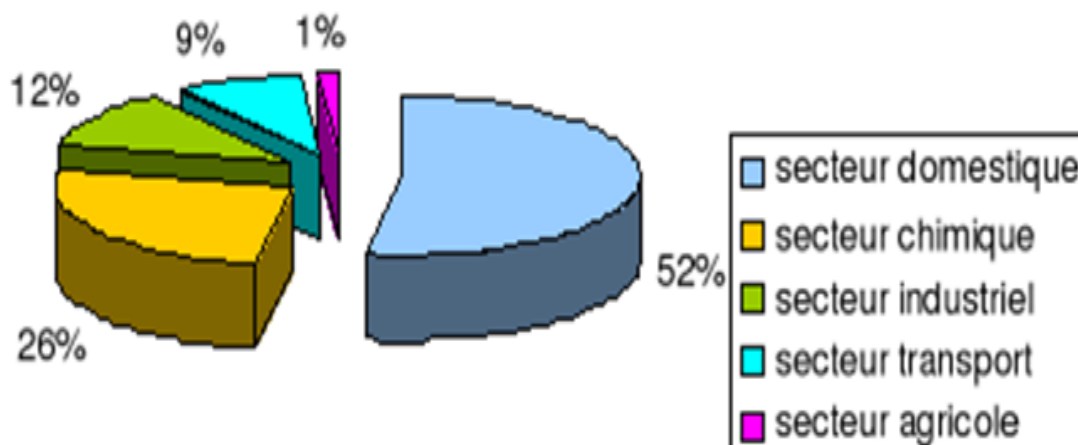


fig.01 : Consommation mondiale de GPL par secteur en 2007

- *Les pays producteurs et consommateurs :*

Les principaux producteurs de GPL dans le monde sont les États-Unis, l'Arabie saoudite et la Chine. A eux trois, ils délivrent près de 37% des GPL produits dans le monde. Ce sont également les trois principaux consommateurs de GPL dans le monde (la Chine se trouvant en 2^e position devant l'Arabie saoudite). [2]

Actuellement, Le taux moyen annuel mondiale représentent 9% de la de la demande mondiale de GPL. La demande mondiale en GPL a augmenté à un rythme bien supérieur à celui de la demande énergétique totale est atteindre 100 MT en 2020.

Cette demande est dominée par le secteur résidentiel dans le marché asiatique et par leur secteur de raffinage (18 %) et de la pétrochimie (43 %) aux Etats-Unis. La demande en Europe est équilibrée entre ces trois secteurs. Voir figure 1

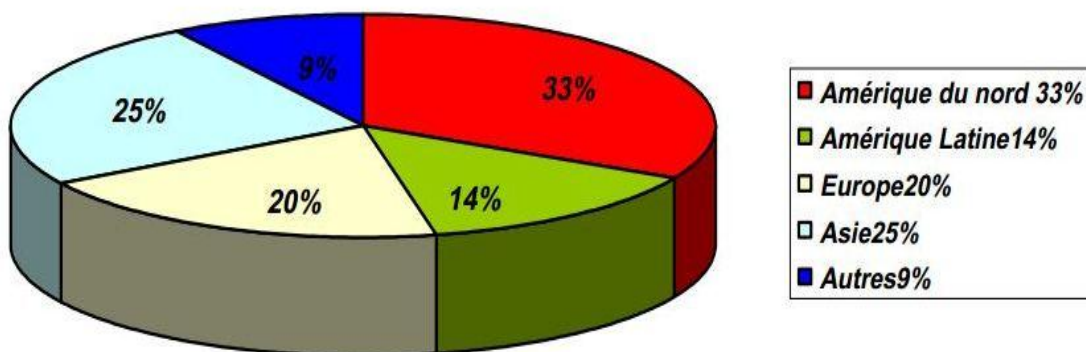


fig.02 : Demande mondial du GPL.

En France, les GPL sont utilisés quotidiennement ou ponctuellement par près de 10 millions de foyers. Ils fournissent :

- ✓ 2% de la production de chaleur française et de la production eau chaude ;
- ✓ 30% de la cuisson ;
- ✓ 31% pour les trois usages.

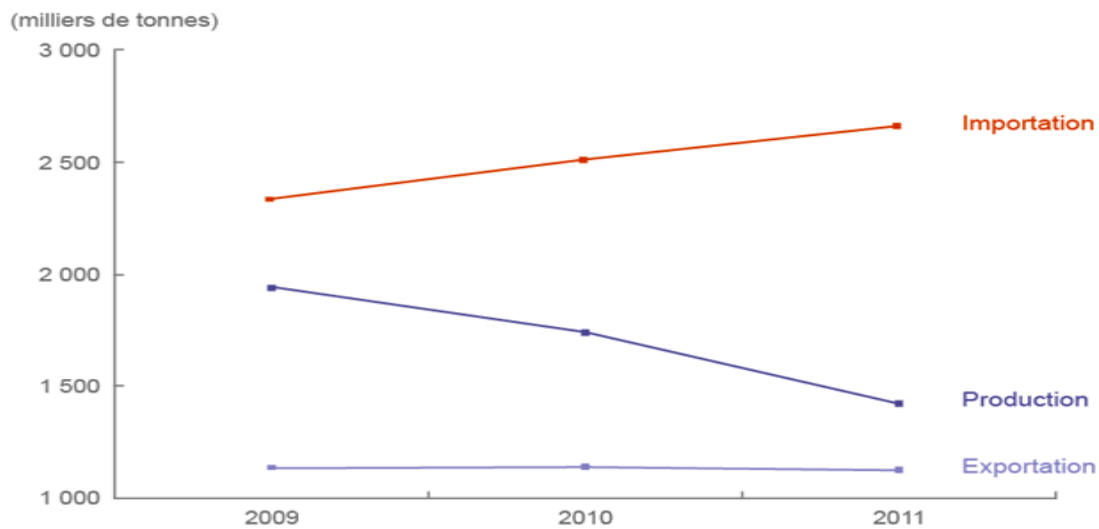


fig.03 : Évolution de l’approvisionnement de la France en GPL

En 2011, la consommation mondiale de GPL atteint près de 260 millions de tonnes. Près de 24 millions de tonnes sont consommées au sein de l’Union européenne, dont 2,1 millions de tonnes en France. [2]

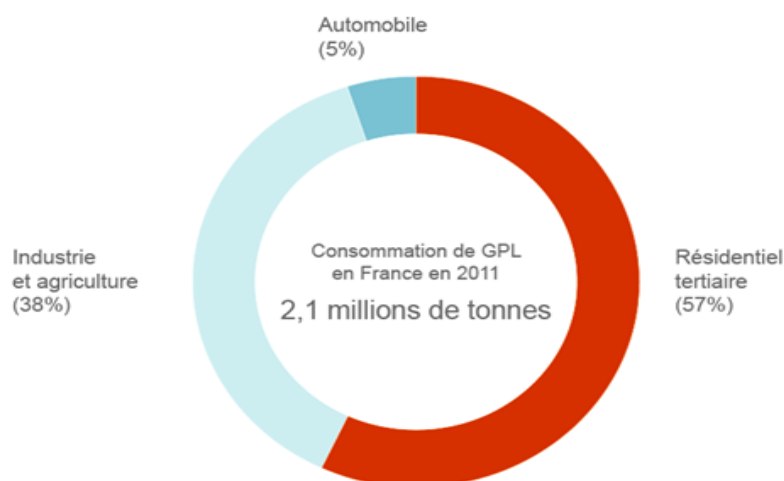


fig.04 : Répartition de la consommation française de GPL par usages (©DR, d’après données 2013 CEREN/CFBP)

II.2.8. Stockage des gaz liquéfiés :

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 la perte 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 aéroréfrigérant et enfin détendues à 5 bars et 15°C, ceci permet le refroidissement du réservoir, et par conséquent la réduction de sa pression.

- *Types de stockage :*

Les gaz liquéfiés sont stockés sous leur propre tension de vapeur et la pression de stockage dépend uniquement :

- De la nature du produit stocké.
- De la température de stockage.

Les gaz liquéfiés sont stockés, dans des réservoirs aériens sous pression à la température ambiante.

La tenue à la pression ne pose pas de problème puisque ces réservoirs sont protégés par des soupapes de sécurité dont la pression de tarage est bien entendu fonction du produit.

Cela concerne :

- Les réservoirs cylindriques.
- Les sphères.
- Les stockages souterrains.
- Les stockages sous talus.

Les réservoirs petits vrac de propane et de bouteilles de propane et de butane commerciaux.

a. Réservoirs cylindriques (cigares) :

- Ils peuvent être installés verticalement ou horizontalement.
- Ils ont une capacité limitée (jusqu'à 500 m³) et sont sensibles à la mise sous vide, très peu résistantes au vide (0,1 bar maxi).
- Les équipements rencontrés sur ces capacités sont identiques à ceux équipant les sphères.

b. Les sphères :

La forme sphérique permet de mieux utiliser la résistance de la tôle et d'obtenir un moindre coût d'investissement.

La gamme de capacités réalisables va de 200 m³ (7 m de diamètre) jusqu'à 7000 m³. Certaines résistent peu au vide, d'autres sont calculées pour résister à un vide de -0.6bar et parfois jusqu'au vide « total ».

c. Les réservoirs sous terrains :

Les gaz liquéfiés sont stockés dans des cavités creusées dans la roche (calcaire, craie...) à partir d'un puits central ou à partir d'une rampe d'accès. Ça permet le stockage d'une grande quantité du gaz liquéfié en toute sécurité.

d. Stockage sous talus :

Réservoirs dont les parois sont recouvertes avec une couche protectrice à l'égard des effets thermiques et mécaniques. Cette couche protectrice a une épaisseur minimale d'un mètre (1 m) de matériau dense et inerte (terre, sable, matériau composite). Le principal avantage est la sécurité accrue par rapport à l'environnement. La couche de sable ou de terre offre une protection contre le rayonnement thermique, les ondes de choc et la projection d'éclats consécutifs à un incident sur une installation proche. La pression de service et donc les pressions de calcul sont moindres en raison de l'effet d'écran thermique du talus.

Pour les réservoirs sous talus, la pression de calcul actuellement retenue correspond à la pression d'équilibre de la phase gaz du liquide à 30°C (soit 12 bars pour le propane). Pour les réservoirs aériens la température retenue est généralement de 40°C (soit 16 bar pour le propane).^[9]

Chapitre III:

Description et généralités d'un train de procédé

III.1. Description et généralité d'un train de procédé :

La production de GNL dans le complexe est assurée par six trains fonctionnant en indépendance où chacun comprend un nombre d'équipements montés principalement en série, assurant ainsi la transformation du GN de l'état gazeux à l'état liquide.

Chaque train est divisé en 7 sections :

- section traitement de gaz
- section séparation
- section refroidissement
- section liquéfaction
- section compression
- section fractionnement
- section stockage

III.1.1. Section de traitement de gaz :

- *Descriptions de procédé :*

Cette section est elle-même constituée de deux sous-sections décarbonatation et déshydratation :

- **Décarbonatation :** Le gaz naturel « brut » passe d'abord dans un ballon séparateur où les hydrocarbures liquides piégés sont acheminés vers le système de rejet, ceci afin de ne pas contaminer la MEA et éviter ainsi la formation de mousse.

Le dioxyde de carbone (CO₂) est extrait du gaz naturel par lavage de celui-ci à contre-courant dans une colonne d'absorption par une solution aqueuse à 15 % de MEA (mono-éthanol amine).

Certains composants du gaz naturel doivent être extraits soit pour des raisons imposées par les étapes de traitement ou de transport, soit pour se conformer à des spécifications commerciales ou réglementaires, il est nécessaire d'éliminer au moins partiellement :

- CO₂ : corrosif et de valeur thermique nulle.
- H₂ : corrosif dans certains cas.
- H₂O : conduisant à la formation des hydrates.
- Les hydrocarbures lourds : condensant dans les réseaux de transport.
- N₂ : de valeur thermique nulle.

- **Déshydratation** : Cette Section permet d'éliminer l'eau contenue dans le GPL d'alimentation en utilisant des tamis moléculaires qui adsorbent les molécules d'eau afin d'éviter tout givrage dans la Section de réfrigération [10].

L'étude de la section de déshydratation sera détaillée dans la partie suivante, étant donné son étroite relation avec le sujet traité.

Donc Le gaz naturel décarbonaté est saturé en eau, d'où la nécessité d'éliminer complètement les traces d'eau pour obtenir à la sortie, une teneur inférieure à 1 ppm.

Le gaz pénètre à une pression élevée dans deux sécheurs en service et traverse les tamis moléculaires en perdant progressivement son humidité, un troisième sécheur étant en régénération.

Section de compression (BOG) :

Avant que le gaz ne soit comprimé il devra être en premier lieu séparé et cela est assuré par son passage par deux ballons de séparation qui ont pour rôle d'éliminer une quantité de liquide. Le fond du ballon est envoyé vers la section de traitement car il contient une quantité de condensat et le haut de ce ballon est envoyé vers la section de compression qui est composée de quatre compresseurs entraînés par une turbine à gaz ; Ces gaz sont ensuite refroidis puis se dirigent vers les ballons de refoulement où a lieu la séparation et l'élimination de l'eau condensée. Les gaz sortant en tête de ces séparateurs sont collectés dans un collecteur commun qui alimente les trains.

- ***Technique de traitement de gaz***

Les procédés de traitement de gaz sont multiples de part le monde et le choix de type de traitement se base sur les critères suivants :

- La quantité de l'effluent brut.
- Taux de récupération d'hydrocarbures visés spécification des produits.
- Coût global des investissements.

Ainsi donc il existe deux procédés :

A. Procédé PRITCHARD :

Il est basé sur le refroidissement du gaz par échange thermique et par une détente avec utilisation d'un boue de propane comme système réfrigérant pour atteindre en fin du cycle des températures voisines de -23°C .

B. Procédé de HUDSON :

Il est basé sur le refroidissement du gaz par échange thermique et par une série de détente complétées d'une détente à travers une machine appelée Turbo_Expander, qui permet d'atteindre un niveau de température de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Le procédé HUDSON est plus performant, il permet une meilleure récupération des hydrocarbures liquides.

Le gaz en provenance des puits producteurs est un mélange (gaz et hydrocarbures liquides) contenant une faible proportion d'eau du gisement. Il se présente à une pression de 105 bars et une température de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

III.1.2. Section séparation :

Le refroidissement du gaz naturel traité s'effectue par l'intermédiaire de quatre schillers sous refroidis par du propane atteignant ainsi une température $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Le passage du gaz dans l'inter – changeur permet un deuxième refroidissement jusqu'à $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$, le gaz est ensuite injecté dans la tour de lavage au niveau du 10^{ème} plateau où les produits lourds sont séparés par distillation du gaz naturel (éthane, propane, butane, ...).

III.1.3. Section refroidissement :

Le but de cette section est de refroidir le gaz à une température ($-^{\circ}\text{C}$) à travers une batterie d'échangeur. Cette section est conçue pour réfrigérer le propane et le butane commercial produit dans la section séparation, les réfrigère jusqu'aux basses températures correspondant au point de saturation liquide et les dirige vers les bacs de stockage à basse température ($-^{\circ}\text{C}$)

III.1.4. Section liquéfaction :

La liquéfaction est la sixième étape dans le processus de production de GNL, c'est la plus importante, elle consiste à combiner entre l'abaissement de la température du gaz et l'augmentation de sa pression, c'est-à-dire en comprimant suffisamment le gaz puis on enlève sa chaleur par le biais d'un fluide réfrigérant (MCR), dans l'échangeur principal, ce fluide à son tour sera auto refroidi à contre-courant dans le même échangeur cryogénique, ensuite par échange de chaleur dans des condenseurs dont le fluide réfrigérant est le propane, la chaleur du gaz naturel est ainsi enlevée.

Les vapeurs de tête de la tour de lavage se dirigent vers le ballon de reflux et ensuite vers le faisceau central où elles seront refroidies par le MCR. Ce courant monte et en traversant le faisceau froid où il sera condensé par le MCR liquide issue de la détente à travers.

Le GNL liquéfié sort en tête du faisceau central et se dirige vers l'échangeur de gaz de rejet. Dans cet échangeur à plaques, le GNL sera refroidi tout en chauffant les vapeurs de tête.

A sa sortie, il se mélangera avec le courant des réinjections de C2 et C3. Ces deux courants (C2 et C3) sont également sous refroidis par les vapeurs de tête et leur débit est régulé. Ce mélange suite à un flash, les vapeurs seront séparées du liquide.

Les vapeurs seront donc réchauffées et en refroidissant les réinjection C2, C3 et le GNL. Le GNL liquide sortant du fond sera sous refroidi dans le rebouilleur par le GNL. Le courant liquide de GNL descendant sera en contact avec les vapeurs montantes pour séparer l'azote du GNL afin de contrôler les spécifications et le pouvoir calorifique.

III.1.5. Section compression :

III.1.5.1. Boucle de propane :

La boucle de propane est une boucle à quatre étages qui permet de refroidir le gaz naturel et le MCR (multi composant réfrigérant) par paliers successifs, le propane, après compression et condensation, subit quatre niveaux de détentes refroidissantes, lui permettant d'échanger ses frigories avec le MCR.

III.1.5.2. Boucle MCR :

La boucle MCR constitue la deuxième boucle frigorifère de l'unité de liquéfaction. Le fluide frigorifère est un mélange d'azote, de méthane, d'éthane et de propane. Ce dernier circule dans une boucle fermée à deux compresseurs MCR (I) et MCR (II) entraînés par chacun par une turbine. Le MCR sert à liquéfier le gaz naturel dans l'échangeur principal.

III.1.6. Section fractionnement :

L'unité fractionnement est alimentée par les produits de fond de la tour de lavage situé en amont de l'échangeur principal.

La section est composée de trois colonnes :

III.1.6.1. Le dé-éthaniseur :

Il permet d'extraire l'éthane en haut de la colonne pour être réinjecter dans le GNL, l'excès est utilisé comme combustible dans le système fuel gaz. Les produits de fond du dééthaniseur sont acheminés vers la colonne de dépropanisation.

III.1.6.2. Le dépropaniseur :

Il constitue la 2ème tour de fractionnement. Son rôle est de produire le propane en tête de colonne et de l'acheminer en grande partie vers GP1 pour y être commercialisé ou réinjecté dans le GNL, l'autre partie est sert comme appoint dans la boucle MCR et propane réfrigérant. Les produits de fond sont acheminés vers la colonne de débutanisation.

III.1.6.3. Le débutaniseur :

Il constitue la 3ème tour de fractionnement. Le produit de tête de colonne est du butane « Commercial » est envoyé vers GP1 pour être commercialisé ou réinjecté. Dans le GNL, le produit de fond de la tour constitue la gazoline qui est envoyé vers stockage pour y être commercialisé.

III.1.7. Section Stockage du G.P.L :

Les G.P.L sont stockés sous pression dans des réservoirs sphériques, lors de leur stockage, des vapeurs de G.P.L (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 G.P.L produits dans les canalisations.
- La différence de température entre le liquide stocké et celui à introduire dans le réservoir.

Pour éviter la perte 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 sont utilisés.

Le GPL est stocké en utilisant plusieurs techniques

- ✓ **Stockage sous pression** : le GPL est stocké à l'état liquide sous pression de 14 à 14,5 bars à la température ambiante et cette pression est maintenue avec fuel gaz ,dans le but d'éviter la perte des vapeurs de GPL qui se dégagent par ébullition et ce qui permet d'avoir un volume plus réduit (plus de 250 fois). Les réservoirs utilisés pour le stockage sont sous formes sphérique ou bien cylindrique à axe horizontal (cigare) à des capacités différentes, revêtus d'une peinture qui réfléchit la chaleur et munis d'une soupape de sécurité.
- ✓ **Stockage réfrigéré** : sous pression où les gaz liquéfiés sont stockés à des températures voisines ou inférieures à 0°C, cela permet une réduction importante de la pression de stockage c'est le cas des produits volatils (ex : propylène, butadiène stocké à 0°C et 4,5 bars).
- ✓ **Stockage cryogénique** : pour les gaz incondensables à la température ambiante. La pression de stockage est légèrement supérieure à la pression atmosphérique, la température est alors voisine de la température normale d'ébullition du produit [11] .

Le schéma suivant représente une description générale des étapes de traitement du gaz naturel et des unités les plus importantes de la production de GPL.

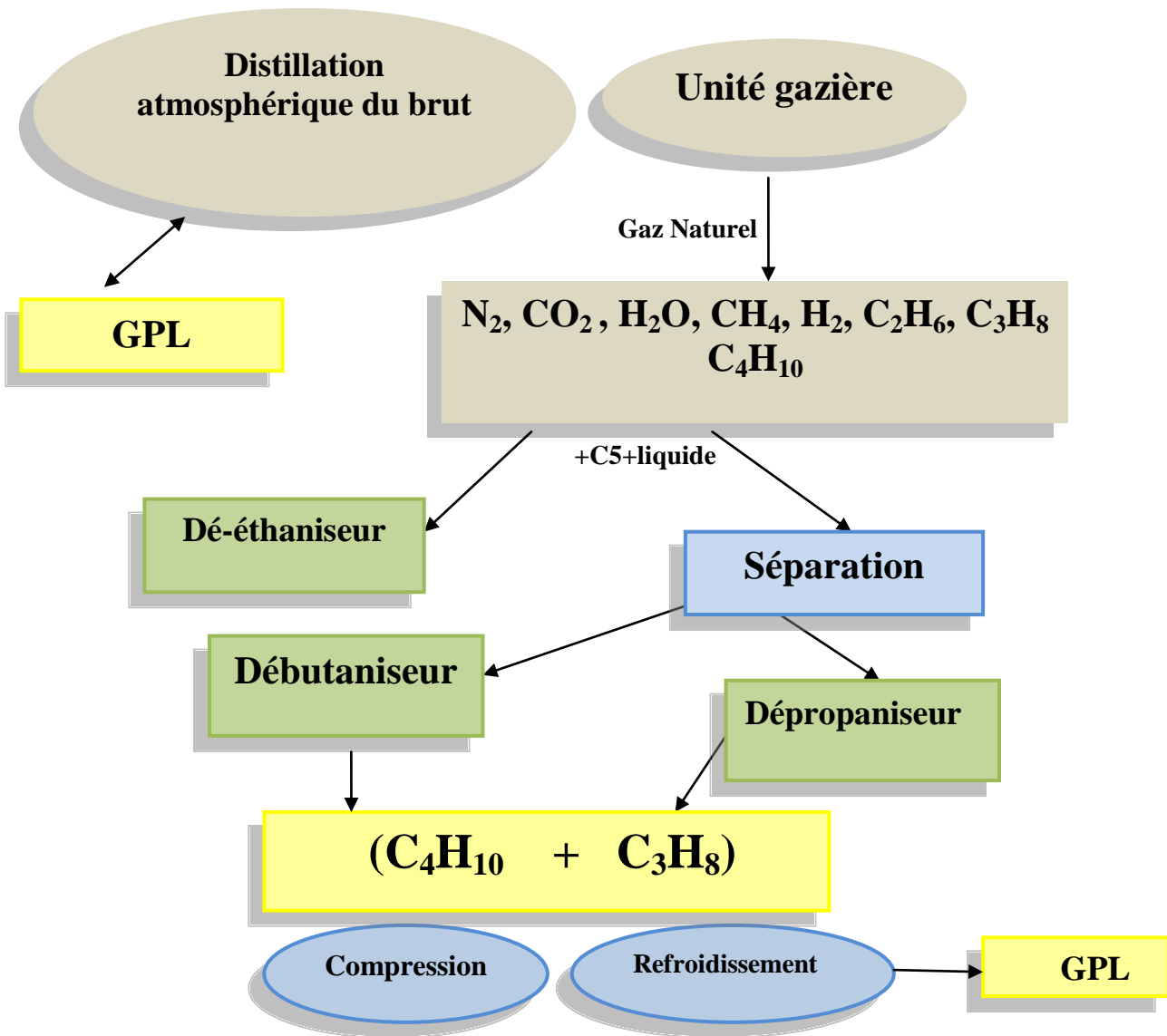


fig.01: Description de procédé de traitement.

Chapitre IV: étude comparative

Introduction :

Le but dans ce chapitre est de faire une étude comparative de certains des problèmes et une tentative d'introduire et probablement de proposer de nouvelles solutions.

Parmi les problèmes auxquels le gaz est toujours confronté lors du traitement, il se trouve souvent dans les unités de séparation, ce qui entraîne de nombreux problèmes différents, qui influent sur la production maximale de GPL.

IV.1. Problème(1) (à HAOUD BERKAOUI) : [12]**IV.1.1.Le problème étudié:**

Les étudiants ont remarqué que l'unité de HAOUD BERKAOUI achète le propane qui est utilisé dans l'échangeur de chaleur comme réfrigérant.

Dans la présente étude, ils ont proposé d'ajouter une autre colonne (dé-propaniseur) pour satisfaire les besoins de l'unité en propane.

Cela demande le dimensionnement et l'optimisation des paramètres (T, P) de fonctionnement de cette colonne.

En résumé, la proposition est donc d'ajouter une nouvelle colonne de dé-propaniseur.

IV.1.2.Détail du problème:

La colonne du projet C-703 destinée à fractionner le GPL de l'unité de Guellala, pour l'obtention de propane, qui doit alimenter la boucle de refroidissement et satisfaire les divers utilisations au niveau de la région. Le butane va être envoyé vers la séparation, s'il y a possibilité de le stocker dans des bouteilles, ou l'envoyer vers les sphères de stockage.

Dans ce contexte, ils ont réalisé une étude de dimensionnement d'une colonne de dé-propaniseur pour satisfaire l'unité de GUELLALA/HBK en ce produit.

IV.1.3.Principe de fonctionnement:

Au début de la réalisation de ce projet ils ont essayé d'optimiser les paramètres de fonctionnement (température, pression) de la colonne.

Le courant d'hydrocarbure venant de refoulement de la pompe P-702 A/B à une température de 48°C et une pression de 16.5 bars traverse un échangeur E-709 pour faciliter la séparation à la sortie sa température atteint 77°C.

IV.1.4.Observations et résultats finaux :

Données de départ :

- Débit d'alimentation de la colonne égal à 7958 kg /h
- Température d'entrée de la charge : 48 °C
- La pression d'alimentation 16.5 bars

Les calculs: les résultats présents dans les tableaux suivent .

Tableau I : globale des résultats de colonne C-703 et ballon de reflux(HBK).

	Pi=16.5atm T _i = 77 C°	
	COLONNE	ballon de reflux
Diamètre	0.96 m	1.08
Longueur	23 m	3.31m
Nombre des plateaux	31 plateaux	/

Les résultats trouvés montrent que le calcul des paramètres thermodynamiques pour un bon fonctionnement est :

Tableau II : Les résultats pour un bon fonctionnement (T ,P) de colonne en tête et fond(HBK).

	température	pression
tête de la colonne	48.5°C	16.3 atm.
Fond de la colonne	98 °C	16.7 atm.

Pour assurer le bon fractionnement de cette colonne, l'alimentation de la colonne C703 doit avoir une température de 77 °C et une pression de 16.5 atm.

Par conséquent, la température de tête de la colonne sera de : 48.5 °C et une pression de 16.3 atm et celle du fond sera de 98 °C et une pression de 16.7 atm.

IV.2. Problème(2) (à Z-CINA/HMD) : [13]**IV.2.1.Le problème étudié :**

Parmi les problèmes connus des véhicules industriels pour la production de gaz de pétrole, il ya leur incapacité à couvrir les besoins du marché en gaz propane et butane, ce qui constitue une diminution de la production de ces gaz. La division de la production a décidé d'installer un dépropaniseur au sein de l'unité GPL/Z-CINA, cela demande le dimensionnement et l'optimisation des paramètres thermodynamiques (T, P) defonctionnement de cette colonne.

IV.2.2.But de cette étude :

L'objectif de cette étude est de déterminer les dimensions de l'unité supplémentaire constituée d'une colonne, rebouilleur, condenseur, ballon de reflux, et d'une pompe. Au début

de la réalisation de ce projet ils ont essayé d'optimiser les paramètres de fonctionnement (température, pression) de la colonne.

IV.2.3.Principe :

Le principe de dimensionner une colonne de dé-propaniseur est basé sur une étude par des simulations en utilisant un logiciel de programme Hysys et comparer ses résultats avec le calcul manuel.

Au début de la réalisation de ce projet ils ont essayé d'optimiser les paramètres de fonctionnement (température, pression) de la colonne.

Calcul et simulation des paramètres de fonctionnement dans une section de fractionnement montrent que l'alimentation de la colonne doit avoir une température de **68.5 °C** et une pression de **16 bars**.

IV.2.4.Observations et résultats finaux :

Données de départ :

Débit d'alimentation de la colonne égal à **6000 kg/h**

Température d'entrée de la charge **68.5 °C**

La pression d'alimentation **16 bars**

Tableau III : globale des résultats de colonne C-703 et ballon de reflux(Z-CINA/HMD).

	P _i =16atm T ₁ = 68.5C°	
	COLONNE	ballon de reflux
Diamètre	0.80	1.13m
Longueur	31 m	3.97m
Nombre des plateaux	44 plateaux	/

Tableau IV : Comparaison entre cas désigné et cas simulé.

Colonne de dé-propaniseur	Tête de Colonne		Fond de colonne	
	Design	actuelle	Design	actuelle
Température (°C)	43	45.02	102	99.05
Pression (bar)	15,8	15.8	16,2	16,2

Les résultats trouvés montrent que le calcul pour un bon fonctionnement est :

Tableau V : les résultats pour un bon fonctionnement (T, P) de colonne en tête et fond(Z-CINA/HMD).

	température	pression
Tête de la colonne	45.3°C	15.8 atm.
Fond de la colonne	99°C	16.2atm.

Pour assurer le bon fractionnement de cette colonne, l'alimentation de la colonne doit avoir une température de : **68.5 °C** et une pression de : **16 bars**.

Par conséquent, la température de tête de la colonne sera de : **45.34 °C** et une pression de : **15.8 bars**, et celle du fond sera de : **99.05 °C** et une pression de : **16.20 bars**.

IV.3. Etude comparative :

Par comparaison, nous remarquons que les résultats de la simulation sont très proches des résultats dans le cas réellement conçu, mais il y a une différence de diamètre et de longueur de la colonne à cause de la charge et des conditions opératoires.

IV.3.1. Les points de différence entre les deux mémoires :

Tableau VI : Différence entre les deux sujets.

Problème(01)	Problème(02)
<p>HAOUD BERKAOUI :</p> <p>*Résultats expérimentaux.</p> <p>*la température de tête de la colonne sera de 48.5°C et une pression de 16.3 bar. et celle du fond sera de 98°C et une pression de 16.7 bar.</p>	<p>Z-CINA-HMD :</p> <p>*Des résultats plus précis.</p> <p>*la température de tête de la colonne sera de 45.34 °C et une pression de 15.8 bars . et celle du fond sera de 99.05 °C et une pression de 16.20 bars</p>

Conclusion :

La différence entre les deux sujets est que dans le premier, les étudiants s'appuyaient sur le calcul manuel pour acquérir de l'expérience sur le terrain, tandis que dans le second les étudiants reposaient sur le système de simulation Aspen Hysys avec des données de conception de cas et vérification par calcul manuel pour obtenir des résultats précis en peu de temps.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail réalisé dans ce Mémoire est lié à une étude comparative de quelques problèmes avec l'ajout de quelques solutions suggérées.

Nous avons également parlé de revisiter deux enjeux liés à l'optimisation de l'approvisionnement et des paramètres (pression et température) afin d'exploiter la piscine de propane pour maximiser la récupération de propane.

Par comparaison, nous constatons que les résultats de simulation sont proches des résultats de calcul manuel qui ont été obtenus, car les résultats de simulation sont considérés comme les meilleurs et les plus précis sur la base des résultats expérimentaux.

A la lumière de cela, on peut dire que les résultats de la simulation sont fiables car la différence est très proche, quelle que soit l'évolution des avantages.

Enfin, nous concluons qu'un outil de simulation tel que HYSYS est le plus largement utilisé dans l'industrie pour la prévision et la résolution des problèmes courants.

Les recommandations

Les constats issus de cette étude nous ramènent à recommander ce qui suit :

- Au lieu d'ajouter une nouvelle unité qui entraîne une augmentation des coûts, nous améliorons l'unité de production de propane.
- La résolution des bilans de matière et d'énergie.
- Le dimensionnement des équipements
- L'évaluation économique du procédé.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Baker Mckenzie, 2018, Pétrole et Gaz (ALSF Academy).
- [2] <https://www.connaissancedesenergies.org/>
- [3] LOUKIL Leila, le 28/11/2016, Energie, environnement et développement durable en Algérie étude de cas de la région de Hassi-Messaoud (université d'Oran 2).
- [4] BESSAM Siham, 2008, Étude des propriétés thermodynamiques, structurales et de transport du méthane liquide et des mélanges d'hydrocarbures par Dynamique Moléculaire de corps flexibles, UNIVERSITE D'ORAN.
- [5] <https://gaz-tarif-reglemente.fr/gaz/comprendre-gaz-naturel/types-gaz>.
- [6] <https://www.memoireonline.com/04/11/4405/La-dynamique-des-prix-GPL-au-regard-des-determinants-marche-spot-americain.html>
- [7] P.WUITHIER. raffinage et génie chimique, tome I et tome II, 2eme édition, 1972 paris.
- [8] «R e v u e A l g é r i e n n e d e l ' É n e r g i e .,» 2015 [12]
- [9] OUKACHA CYLIA. BENDAAS Okba, «Optimisation des paramètres de fonctionnement du,» 2017
- [10] Technique de l'ingénieur : 2015, J5482 v1.
- [11] (SNOUSSI LARBI, TOUATI Djamel). Etude de simulation et optimisation de la section fractionnement au niveau du complexe GNL2/Z (Mémoire de Master). Mostaganem : Faculté des Sciences et de la Technologie,2019.
- [12] Chikha Mabrouke Badereddine,Soualah Bedadi M.El-Hadi. Récupération de propane c3 par la proposition d'une nouvelle colonne du dépropaniseur(Mémoire de Master). Eloued : Faculté des sciences et de la Technologie,2014.
- [13] Bounoua mohamed fathi, Bekhdidja mohamed lamine. Contribution a l'étude d'un dimensionnement d'une section de dépropaniseur dans l'unité GPL Z-CINA–HMD(Mémoire de Master). OUARGLA : Faculté des Sciences Appliquées,2019.