

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Faculté des Sciences
Et Technologie



كلية العلوم و التكنولوجيا

Département des Sciences
Et Technologie

Université de Ghardaïa

قسم العلوم و التكنولوجيا

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme
Master académique en Sciences et Technologie
Filière : Génie des procédés
Option : Analyse et Contrôle Qualité

Présenté par : Mohamed Amine LAOUAR

THEME

**Caractérisation du gaz naturel utilisé dans les
réseaux de distribution**

Soutenue le : 31/06/2016

Membres du jury	Grade	
Mr : ARIF Mohamed	Maître Assistant « A »	Président
Mr : BENNOUNA Med Salah	Maître Assistant « A »	Encadreur
Dr: BABA AMER Zohra	Maître de Conférences « B »	Examinatrice
Mme : MOULAY .K	Maître Assistant « A »	Examinatrice

Année universitaire: 2015 /2016

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

*Tout d'abord je remercie Allah pour tout ce qu'il me a
procuré, de courage et de patience.*

*Je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à
l'élaboration de ce travail, particulièrement mon encadreur,*

Mr. S. BANNONA, sans oublier le personnel du

Département "Sciences et Technologie".

Dédicacé

A la mémoire de mon père, ma chère mère,

Ma chère femme,

Ma belle petite fille NADA,

Mes deux enfants MAD et Ziad,

Mes frères et mes sœurs,

Et a toute ma famille :

A mes amis et mes collègues,

Je dédié ce travail....

يعتبر الغاز الطبيعي من أهم مصادر الطاقة البديلة عن النفط و من المحروقات بحيث انه عالي الكفاءة، قليل الكلفة و قليل الإنبعثات الملوثة للبيئة. و هو مورد طاقة هام في عدة مجالات منها إنتاج الكهرباء, الصناعات الكيميائية و ايضا الاستعمالات المنزلية . لهذا فإن دراسة خصائص و جودة هذه الطاقة و مدى تماشيها مع معايير الجودة العالمية كمعايير الإيزو (ISO) تعتبر هامة جدا. و إنطلاقا منه حاولنا تحقيق أحد أهم هذه المعايير الخاصة بالغاز الطبيعي و تطبيقها على الغاز الطبيعي الموزع بالقنوات من طرف شركة سونلغاز في ولاية غارداية و الجزائر عموما. و للوصول لهذا الهدف قمنا بأخذ عينات من هذا الغاز وحللناها للحصول على خصائصه و قارنا النتائج المحصل عليها بمعايير الجودة العالمية، وكما كان متوقع كانت النتائج مطابقة لمعيار الجودة إيزو 6975:1995

الكلمات المفتاحية: الغاز الطبيعي, إيزو 6976:1995, جودة, مكونات كيميائية, الإستطاعة الحرارية، مؤشر ووب , شبكة التوزيع.

Résumé :

Le gaz naturel est considéré comme une source d'énergie très importante que le pétrole, et un hydrocarbure très rentable, à faible coût et moins polluant, il est utilisé dans plusieurs domaines industriels tel que, la production d'électricité , les industries chimiques et l'utilisations domestique.

Il est très important de déterminer les caractéristiques et la qualité du gaz naturel, de ce fait il doit être conforme aux critères des normes internationales tel que les normes ISO, pour des raisons d'utilisation et de sécurité . Dans ce travail nous avons déterminé les caractéristiques du gaz naturel distribué par la SONELGAZ dans la région de Ghardaïa et par suite en Algérie en travaillant sur des échantillons de ce derniers et par la suite nous avons comparé les résultats obtenus aux normes internationales;

En effet les résultats obtenus été conforme au norme international ISO 6976 :1995.

Mots clé : Gaz naturel, ISO 6976 :1995, Qualité, Compositions chimique, Pouvoir calorifique, Indice de Wobb, Réseau de distribution.

Abstract :

Natural gas is considered as a very important source of energy than oil, and a very profitable hydrocarbon, with low cost and less pollution, it is used in many industrial fields such as, power generation, chemical industries and domestic uses.

It is very important to determine the characteristics and quality of natural gas, thus it must meet the criteria of international standards such as ISO standards for use and safety reasons. In this work we determined the characteristics of natural gas distributed by SONELGAZ in the region of GHARDAIA in ALGERIA and hence working on samples of this latest and thereafter we compared the results to international standards;

In fact the results were in accordance with international standard ISO 6976: 1995 and they met its requirements.

Keywords: Natural Gas, ISO 6976: 1995, Quality, chemical compositions, calorific value, index Wobb, Distribution Network.

Table des Matières

Remerciement.....	i
Dédicacé.....	ii
ملخص،Résumé, Abstract.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures.....	vi
Nomenclatures.....	vii

Introduction Générale

Introduction Générale	2
-----------------------------	---

Chapitre I: Recherche Bibliographique

1.Introduction	5
2.Le Gaz Naturel	5
2.1 Les Types Du Gaz Naturel.....	6
2.2 Compositions chimique du gaz naturel.....	8
2.3 Propriétés physico-chimiques du gaz naturel	9
2.4 Qualité du gaz naturel.....	10
2.5 Classifications des gaz naturel combustibles.....	12
3.Les Ressources du gaz naturel au monde et en Algérie	14
3.1 Les Ressources du gaz naturel au monde	14
3.2 Les Ressources du gaz naturel en Algérie.....	18
4.Production et exploitation du gaz naturel	21
4.1 L'exploitation d'un gisement gaz	21
4.2 Extraction et traitement du gaz naturel.....	21
4.3 Transport et stockage du gaz naturel.....	23
5.Le réseau de distribution du gaz naturel en Algérie	25
5.1 Définition	25
5.2 Types des réseaux de distribution.....	27
5.3 Pression de distribution	29
5.4 Propriétés de réseau de distribution	29
5.5 Les différents types des tubes	31
6. Conclusion	34

Chapitre II: Etude Expérimentale

1. Etude Chromatographique	36
1.1 Le Gaz a contrôler	36
1.2 Le Prélèvement des échantillons	36
1.3 Méthode Chromatographique	37
2.Calculs et résultats	42
2.1 Calcule de la norme ISO 6976 :1995	42
2.2 Résultats et interprétations	52
3.Conclusions.....	53

Conclusion générale et Perspectives

Conclusion générale.....	55
--------------------------	----

ANNEXE A

ANNEXE B

Liste Des tableaux

Tableau. I-1. Compostions types d'un gaz sec et d'un gaz humide ou à condensât (%molaire).....	08
Tableau. I-2. Production de gaz naturel dans le monde 2013-2014(en Mtep).....	16
Tableau. I-3. Consommation de gaz naturel dans le monde 2013-2014(en Mtep).....	17
Tableau. II-1. Compostions du gaz naturel de DP Ghardaïa(% Molaire).....	39
Tableau. II-2. Calcule de la densité du gaz naturel de DP Ghardaïa.....	40
Tableau. II-3. Calcule de PCS et PCI du gaz naturel de DP Ghardaïa.....	42
Tableau. II-4. Compositions du gaz naturel de DP El-Goléa.....	44
Tableau. II-5. Calcule de la densité du gaz naturel de DP El-Goléa.....	45
Tableau. II-6. Calcule de PCS et PCI du gaz naturel de DP El-Goléa.....	47
Tableau. II-7. Classification des gaz naturel distribué a la wilaya de Ghardaïa.....	49

Liste Des Figures

CHAPITRE I

Fig. I-1. Schéma de formation du Gaz naturel (Source : http://www.gaznat.ch).....	05
Fig. I-2 le taux de Méthane dans le gaz naturel de quelque pays (Source : http://www.gasinfofocus.com).....	06
Fig. I-2. Triangle de la combustion (de feu) (Source : Guide technique Gaz ,1997).....	13
Fig. I-4. Réserve prouvées de gaz naturel dans le monde (Source: http://www.connaissancedesenergies.org)..	15
Fig. I-5 Répartition des réserves gazières en Algérie (Source : Voir Bibliographie [11]).....	19
Fig. I-6. La production du gaz naturel en Algérie (Source : http://www.manicore.com).....	20
Fig. I-7. Procédé de traitement de gaz naturel et de condensat (Source : https://fr.wikipedia.org).....	22
Fig. I-8. Transport du gaz par méthanier (bateau) (Source : http://encyclopedie-electricite.edf.com).....	23
Fig. I-9. Schéma des réseaux exploités en Algérie (Source : Guide technique Gaz,1997).....	25
Fig. I-10. Réseau de transport du gaz exploiter par GRTG (Source : http://www.grtg.dz).....	26
Fig. I-11. Schéma d'un réseau de distribution Maillé (Source : Guide technique Gaz,1997).....	27
Fig. I-12. Schéma d'un réseau de distribution Ramifié (Source : Guide technique Gaz,1997).....	28
Fig. I-13. Schéma d'un réseau de distribution Mixte (Source : Guide technique Gaz,1997).....	28

CHAPITRE II

Fig. II-1. Chromatographe Haute performance assisté ordinateur (Source : Labo Mod.I HR).....	37
Fig. II-2. Courbes de Van Deemter pour N ₂ , He et H ₂ (Source : http://www.masterchimie1.u-psud.fr).....	38
Fig. II-3. Phase stationnaire dérivée du (C ₂ H ₆ OSi) _n (Source : http://www.masterchimie1.u-psud.fr).....	39
Fig. II-4. Chromatogramme du gaz naturel Hassi R'mel. (Source: Résultat des analyses).....	40
Fig. II-5 Chromatogramme du gaz naturel El-Goléa. (Source: Résultat des analyses).....	41

Nomenclature

1-Liste des Notation :

d : Densité du mélange.

d_i : Densité d'un constituant du mélange.

d_0 : Densité spécifique de gaz dans les conditions normale.

M_g : Masse Molaire de gaz [g/mol].

M_a : Masse Molaire de l'air [g/mol] .

W : Indice de Wobbe [KWh/Nm³].

PCS : Pouvoir Calorifique Supérieure [KWh/Nm³].

PCI : Pouvoir Calorifique Inferieure [KWh/Nm³].

X_i : Fraction molaire d'un constituant du mélange.

E : Epaisseur de tube [mm].

P : Pression interne effective [bar].

D : Diamètre intérieur [mm].

t : Contrainte admissible pour le métal

C : Surépaisseur de sécurité

2-Les Abréviations :

GNL : Gaz Naturel Liquéfié.

GPL : Gaz du Pétrole Liquéfié.

THT : Tétrahydrothiophène.

Mtep : Million de Tonne Equivalent Pétrole.

DP : Distributeur Public.

BP : Basse Pression.

MPA : Moyenne Pression type A.

MBP : Moyenne Pression type B.

ISO : International Standards Organization.

C₁ : Methane

C₂ : Ethane

C₃ : Propane

i-C₄ : I-Butane

n-C₄ : n-Butane

i-C₅ : I-pentane

n-C₅ : n-Pentane

C₆ : Hexane

C₇ : Heptane

C₈ : Octane

C₉ : Nonane.

C₁₀ : Décane.

TCD : Thermal Conductivity Detector (Détecteur de conductivité thermique).

FID : Flame Ionization Detector (Détecteur à ionisation de Flamme).

Introduction Générale

Introduction et problématique :

Le Gaz Naturel joue un rôle énergétique croissant, l'importance de ses réserves et les avantages qu'il présente sur le plan de l'environnement favorisent son utilisations notamment des secteurs à forte valeur ajoutée : application industrielle et domestique.

Lors de l'utilisation de gaz naturel et son traitement, il présent certains avantages par apport à ces concurrents traditionnels tel que le Pétrole et le charbon et plus tard l'uranium, du fait de son rapport Carbone / Hydrogène relativement faible par apport aux autres hydrocarbures, il est en effet le combustible propre émettent le moins de CO₂ lors de sa combustion.

En Algérie le gaz naturel a un rôle très important dans le secteur économique de l'énergie notamment dans l'économie de pays, Ou l'Algérie occupe la 9^{ème} des producteurs de gaz naturel et la 8^{ème} place des exportateurs de ce gaz au monde.

Pour bénéficier aux avantages économiques du gaz naturel le marché national et international demande un traitement très rigoureux, afin que le transport et la distribution se font par canalisation, Où le gaz naturel est caractérisé par certains spécification de qualité notamment le Pouvoir Calorifique (PC, PCS, PCI), Indice de Wobbe (W), les composés Soufrés et la teneur en Eau, ces spécification seront l'objet de notre étude.

Notre Bute est de déterminer les caractéristiques et les critères de qualité du gaz naturel (Gaz de ville) distribué par le Groupe Algérien SONELGAZ.(Société National de l'Electricité et du Gaz).

Nous avons proposé une Norme internationale de Qualité ISO (Normes de Qualité gaz naturel) et vérifier que notre gaz d'étude répond aux critères de cette norme.

Pour ce fait, ce mémoire se divisera en deux chapitres, un chapitre théorique qui contient des généralités sur le gaz naturel, réserves mondial et national de gaz naturel, production et exploitation et des généralités sur le réseau de distribution de gaz naturel(gaz de ville) en Algérie, et un autre chapitre

expérimental basé sur le calcul des spécifications de qualité du gaz tel que pouvoir calorifique, indice de Wobbe et la densité et les comparé au norme ISO en question.

Chapitre I

Recherche Bibliographique

I-1-Introduction :

Le Gaz Naturel est un combustible fossile, il s'agit d'un mélange d'hydrocarbures présent naturellement dans les roches poreuses de sous-sols sous forme gazeuse, il est généré à partir de la sédimentation de matière organique vieille de plusieurs millions d'années.

Le gaz naturel est la troisième source d'énergie la plus utilisée dans le monde en 2014 avec (24%) après le Pétrole (32,4%) et le charbon (30,1%).

I-2- Le Gaz Naturel :

Le gaz naturel est un hydrocarbure qui forme une classe de composés organiques constitué de carbone et d'hydrogène comme le Pétrole mais en état gazeuse avec un nombre de carbone inférieure à cinq et en sens large, on peut dire que toute les substances naturelle qui ont à l'état gazeux dans les conditions normales de température et de pression ont un Gaz naturel [1].

Schéma de formation du gaz naturel

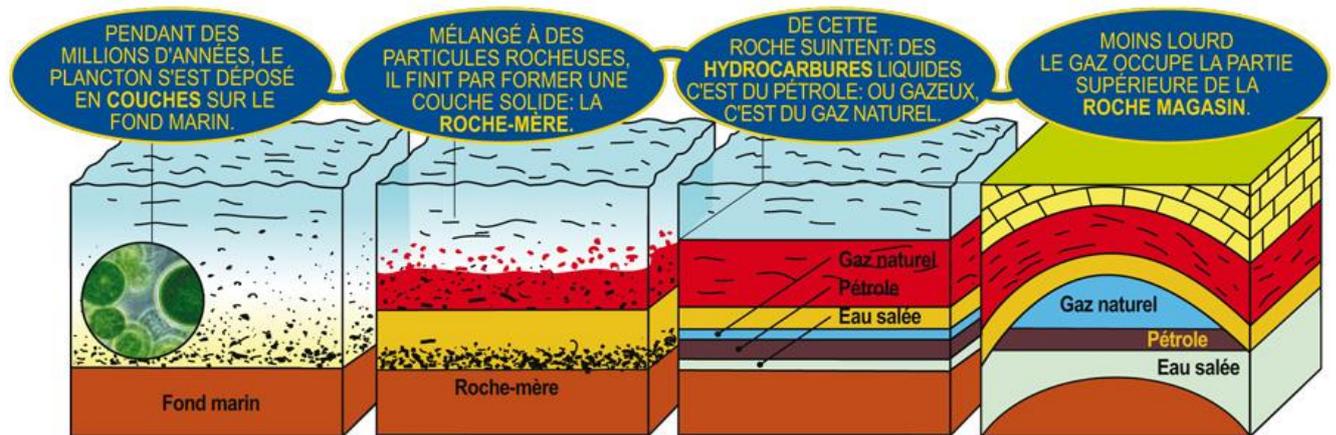


Figure I-1 Schéma de formation du Gaz naturel

A l'état brut, le gaz naturel se compose principalement de méthane (CH_4) avec un pourcentage entre 75% et 95%; il peut contenir également, en quantités variables, de l'éthane, du propane, du butane et du pentane (souvent désignés collectivement sous le nom de « Gaz Naturel Liquéfié [GNL] »); On y trouve parfois des constituants non énergétiques comme l'azote, le dioxyde de carbone, le sulfure d'hydrogène et l'eau.

Le gaz naturel GNL est débarrassé de tous les constituants non énergétiques, dans des usines de traitement, avant d'être mis sur le marché et introduit dans un gazoduc [2].

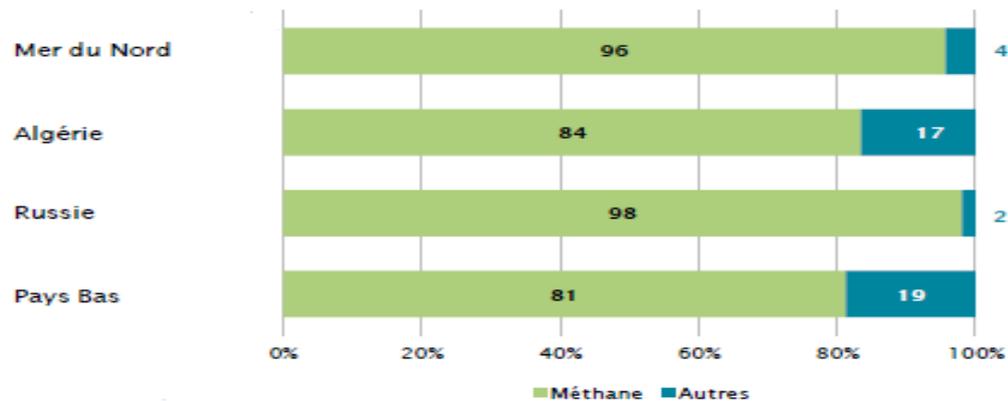


Figure I-2 le taux de Méthane dans le gaz naturel de quelque pays

I-2-1 Les types du Gaz Naturel :

Selon l'origine des constituants de gaz naturel. Il existe trois modes possibles pour la formation des hydrocarbures gazeux naturels [1] :

I-2-1-1 Gaz Bactérien :

Le mode bactérien est dû à l'action des bactéries sur la matière organique qui s'accumulent dans les sédiments, le gaz est appelé aussi gaz biochimique.

I-2-1-2 Gaz Thermique :

Ce gaz est formé à partir de la dégradation thermique des matières organiques présents dans certains niveaux sédimentaires, les sédiments sont enfouis progressivement et donc portés à des températures et pressions croissantes. Cette dégradation produit des hydrocarbures, mais aussi des composés non hydrocarbonés : CO_2 , H_2O , N_2

I-2-1-3 Gaz Inorganique :

Le gaz inorganique est un gaz à faible proportion, ou la formation des gaz hydrocarbures reste très secondaire et on ne connaît pas actuellement de gisement de gaz qui soit exploité industriellement.

les gaz volcaniques et les sources hydrothermales contiennent parfois du méthane et des inclusions fluides des minéraux des roches métamorphiques ou magmatiques renferment assez souvent des hydrocarbures légers, tel que le Méthane.

Aussi on peut classer le gaz naturel selon la nature des phases en présence dans les conditions du gisement et de surface, lorsque la proportion d'hydrocarbures plus lourds augmente, le domaine diphasique s'élargit et une phase liquide peut apparaître dans les conditions de production, cet apparition est dépend de la température et de la pression dans le réservoir et en surface.

Ceci conduit à spécifier les cas suivants [16] :

I-2-1-4 Gaz Sec :

Dans les conditions de production de ce gaz, il n'y a pas une formation de phase liquide et le gaz est concentré en méthane et contient très peu d'hydrocarbures plus lourds que l'éthane.

I-2-1-5 Gaz Humide :

Formant une phase liquide en cours de production dans les conditions de surface et il est moins concentré en méthane.

I-2-1-6 Gaz à Condensât :

Formant une phase liquide dans le réservoir par condensation, au cours de la remontée dans le puits, le gaz se refroidit avec formation de liquide en surface, la phase condensée est riche en constituants lourds.

I-2-1-7 Gaz Associé :

Le gaz coexiste, dans le réservoir, avec une phase liquide (pétrole). Le gaz associé comprend le gaz de couverture (phase gazeuse présente dans le réservoir) et le gaz dissous.

Aux différents types de gaz naturels cités ci-après, on pourrait adjoindre le biogaz, ou bio-méthane, un substitut renouvelable issu de la décomposition de certains déchets organique [3].

I-2-2 Composition Chimique Du Gaz Naturel :

La composition chimique d'un gaz c'est la nature des hydrocarbures et les autres constituants qu'il renferme, leur importance relative dans le mélange et leur fraction volumique ou moléculaire.

La composition chimique d'un gaz est utilisée pour étudier la vaporisation et calculer certaines de ces propriétés en fonction de la pression et la température.

Le Méthane (CH₄) est le composant majeure, Le gaz naturel peut contenir d'autres hydrocarbures appartiennent à la série des paraffines de formule générale : C_nH_{2n+2} tel que : Ethane (C₂H₆), Propane (C₃H₈), Butane (C₄H₁₀), Pentane (C₅H₁₂) et des hydrocarbures plus lourds.

Les hydrocarbures en C₃ et C₄ forment la fraction GPL. Et les hydrocarbures plus lourds en C₅₊ forment la fraction Gazoline

Le gaz naturel peut contenir des constituants autres que des hydrocarbures, notamment de l'eau (H₂O), dioxyde de carbone (CO₂), hydrogène sulfuré (H₂S), l'azote (N₂), Hélium (He₂) et des faibles quantités d'hydrogène (H) ou d'argon (Ar) et même parfois des impuretés métalliques Mercure (Hg) et Arsenic (As) [18].

Tableau I-1 Compositions Types d'un gaz sec et d'un gaz humide ou à condensat (%Molaire)

Compositions	Gaz Sec	Gaz Humide ou Condensat
Hydrocarbures		
• Méthane	70-98	50-92
• Ethane	1-10	5-15
• Propane	Traces-5	2-14
• Butane	Traces-2	1-10
• Pentane	Traces-1	Traces-5
• Hexane	Traces-0.5	Traces-3
• Heptane+	0-Traces	Traces-15
Non Hydrocarbures		
• Azote	Traces-15	Traces-10
• Dioxyde de carbone	Traces-1	Traces-4
• Hydrogène sulfuré	0-Traces	0-6
• Hélium	0-5	0

I-2-3 Propriétés physico-chimiques du Gaz Naturel :

A l'étape finale de son exploitation, le gaz naturel peut être caractérisé par les propriétés suivants :

I-2-3-1 Densité et Masse Volumique :

- La masse volumique d'un gaz représente la masse d'une unité de volume du gaz et s'exprime en kg/m³. Elle est fonction de la température et de la pression. On se réfère à des conditions dites normales (température 0°C, pression 1atm) et standard (température 15°C, pression 1atm).
- La densité est le rapport entre la masse d'un volume de gaz et la masse du même volume d'air pris dans les mêmes conditions de température et de pression.

En peut définir la densité à partir de sa masse molaire de gaz M_g sur la masse molaire de l'air M_a comme suite [1] :

$$d = M_g / M_a \quad (1-1)$$

soit :

$$d = M_g / 28,964 \text{ à } 15^\circ\text{C} \quad (1-2)$$

Ou par la moyen de sa composition chimique en utilisant la relation suivant : [4]

$$d = \sum(d_i \cdot X_i) / d_{\text{air}} \quad (1-3)$$

où :

d : densité du mélange.

d_i : densité d'un constituant du mélange.

X_i : fraction molaire d'un constituant du mélange.

d_{air} : densité de l'air (=1).

I-2-3-2 Pouvoir Calorifique :

Le pouvoir calorifique est la quantité de chaleur exprimée en [kWh] ou [MJ], qui serait dégagée par la combustion complète de un (1) Mètre Cube Normal de gaz [Nm³] dans l'air à des conditions normales de pression et de température (1,013 bar et 0°C), il s'exprime par [kWh/Nm³] ou [MJ/Nm³].

Le pouvoir calorifique d'un mélange d'hydrocarbure (gaz naturel) est exprimé par la formule suivante [4] :

$$PC = \sum PC_i \cdot X_i \quad (1-4)$$

où :

PC : pouvoir calorifique du mélange.

X_i : fraction molaire d'un constituant du mélange.

PC_i : pouvoir calorifique d'un constituant du mélange.

Il existe deux types de pouvoir calorifique :

- 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 est à l'état liquide,
- Pouvoir calorifique inférieur (PCI): Il correspond à la combustion, dans laquelle l'eau resterait à l'état vapeur.

Le PCS diffère du PCI d'une quantité qui est à la chaleur latente de vaporisation de l'eau.

$$PCS = PCI + \text{Chaleur latente de condensation (ou de vaporisation) de l'eau [3].}$$

I-2-4 Qualité du gaz naturel :

la qualité du gaz est le paramètre clé qui doit être constamment surveillée et mesurée. d'une manière générale, la mesure de la qualité du gaz est importante pour quatre raisons principales :

1. Assurer le transport sécuritaire et efficace des gaz à travers le système de transmission ainsi que les systèmes sont conçus pour fonctionner à une spécification particulier du gaz.
2. Certifier que les appareils à gaz reçoivent les spécifications de gaz corrects car ils sont incapables de consommer en toute sécurité et efficacité les gaz non normalisé.
3. Garantir que les consommateurs reçoivent la bonne qualité du gaz qu'ils ont paient pour la consommer.
4. Assurer que le gaz injecté dans le réseau de gaz naturel (par exemple le gaz naturel liquéfié ou le bio méthane) correspond à la qualité du gaz qui existe déjà dans le système de transport [5].

Pour ces raisons, Le gaz naturel doit correspondre à des exigences de qualité pour être transporté, distribué dans les meilleures conditions de sécurité des personnes et des ouvrages.

I-2-4-1 Critères de qualité :

Pour assurer les exigences de qualité du gaz naturel il faut vérifier les critères suivant :

A. Indice de Wobbe :

L'indice de Wobbe (W) a été inventé par Goffredo Wobbe en 1927, un physicien de Bologne (Italie) qui observa trois éléments : la production de chaleur d'un brûleur est proportionnelle au débit (pour une pression et une taille de l'orifice données) ; la vitesse du flux à travers un orifice de taille donnée à pression constante est proportionnelle à la gravité spécifique du gaz ; la valeur calorifique du gaz est proportionnelle à sa densité. L'indice de Wobbe est une des caractéristiques techniques principales du gaz naturel, c'est un indicateur de l'interchangeabilité des gaz carburant ou combustibles (c'est-à-dire gaz naturel, GPL, gaz de ville) et il est souvent défini dans les spécifications d'approvisionnement en gaz et les services publics de transport.

Il se mesure par la même unité que le pouvoir calorifique (en MJ ou en kWh par Nm³) et lui est proportionnel, ce qui explique que la confusion soit fréquente

L'indice de Wobbe se définit comme le quotient de son pouvoir calorifique par la racine carrée de sa densité [6].

$$W = \frac{PCS}{\sqrt{d_0}} \quad (1-5)$$

où :

W : Indice de Wobbe.

PCS : Pouvoir calorifique supérieur.

d_0 : densité spécifique de gaz dans les conditions normale.

B. Le point de rosée "EAU" :

Lorsqu'un gaz se refroidit, le point de rosée "eau" est, sous une pression donnée, la température à laquelle commence la condensation de l'eau, ou plus généralement celle correspondant à l'apparition d'une seconde phase (eau liquide, glace, hydrates).

Cette variable est utilisée pour apprécier les risques suivants :

- Corrosion des tuyauteries en présence de gaz acides c'est-à-dire d'H₂S et/ou de CO₂.
- Formation de glace dans les canalisations non enterrées ou au niveau des postes de détente.
- Accumulation de glace ou d'hydrates (état solide) en certains points du réseau pouvant entraîner l'obturation de tuyauteries, notamment dans les postes de détente.

C. La teneur en composés sulfurés et le niveau d'odeur :

Suivant leur origine, les gaz naturels peuvent contenir différents composés sulfurés dont les principaux sont :

H₂S : hydrogène sulfuré ou sulfure d'hydrogène

COS : oxysulfure de carbone ou sulfure de carbonyle

RSH : thiols ou mercaptans (R = radical organique).

On trouve aussi le Tétrahydrothiophène (THT, C₄H₈S) est un composé sulfuré de synthèse injecté volontairement dans le gaz afin d'ajuster le niveau d'odeur. Certains pays utilisent des odorants complexes à base de mercaptans pour réaliser l'odorisation.

Il est d'usage de ramener la teneur des composés sulfurés à une "teneur en soufre", équivalente, pour chacun de ces composés, à environ :

- 1 fois la teneur en H₂S

- 05 fois la teneur en COS

- 0,5 fois la teneur en RSH

Cette procédure permet d'estimer la teneur en "soufre total" du gaz à partir du dosage individuel de ces composés qui doit être fait pour d'autres raisons.[8]

La connaissance et le dosage individuel de ces composés nous permettent de :

1. Éliminer la corrosion acide de l'acier et de cuivre, H₂S et C₂O (peut former le COS) existants naturellement dans certains gaz.
2. Éliminer les risques liés aux fuites de gaz par lui rendre détectable, certains gaz naturels contiennent des Mercaptans «R-SH» qui sont des odorants naturels.

Les gaz naturels dont le niveau d'odeur naturel est nul ou insuffisant doivent subir une odorisation complémentaire, et on utilise généralement le «THT». Ce dernier est nécessaire pour la sécurité de l'utilisation.

3. Minimiser les émissions d'oxyde de soufre dans l'atmosphère et pour éviter les condensations acides des produits de combustion.[7]

I-2-5 Classification des gaz naturel combustibles :

➤ Définition de la combustion du gaz naturel :

La combustion est une réaction chimique entre un gaz naturel et l'oxygène en présence d'une source chaude. Cette réaction est exothermique. (se produit avec un dégagement de chaleur).

➤ Equation de combustion :

Générale (hydrocarbures): $C_n H_m + (n + m/4)O_2 \rightleftharpoons nCO_2 + (m/2)H_2O$

Methane: $CH_4 + 2O_2 \rightleftharpoons CO_2 + 2H_2O$

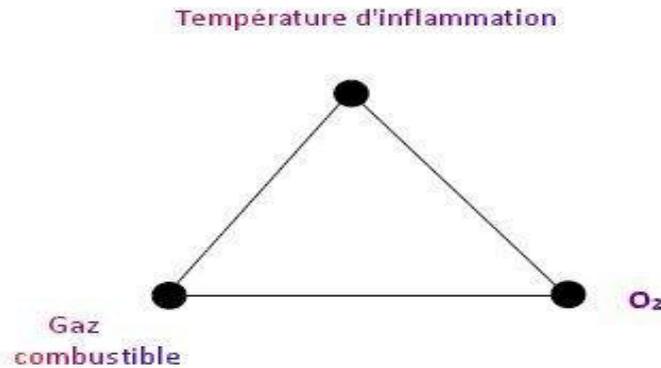


Figure I-3 triangle de la combustion (de feu)

➤ Classification des gaz naturel combustibles :

Les gaz combustibles sont classés en trois familles selon l'Union International du Gaz (I.G.U) :

1^{re} famille : Les gaz qui ont un indice de Wobbe compris entre 22,6 MJ/m³ et 29,8 MJ/m³ à 15°C et 1013,25 mbar.

Cette famille englobe les gaz manufacturés et les mélanges G.P.L./ air.

2^{ème} famille : Cette famille est caractérisée par les gaz ayant un indice de Wobbe compris entre 39,3 MJ/m³ et 54,8 MJ/m³ à 15°C et 1013,25 mbar.

Cette famille est composée de tous les gaz naturels et quelques mélanges de G.P.L./air.

3^{ème} famille : C'est la famille des gaz de pétrole liquéfiés ; leurs indices de Wobbe varient de 73,4 MJ/m³ à 87,6 MJ/m³ à 15°C et 1013,25 mbar.

Compte tenu de la variété des gaz naturels, cette troisième famille est subdivisée en deux sous-groupes:

Groupe H : Haut Pouvoir Calorifique - "**High Wobbe Number**".

Groupe L : Bas Pouvoir Calorifique - "**Low Wobbe Number**".[15]

I-3- Les Ressources du Gaz Naturel au monde et en Algérie :

I-3-1 Les ressources du gaz au monde :

I-3-1-1 Reserve mondial du gaz naturel :

Les réserves de gaz sont constituées des volumes de gaz naturel récupérables dans des gisements exploités ou pouvant l'être au vu des critères techniques et économiques. Les réserves de gaz fluctuent donc en fonction de la disponibilité des moyens techniques permettant leur exploitation et des prix de marché au moment de leur exploration.

Les réserves les plus exploitées sont les réserves de gaz dites « conventionnelles ». Les réserves de gaz dites « non conventionnelles » nécessitent l'usage de techniques d'exploitation plus coûteuses, le gaz étant difficile à extraire : il s'agit principalement du gaz de charbon présent dans les mines de charbon profondes, du gaz de schiste emprisonné dans une roche imperméable et du gaz compact présent dans des réservoirs eux aussi peu poreux.

A fin 2014, les réserves prouvées de gaz naturel dans le monde sont de 187100 milliards de m³.

Les cinq pays disposant des plus importantes réserves de gaz au monde à fin 2013 sont :

- l'Iran : 33800 milliards de m³ de réserves prouvées (18,2% des réserves mondiales).
- la Russie : 31300 milliards de m³ de réserves prouvées (16,8%).
- le Qatar : 24700 milliards de m³ de réserves prouvées (13,3%).
- le Turkménistan : 17500 milliards de m³ de réserves prouvées (9,4%).
- les États-Unis : 9300 milliards de m³ de réserves prouvées (5%).[17]



Figure I-4 Réserve prouvées de gaz naturel dans le monde (fin 2013)

Les réserves de gaz naturel sont qualifiées et classées selon le potentiel économique qu'elles représentent :

- Les réserves prouvées concernent l'ensemble des quantités de gaz dont l'existence est établie et dont les chances de récupération et de rentabilisation, dans le cadre des données actuelles de la technique et de l'économie, sont d'au moins 90 % ;
- Les réserves probables ont été testées mais ne font pas l'objet d'une production. Elles concernent, pour un gisement identifié, les quantités de gaz ayant une probabilité supérieure à 50 % d'être économiquement exploitables ;
- Les réserves possibles concernent l'ensemble des quantités de gaz dont la probabilité de rentabilité est de 10%. [9]

I-3-1-2 Production mondial du gaz naturel :

Avec 21,4 % de la production mondiale , les États-Unis sont les premiers producteurs de gaz naturel. Grâce au développement des gaz de schiste, les États-Unis ont connu en 2014 une importante production de gaz naturel (+ 6,1 % de croissance).

Malgré la baisse de 4,3 % de sa production, la Russie reste en 2014 le deuxième producteur mondial, suivie de Qatar et du l'Iran. Le retour en 2015 de l'Iran dans le jeu diplomatique mondial est susceptible d'avoir des conséquences à moyen terme.

Avec 11,1 %, le Turkménistan enregistre la plus forte croissance de l'année 2014. Le pays détient la quatrième plus importante réserve de gaz de la planète.

Aussi L'Arabie Saoudite et la Chine ont enregistré respectivement la 2^{ème} et la 3^{ème} de plus fort croissance de l'année 2014.

La production mondiale de gaz naturel a augmenté de 1,6% en 2014 par rapport à 2013, en dessous de sa moyenne de croissance sur les 10 dernières années (2,5%)[10].

Tableau I-2 Production de gaz dans le monde 2013-2014 (en Mtep*)

Pays	2013	2014	Évolution 2013-2014	Part dans la production mondiale
États-Unis	629,8	668,2	6,1 %	21,4 %
Russie	544,2	520,9	-4,3 %	16,7 %
Qatar	158,8	159,5	0,4 %	5,1 %
Iran	147,6	155,3	5,2 %	5,0 %
Canada	140,5	145,8	3,8 %	4,7 %
Chine	112,4	121,0	7,7 %	3,9 %
Norvège	97,9	97,9	0,1 %	3,1 %
Arabie Saoudite	90,0	97,4	8,2 %	3,1 %
Algérie	73,4	75,0	2,2 %	2,4 %
Indonésie	64,9	66,1	1,7 %	2,1 %
Turkménistan	56,1	62,3	11,1 %	2,0 %
Reste du monde	962	957,9	-0,43%	30,5 %
Total Monde	3 077,6	3 127,3	1,6 %	100,0 %

*Mtep : Million de tonne équivalent pétrole, unité mesure d'énergie, 1 000 m³ de gaz naturel ont un pouvoir calorifique net de 36 GJ soit environ 0,86 tep.

I-3-1-2 Consommation mondiale du gaz naturel :

La consommation mondiale de gaz naturel n'a seulement augmenté que de 0,4% en 2014 par rapport 2013 (avec 3065,5 Mtep), bien en dessous de la moyenne sur 10 ans (2,4%). La croissance a été inférieure à la moyenne à la fois au sein des pays de l'OCDE ainsi que dans les économies émergentes. L'Union européenne présente une très forte baisse de la consommation de gaz naturel (-11,6%) et c'est au sein de l'Europe que l'on trouve les 5 pays dont la consommation a le plus reculé, (France : -16,3% ; Ukraine : -15,7%, Allemagne : -14%). Les plus fortes augmentations de la consommation sont à chercher en Chine (+8,6%), en Iran (+6,8%) et aux USA (+2,9%).

Globalement le gaz naturel représente 23,7% de l'énergie primaire[10].

Tableau I-3 Consommation de gaz dans le monde 2013-2014 (en Mtep)

Pays	2013	2014	Évolution 2013-2014	Part dans la production mondiale
États-Unis	675,8	695,3	2,9 %	22,7 %
Russie	372,1	368,3	-1,0 %	12,0 %
Iran	143,4	153,2	6,8 %	5,0 %
Chine	153,7	166,9	8,6 %	5,4 %
Japon	102,2	101,2	-0,9 %	3,3 %
Arabie saoudite	90,0	97,4	8,2 %	3,2 %
Canada	93,5	93,8	0,3 %	3,1 %
Mexique	76,2	77,2	1,4 %	2,5 %
Royaume-Uni	66,1	60,0	-9,2 %	2,0 %
Allemagne	74,2	63,8	-14,0 %	2,1 %
Italie	57,8	51,1	-11,6 %	1,7 %
Émirats arabes unis	60,1	62,4	3,8%	2,0 %
Inde	46,3	45,6	-1,5%	1,5 %
Égypte	46,3	43,2	-6,6 %	1,4 %
Ukraine	41,0	34,6	-15,7 %	1,1 %
France	38,6	32,3	-16,3 %	1,1 %
Reste du monde	915,5	919,2	0,4 %	29,9 %
Total monde	3 052,8	3 065,5	0,4 %	100,0 %

I-3-2 Les ressources du gaz naturel en Algérie :

I-3-2-1 Historique du gaz naturel en Algérie :

L'Algérie a une importante industrie du gaz naturel avec un important producteur de gaz au niveau mondial.

A la fin de 1953, plusieurs campagnes sismiques aboutirent à la mise en évidence d'une zone haute pouvant constituer un anticlinal, notamment dans la région de HASSI R'MEL, un premier forage (HR1) a été réalisé en 1956. Huit puits sont alors réalisés, délimitant ainsi une structure anticlinale constituant un grand réservoir de gaz.

Ce premier développement du champ permet de préciser les niveaux géologiques et d'approfondir les connaissances sur le réservoir et son effluent.

Quatre puits sont reliés à un centre de traitement permettant l'exploitation commerciale du champ, Dès février 1961 deux unités livrent du gaz à GL4-Z à travers un gazoduc reliant HASSI-R'MEL à ARZEW.

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 et à l'Espagne via le Maroc.[11]

A l'échelle nationale, la distribution publique du gaz naturel (gaz de ville) a connu plusieurs étapes avant d'atteindre la phase actuelle de développement.

A l'indépendance en 1962 seules treize (13) localités étaient raccordées en gaz de ville.

Dans les années 80, deux autres plans ont été mis en œuvre, dans le cadre de la politique nationale de la promotion du gaz naturel pour l'alimentation de 53 localités, financé par un crédit remboursable.

A la fin de l'année 1990, 150 localités étaient alimentées en gaz, regroupant plus de 800 000 abonnés.

En 1995, les pouvoirs publics ont décidé de viser l'alimentation de 134 nouvelles localités regroupant près de 237 600 foyers.

Ce programme a connu beaucoup de contraintes lors de sa mise en œuvre, en raison du mode de financement retenu. Ce dernier qui mettait à contribution les collectivités locales et les citoyens pénalisait lourdement les localités éloignées des gazoducs.

A partir de 2005, le secteur de la Distribution du gaz a bénéficié de l'inscription d'importants programmes de développement pour raccorder plus de 1 934 000 nouveaux foyers.[12]

En 2014 la seule société de la distribution public de gaz par canalisation (SONELGAZ) a enregistré 100 818 km de canalisations, 3 763 220 branchements et 13 stations propane.[13]

I-3-2-2 Réserve du gaz naturel en Algérie :

Les réserves prouvées de gaz naturel de l'Algérie étaient estimées à 4 500 milliards de m³ fin 2014, soit 54 années de production au rythme de 2014.

Ces réserves classaient l'Algérie au 10^{ème} rang mondial avec 2,4 % du total mondial, et au 2^{ème} rang en Afrique derrière le Nigeria.

Au cours des dix dernières années les bassins de BERKINE et d'ILLIZI ont enregistré les taux de réussite les plus élevés dans l'exploration, avec respectivement 51% et 50%. Parmi les autres bassins de BERKINE qui se classent comme les plus fructueux figure le bassin d'OUED MYA où ils ont effectué une autre découverte de gaz et de pétrole en 2002, ainsi que les bassins de TIMIMOUN et HASSI MESSAOUD.[11]

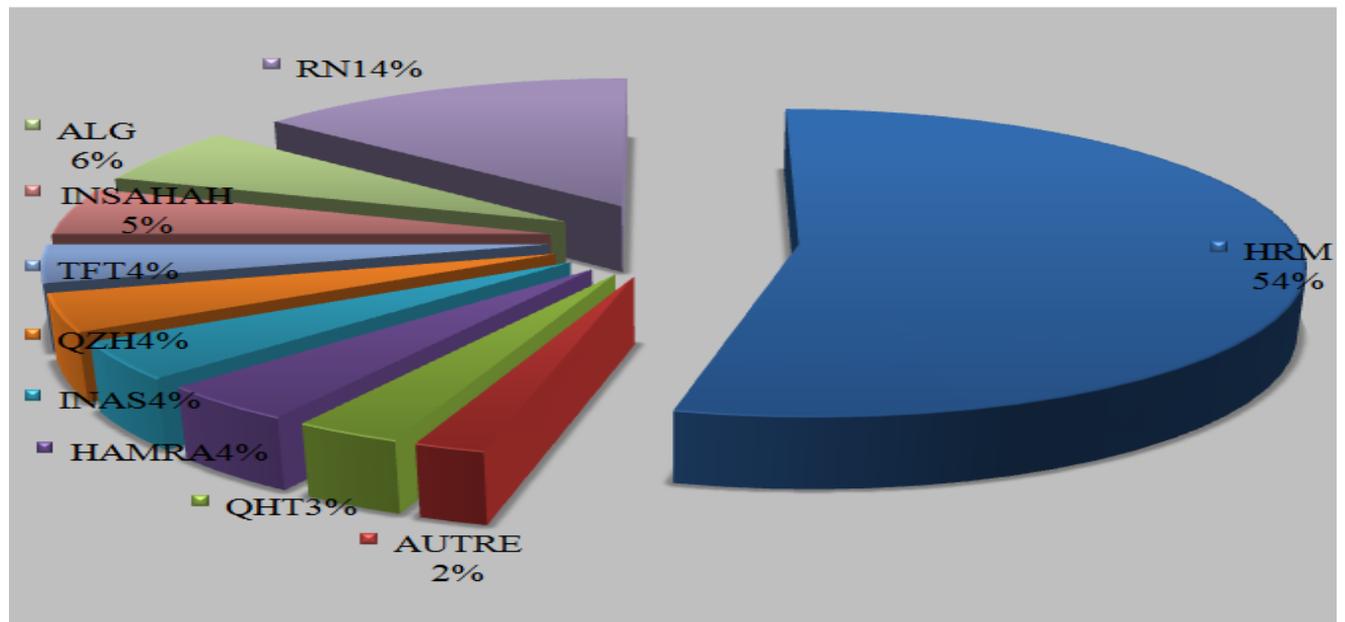


Figure I-5 Répartition des réserves gazières en Algérie

I-3-2-3 Production du gaz naturel en Algérie :

En 2014, l'Algérie a produit 83,3 milliards de m³ de gaz naturel, soit 75,0 Mtep, en hausse de 2,2 % (+1,6 % depuis 2004). Elle se classe au 9^{ème} rang mondial avec 2,4 % de la production mondiale et au 1^{er} rang en Afrique.[3]

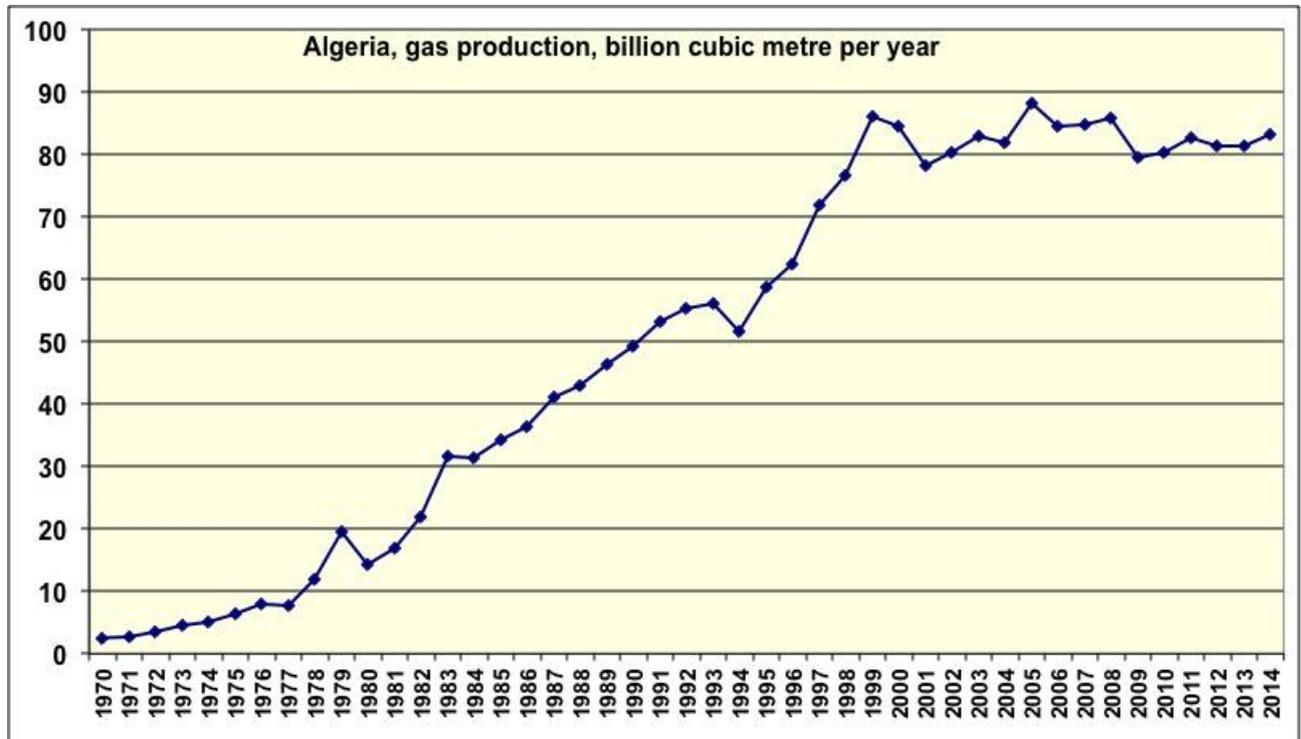


Figure I-6 La production du gaz naturel en Algérie entre(1970-2014) en (Milliard m³)

I-3-2-3 Consommation du gaz naturel en Algérie :

En 2014, l'Algérie a consommé 37,5 milliards de m³ de gaz naturel, soit 33,7 Mtep , en progression de 12,4 % en 2014 et de 70 % depuis 2004. Elle se classe au 27^{ème} rang mondial avec 1,1 % de la consommation mondiale. Sa consommation absorbe 45 % de sa production[3].

I-4- Production et Exploitation du gaz naturel :

I-4-1 L'exploration d'un gisement gaz :

Au cours des premières années de l'industrie du gaz naturel les puits étaient uniquement creusés à l'intuition, les coûts d'extraction très élevés du gaz aujourd'hui font de l'exploration une étape fondamentale du processus.

Pour pouvoir explorer un gisement, Des spécialistes (**géologues, géophysiciens, ingénieurs...**) analysent la structure et la composition du sol, notamment en comparant les échantillons prélevés avec ceux d'autres zones où du gaz a déjà été trouvé.

Des tests spécifiques comme celui de l'analyse sismique, sont réalisés pour confirmer leurs premières études. Un camion ou un navire sismique envoie des ondes dans le sous-sol, des micros étudient la vitesse de propagation des ondes et transmettent les relevés à un camion enregistreur. Les résultats sont ensuite étudiés pour déterminer l'existence ou non d'une poche de gaz.

Lorsque la probabilité est forte de découvrir du gaz (ou du pétrole), les forages sont effectués [19].

I-4-2 Extraction et Traitement du gaz naturel :

Au cours de l'extraction d'un gaz sous pression, son refroidissement et sa détente à la tête de puits provoque la condensation des hydrocarbures (C_5 à C_8 qu'il peut contenir) et d'eau. Les hydrocarbures liquides légers récupérés, appelés « condensats de gaz naturel » correspondent à un pétrole extrêmement léger, de très haute valeur (donnant de l'essence et du naphtha).

Tout le reste (hydrocarbures C_1 à C_4 , CO_2 , H_2S et He_2) est gazeux à température ambiante et acheminé par gazoduc vers une usine de traitement de gaz. Il faut donc deux réseaux de collecte, un pour le gaz et un pour les condensats.

Dans cette usine, le gaz subit ensuite une déshydratation par point de rosée, puis les différents composants sont séparés. Les hydrocarbures C_2 à C_4 sont vendus sous le nom de gaz de pétrole liquéfié (GPL et non pas GNL). Le dioxyde de carbone est le plus souvent simplement rejeté dans l'atmosphère, sauf s'il y a un utilisateur proche. Parfois, on le réinjecte dans une formation souterraine (séquestration du CO_2) pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le gaz acide est vendu à l'industrie chimique ou séquestré. L'hélium est séparé et commercialisé, s'il est présent en quantité suffisante - dans certains cas, il représente une addition très importante aux revenus générés par le gisement [19].

Les condensats et les GPL ont une telle valeur marchande que certains gisements sont exploités uniquement pour eux, le « gaz pauvre » (méthane) étant réinjecté au fur et à mesure, faute de débouchés locaux. Même lorsque l'essentiel du gaz pauvre est vendu, on en réinjecte souvent une partie dans le gisement, pour ralentir la baisse de pression, et récupérer finalement une plus grande partie des condensats et du GPL.

L'autre partie (la plus grande) est transporté par gazoduc ou par méthanier vers les lieux de consommation.[3]

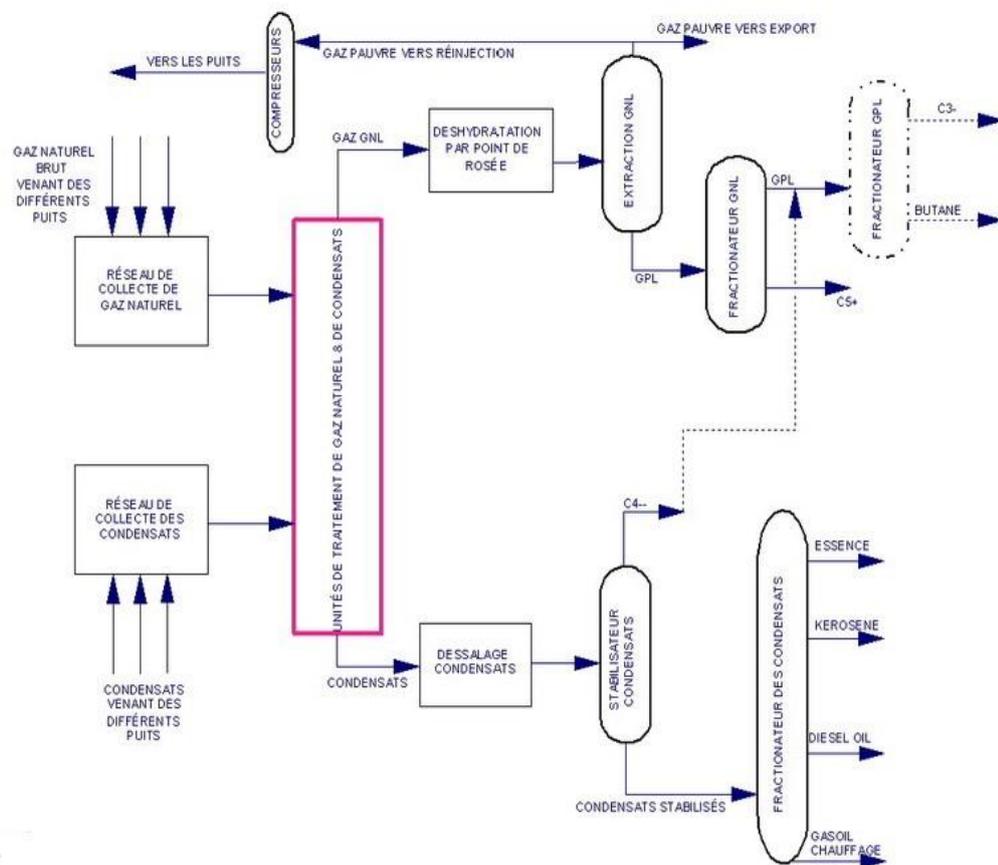


Figure I-7 Procédé de traitement de gaz naturel et de condensat

I-4-3 Transport et stockage du gaz naturel :

I-4-3-1 Transport du gaz naturel :

Il existe deux méthodes de transport du gaz naturel :

- 1- **Par gazoduc :** les gazoducs sont le moyen le plus courant, Le gaz naturel est transporté dans de gros tuyaux et comprimé tous les 120 à 150 km par des stations de compression. La différence de pression ainsi créée entraîne son déplacement dans le tuyau à une vitesse de 15 à 20 km/h.
- 2- **Par Méthanier :** les méthaniers sont des navires spécialisés dans le transport du gaz utilisent comme combustible la faible part du gaz naturel liquéfié (GNL) qui s'évapore des réservoirs. Encore peu répandue, cette deuxième option devrait se développer dans les années à venir. Elle permet de relier rapidement les pays de production aux pays de consommation, souvent très distants, et d'exploiter des gisements situés dans des zones géographiques où il s'avère impossible de construire un gazoduc.

Mais cette Méthode qui permet de « condenser » l'énergie gazeuse sous un volume réduit exige des investissements très lourds, tant pour la liquéfaction que pour le transport.

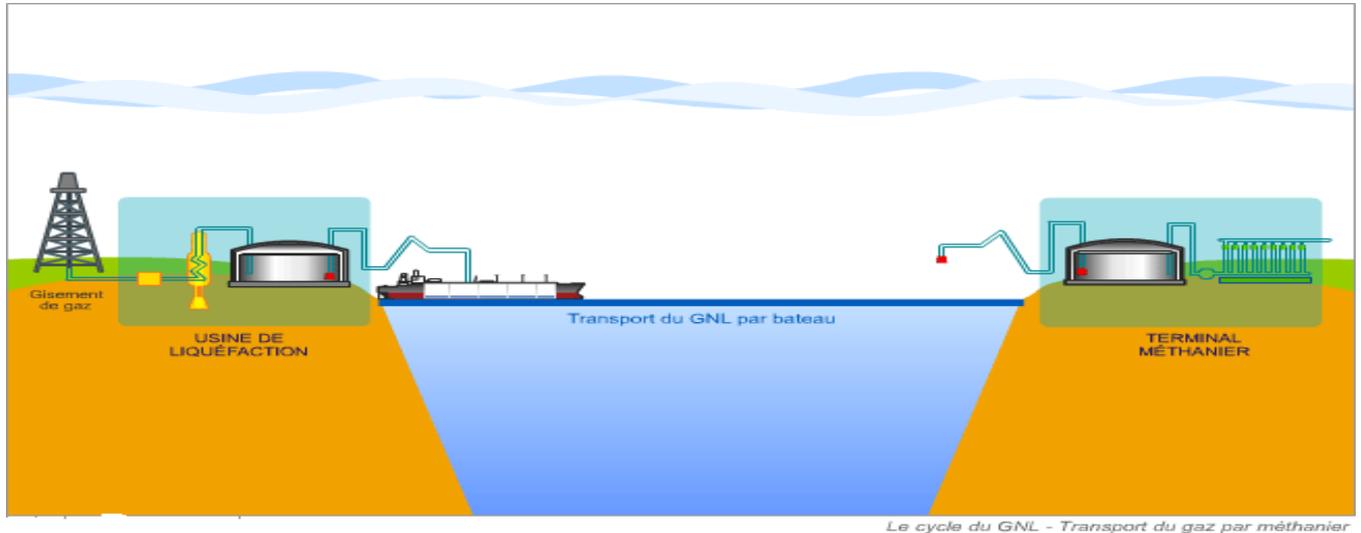


Figure I-8 Transport du gaz par méthanier (bateau)

I-4-3-2 Stockage du gaz naturel :

Le stockage de gaz naturel est nécessaire pour assurer l'ajustement saisonnier des consommations et des ressources en gaz.

Il existe deux modes principaux de stockage comme suite :

1. Le stockage cryogénique (aérien) : La conception des cuves de stockage est également basée sur l'association d'une enceinte interne, destinée à contenir le liquide stocké et d'une enceinte externe, qui contient l'isolation placée autour de l'enceinte interne.

Deux techniques de ce type de stockage sont utilisées :

- A. Réservoirs à double paroi : la cuve interne construite en acier à 9% de Nickel et l'enceinte externe est réalisée en acier ou en béton précontrainte.
- B. Réservoirs à membrane : l'isolation transmet à la coque extérieure toutes les sollicitations mécaniques de poussée du liquide et du gaz. Elle est constituée par une mousse rigide de PVC à cellules fermées.[1]

2. Le stockage souterrain : Des cavités souterraines aux caractéristiques géologiques appropriées permettent d'enfermer de grandes quantités de gaz naturel, avec des investissements relativement limités en comparaison du stockage aérien. Les sites appropriés au stockage souterrain du gaz sont :

- A. le stockage en cavité saline : les formations salifères localisées entre une couche supérieure et une couche inférieure de terrain imperméable.
- B. le stockage en nappe aquifère : des roches poreuses gorgées d'eau et entourées par des roches imperméables.
- C. stockage en gisement déplété : dans un ancien gisement de gaz naturel, aujourd'hui épuisé et reconverti en unité de stockage du gaz.[14]

I-5- Le réseau de distribution du gaz naturel en Algérie :

I-5-1 Définition :

Un réseaux est constituant de gazoducs servant à acheminer gaz du centre de production jusqu'au lieu de consommation , il livre le gaz aux centres de distribution qui sont chargé de la livraison à domicile .

Le gaz est alors réparti en divers points de l'exploitation a fin d'uniformiser les pression Ce qui est défini par un réseau de répartition. Il existe trois type de réseaux :

- ✓ Les réseaux de transport;
- ✓ Les réseaux de répartition;
- ✓ Les réseaux de distribution.

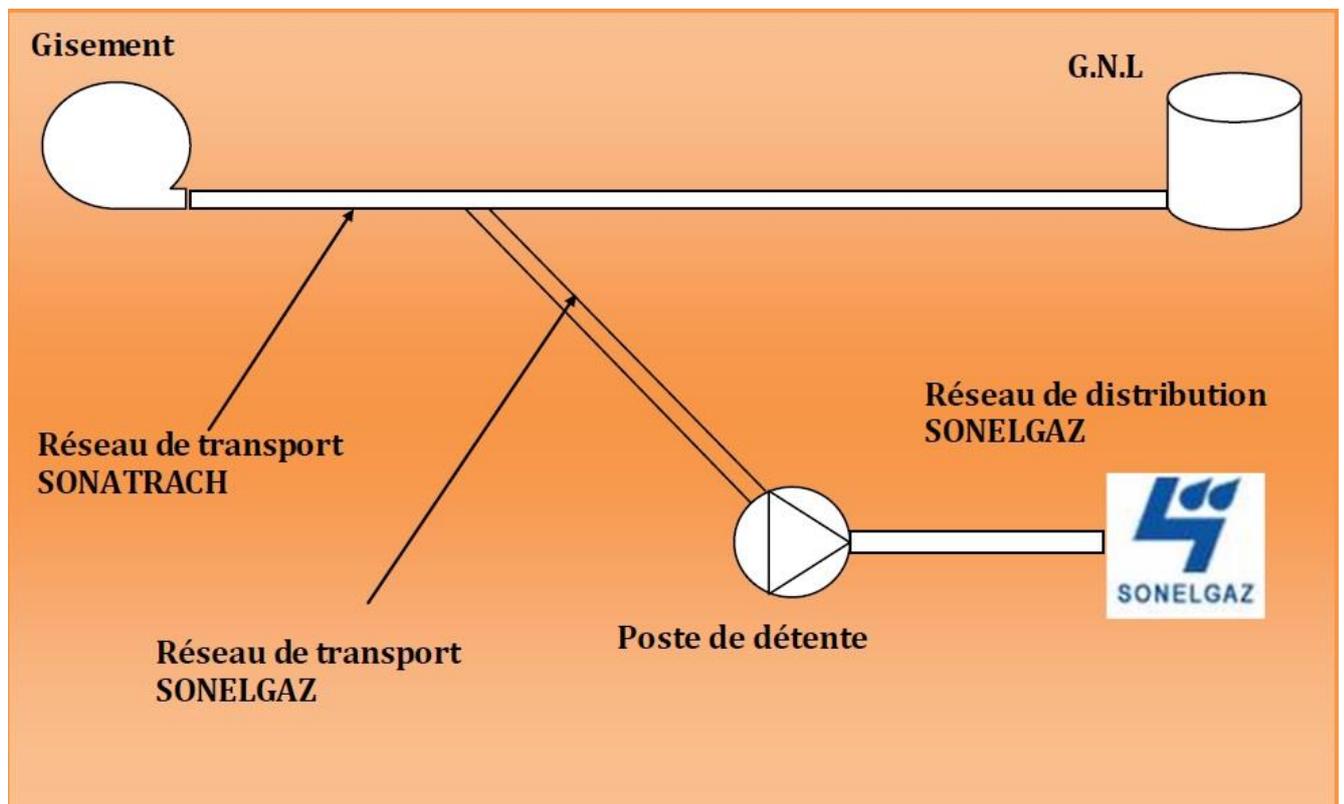


Figure I-9 Schéma des réseaux exploités en Algérie

I-5-1-1 les réseaux de transport :

Ce sont des ouvrages coûteux qui permettent l'acheminement des volumes très importants de gaz à des pressions très élevées avec utilisation de diamètres conséquents.

Sur ce type de réseau les piquages sont très réduits et servent uniquement à l'alimentation des distributions publiques (D.P) ou les clients industriels importants. Du point de départ de la conduite de transport à l'arrivée on rencontre les constituants suivants :

Postes de comptage : Servent à comptabiliser la quantité de gaz prélevée .

Postes de sectionnement : Ils préservent les quantités de gaz en cas d'avarie de la conduite et nettoyage périodique des conduites .

Stations de recompressions : pour palier à la chute de pression .

Protection Cathodique : protège la conduite acier contre la corrosion .

Postes de détente : Abaisser la pression à l'entrée des zones urbaines .



Figure I-10 Réseau de transport du gaz exploité par GRTG (Groupe SONELGAZ)

I-5-1-2 Les réseaux de réparation :

Le gros problème de la distribution est de maintenir en tous les points du réseaux une pression de source comprise entre 18 et 22 mbar .Ces réseaux sont donc chargés d'injecter le gaz en différents points de réseau de distribution quand celui ci est incapable d'assurer un service correcte.

Leur pression maximale de service est de 16 bars .Une caractéristique commune à tous les réseaux de réparation est le faible nombre de liaison ,environ un pour 2000 abonnés.

I-2-1-3 Les réseaux de distribution :

Ces réseaux ont pour alimenter en gaz les consommateurs à une pression d'utilisation de type B atteignant 4 bars relatifs et desservant directement les clients par des détendeurs régulateurs ramenant la pression à la valeur définie à l'utilisation.

Ces réseaux alimentent de nombreux consommateurs . Il comprennent les conduites des postes de détente et des branchements.

I-5-2 Types des réseaux de distribution :

Dans la technique de distribution du gaz on rencontre généralement trois types de réseaux :

I-5-2-1 Réseau maillé :

C'est un réseau constitué d'un certain nombre de boucles. les intersections des conduites sont appelées nœuds .

Dans ce type de réseau, le gaz circule dans les deux sens suivant la consommation.

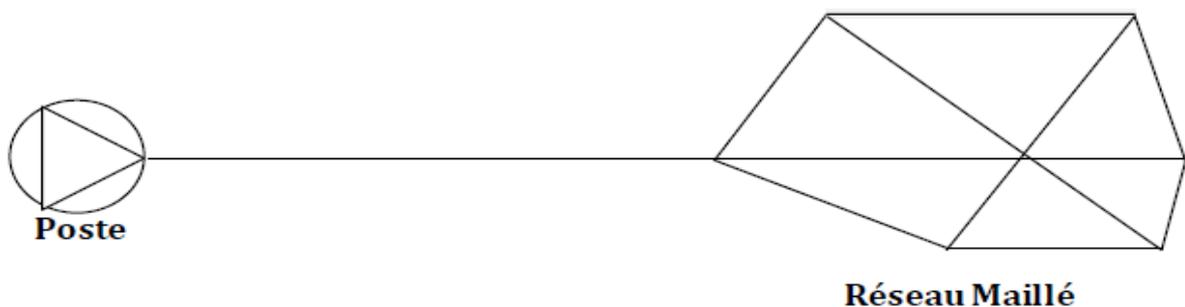


Figure I-11 Schéma d'un réseau de distribution Maillé

I-5-2-2 Réseau ramifié :

C'est un réseau où les conduites partent d'un point d'alimentation en rayonnant ou en se ramifiant. Dans ce type de réseau, le gaz circule toujours dans le même sens.



Figure I-12 Schéma d'un réseau de distribution Ramifié

I-5-2-3 Réseau mixte :

C'est un réseau maillé qui comporte quelques extensions ramifiées. L'avantage du réseau mixte est consisté surtout à un meilleur rééquilibrage de la pression.[15]

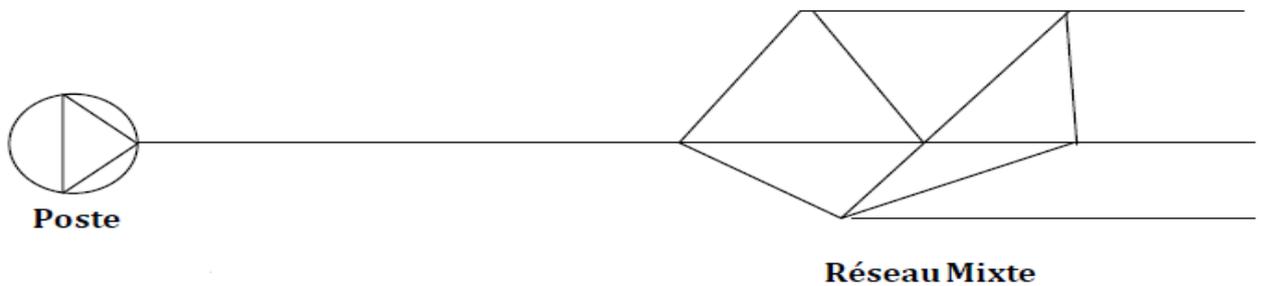


Figure I-13 Schéma d'un réseau de distribution Mixte

I-5-3 Pression de Distribution :

Les réseaux de distribution ont pour vocation l'alimentation en gaz combustible des consommateurs à une pression d'utilisation comprise à l'intérieur d'une fourchette bien précise.

Selon la pression de service, il existe quatre catégories de pression :

I-5-3-1 catégorie BP (basse pression) :

Réseaux fonctionnant à une pression correspondant sensiblement à la pression effective nécessaire à l'entrée des appareils d'utilisation .

Cette pression est de 21 mbar ,cette catégorie est en voie d'extinction.

I-5-3-2 Catégorie MPA (moyenne pression type A) :

Réseaux fonctionnant à des pressions comprises entre 50 et 400 mbar délivrant le gaz sur les réseaux BP et chez les clients par l'intermédiaire des détendeurs .

Cette catégorie de pression n'est plus autorisée par SONELGAZ elle est déclassée.

I-5-3-3 Catégorie MPB (moyenne pression type B) :

Réseaux fonctionnant à des pressions comprises entre 0.4 et 4 bars .Cette catégorie délivre le gaz à des pression inférieurs chez les clients par l'intermédiaire de détendeur.

Après une détente on peut obtenir deux niveaux de pression selon le type d'usages.

21 mbar pour les clients domestiques ,tertiaires et industriels.

300 mbar pour les clients tertiaires et industriels.[15]

I-5-4 Propriétés de réseau de distribution :

Tubes utilisée pour le transport des fluides sous pression ont une forme circulaire pour deux raisons :

- Répartition uniforme des efforts internes sur les parois ,donc épaisseur minimale ce qui réduit la masse du métal.
- Réduction au minimum possible les pertes de charges par frottement .[15]

I-5-4-1 Diamètre Intérieur :

Il existe toute une gamme de diamètres intérieurs suffisante pour un choix économique. Le diamètre nominal est commun pour plusieurs épaisseurs qui sont fonction de la pression de service . Dans le calcul des diamètres de tuyauterie on cherche le diamètre inférieur le plus voisin possible du diamètre théorique .

I-5-4-2 Epaisseur :

Elle sont fixées en fonction des conditions suivantes:

- Résistance à la pression intérieure
- Rigidité et résistance aux pressions extérieurs et aux mouvements de terrains.

L'épaisseur est donnée par la formule suivante :

$$E = \frac{PD}{2t} C \quad (1-6)$$

où :

E : épaisseur en mm

P : pression interne effective en bar

D : diamètre intérieur en mm

t : contrainte admissible pour le métal

C : surépaisseur de sécurité

I-5-4-3 Longueur des tubes :

La longueur des tubes ne doit pas être trop courte ce qui nous conduit à un très grand nombre des joints lors des assemblages trop forte ce qui causera des difficultés de transport et de manutention .Les longueurs courantes varient de 6 à 12 m.

La rugosité doit être aussi faible que possible pour minimiser les pertes de charge .

I-5-4-4 Choix du type de matériel :

Le choix de matériel dépend de :

- La pression maximale de service.
- La qualité de sa fabrication.

- La qualité de son assemblage.
- Les spécifications techniques.
- La disponibilité sur le marché. [15]

I-5-5 Les Différents Types des tubes :

I-5-5-1 Les tubes en Acier (Ac) :

1. Les avantages :

- Solidité : ayant une grande résistance mécanique ne craignant pas comme les autres tubes la perforation ,l'ovalisation ni les chocs.
- Rigidité : permet ainsi de réduire au minimum le nombre de points de fixation.
- Point de fusion élevé : cette caractéristique permet au tube d'éviter de ramollir ou de fondre même en cas d'incendie .

2. Les inconvénients :

- Difficulté de montage .
- Difficulté de modifier les installations existantes.
- Nécessité d'un outillage encombrant.
- Corrosion importante.
- Points faibles (filetage).

I-5-5-2 Les tubes en Cuivre (Cu) :

En général les tubes cuivres sont fournis en longueurs de 06 m. Les gammes des diamètres utilisées : 14/16 , 20/22 ,26/28 ,40/42.

1. les avantages : Les caractéristique mécaniques du cuivre écroui sont voisines à celles de l'acier.

- Mise en œuvre facile avec des moyens peu importants .
- Corrosion très faible .

2. les inconvénients :

- Prix d'achat très élevé
- Formation de couples électriques en contact avec d'autres métaux.

I-5-5-3 Conduites en Fonte :

Depuis 1967 la fonte grise à été remplacée par la fonte ductile appelée aussi fonte à "graphite sphéroïdale" dont les qualité mécaniques se rapprochent de l'acier .

Les jonctions entre éléments de conduite est du type express. Les tubes en fonte ductile sont fabriqués en longueurs de 6 m par centrifugation en en coquille métallique, autrefois les tuyaux en fonte grise sont obtenues par moulage .Les tubes en fonte ductile résistent aussi à la corrosion que les tubes en fonte grise.

Sous les chocs violents la fonte se fissure et se déforme .Lors de la fabrication c'est le moule qui déplace d'un mouvement uniforme .Le fil de métal à fusion vient tomber sur la paroi du moule et s'y applique fortement sous l'effet de la force centrifuge .La paroi métallique du moule est maintenu froide à une température par la circulation d'eau. L'assemblage se fait par emboiture à l'aide de joints.

I-5-5-4 Les tubes Polyéthylène (PE) :

Les polyéthylènes constituent aujourd'hui une grande famille de produits présentant des caractéristique très variées . Le polyéthylène utilisé dans l'industrie gazière est une matière thermoplastique fabriquée par synthèse chimique à partir de l'éthylène , le produit fini employé est un mélange assez complexe de divers produits tels que le noir de carbone qui lui donne sa couleur définitive.

1. les avantages : Mise en œuvre facile avec peu de moyens de manutention .

- Pas de problème de corrosion .
- Bonne résistance chimique aux produits agressifs tels que les acides et les bases .
- Prix de revient raisonnable.
- Très bon isolant, sa résistivité à 20 C° est de l'ordre de 10^{16} Ohm.m.

2. les inconvénients :

- Résistance mécanique relativement faible.
- Durée de vie limitée concernant son stockage .
- Ne résiste pas aux agents tensioactifs tels que les poudres a laver. (Les savons)
- Dilatation linéaire est dix fois supérieure à celle de l'acier.[15]

I-6- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons met les points sur certains concepts liés au gaz naturel (son importance, ses propriétés, types, compositions et les critères de qualité), ainsi que les techniques d'exportation, production, transport et stockage du gaz naturel à l'échelle national et mondiale.

Aussi, nous avons également discuté aux différents réseaux exploités en Algérie et en particulier le réseau de distribution (types, propriétés et les types des conduites utilisées). Nous concluons que le gaz naturel joue un rôle très important dans l'économie algérienne et mondial en raison de l'abondance de ces réserves d'une part et d'être une ressource contribue à la préservation de l'environnement d'autre part, il a adopté un grand nombre de pays pour accroître la production et l'exportation de gaz naturel vers les grandes zones de consommation et de la diversification de ses clients.

Pour affirmer le bon rendement énergétique par conséquence le rendement économique, le gaz naturel distribué en Algérie doit vérifier des normes et des critères de qualité qui lui permet d'assurer ces enjeux économique. Tel que la norme **ISO 6976 :1995**, le calcul et la vérification de cette norme sera l'objet de notre prochaine chapitre intitulé « Etude Expérimentale » .

Chapitre II

Etude Expérimentale

II-1- Etude Chromatographique:

II-1-1 Le gaz à contrôler :

L'approvisionnement de la Wilaya de Ghardaïa en gaz naturel s'effectue, pour l'essentiel, en 2 points :

- La Wilaya de Ghardaïa sauf la localité El-Goléa (Menéa) : Gisement Hassi R'mel exploité par la société national SONATRACH.
- La Wilaya délégué El-Goléa : Gisement El-Khchiba (Ain Salah) exploité par la société mixte Ain Salah Gaz (association entre SONATRACH, BP et STATOIL).

II-1-2 Le prélèvement des échantillons :

On a choisi deux points de prélèvements des échantillons :

- La purge aval de DP Ghardaïa alimenté par le gisement de Hassi R'mel.
- La purge aval de DP El-Goléa alimenté par le gisement El-Khchiba (Ain Salah).

NB : on a choisi ces point de DP avant l'injection de l'odorisant (THT) qui est un composé sulfuré et éviter la pression élevé de l'amont (20 bar) .

✓ Mode opératoire de prélèvement :

- 1- On raccorde la bouteille ou raccord d'échantillonnage (sortie purge) , puis on ouvrir la vanne d'entrée de la bouteille.
- 2- On ouvrir l'égerment la vanne de purge pour permettre au gaz de circuler doucement, puis on charge la petite quantité d'échantillon dans la bouteille.
- 3- On ferme la vanne de processe et la vanne d'entrée de la bouteille, Puis en purge la bouteille pour lui permettre d'évacuer l'air.
- 4- On répète l'étape 1 et 2 pour remplir la bouteille à 70 -80% de son volume total.
- 5- On ferme la vanne de purge et la vanne de la bouteille, en prêtant attention à la pression restée dans le raccord.

II-1-3 Méthode Chromatographique :

Pour déterminer les compositions chimique d'un mélange gaz nous avons utilisé la méthode la plus fiable et fréquente c'est la méthode Chromatographique où en utilisant la chromatographie en phase gazeuse (CPG).

II-1-3-1 l'appareille utilisé dans cette méthode :

cette méthode permet la détermination complète de la composition d'un gaz naturel, la composition du gaz à analyser est comparée à celle d'un gaz standard analysé dans les mêmes conditions et dont la composition est connue. Les composants du gaz naturel sont physiquement séparés par chromatographie en phase gazeuse (CPG).



Figure II-1 Chromatographe (CPG) Haute performance assisté ordinateur

II-1-3-2 Mode opératoire de la méthode Chromatographique :

Cette méthode de séparation basée sur la migration différentielle des constituants d'un mélange à analyser, Et nécessite une phase mobile et une phase stationnaire.

- **Phase mobile** : La phase mobile ou gaz vecteur (He, H₂ et N₂) sert à transporter l'échantillon le long du chromatographe à savoir :
- Vanne d'injection.
 - Colonne remplie ou capillaire.
 - Détecteur TCD (Thermal Conductivity Detector) ou FID (Flame Ionization Detector).

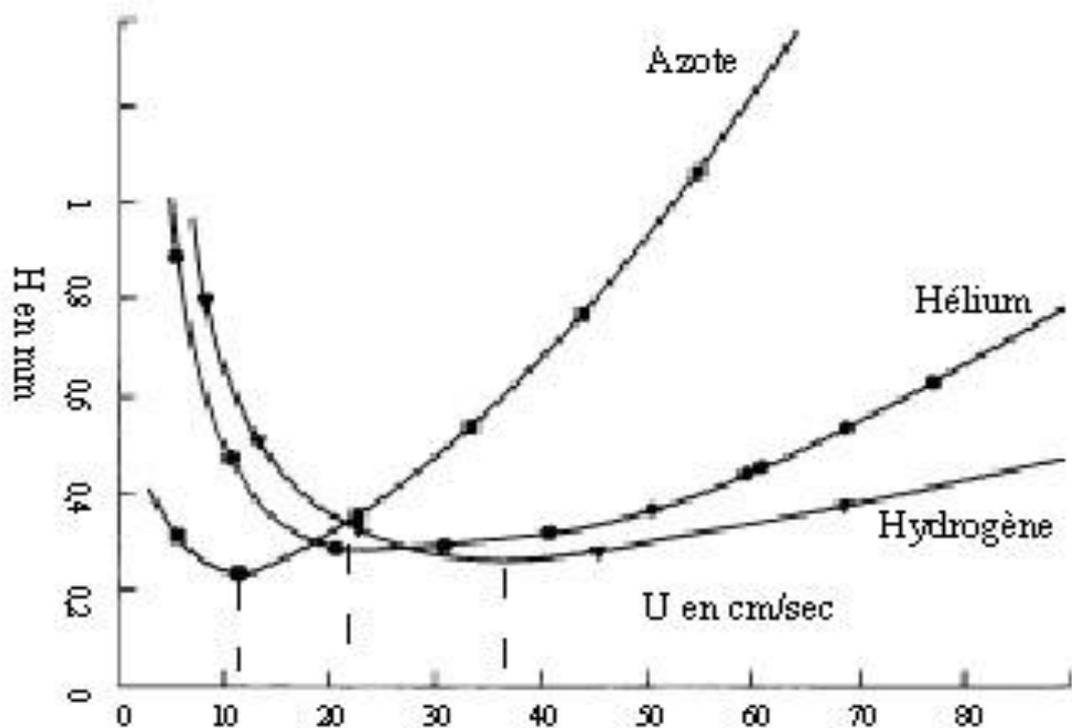


Figure II-2 Courbes de Van Deemter pour l'azote, l'hélium et l'hydrogène.

- **Phase stationnaire** : La phase stationnaire liquide (huile de silicone DC200 et DC500) imbibée sur Un support (Chromosorb PAW) et garnie dans une colonne remplie ou sous film Dans une colonne capillaire.

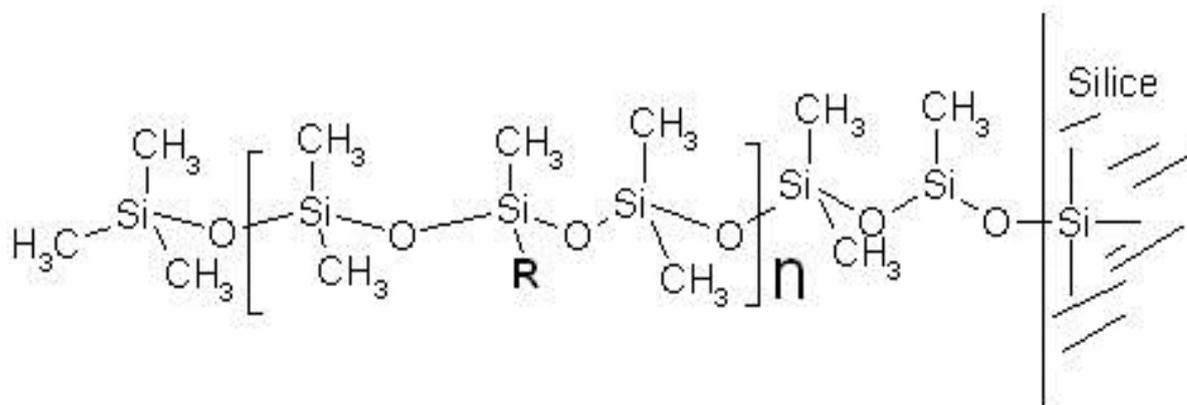


Figure II-3 : Phase stationnaire dérivée du diméthyle polysiloxane.

Après avoir les échantillons on utilise le chromatographe comme suite :

1- Système d'injection :

Il s'agit d'une vanne d'injection à voies multiples (dans notre cas 6 voies). La température de l'injecteur doit dépasser celle de la colonne de 30°C au moins. Avant d'injecter le Gaz, il faut transformer la phase liquide en phase gazeuse grâce A un bain marie (température du bain ≈ 70°C).

2- Le Four :

Bain d'air chauffé par une résistance électrique réglée par un thermostat et homogénéisé par ventilateur. Le four travaille de deux façons :

- Isotherme : la température est constante le long de toute l'analyse
- Programmée : la température varie de 1°C/mn à 20°C/mn dans une plage de temps bien définie au cours de l'analyse.

3- Colonne :

L'étape la plus sensible en chromatographie est la colonne, elle mesure 9 à 12 m de longueur et 5 mm de diamètre.

Le rôle de la colonne est de séparer les constituants du mélange gazeux, la séparation se fait grâce au partage des constituants entre la phase stationnaire et la phase mobile selon l'affinité de chaque constituant, c'est pour cette raison que l'on parle de chromatographie de partition.

4- Détecteur :

La détection est basée sur la différence des propriétés physico-chimiques des constituants du mélange gazeux. Le rôle du détecteur sert à identifier qualitativement et quantitativement les constituants séparés par la colonne. Le détecteur utilisé est le TCD (détecteur à conductivité thermique) basé sur le principe du pont de Winston à cataromètre.

5- Intégrateur enregistreur :

L'intégrateur enregistreur est un instrument supplémentaire du chromatographe, il exploite le signal transmis par le détecteur et calcule la surface intégrée de chaque constituant voir même la composition molaire du mélange gazeux.

A la fin de ces étapes on obtient les résultats suivant :

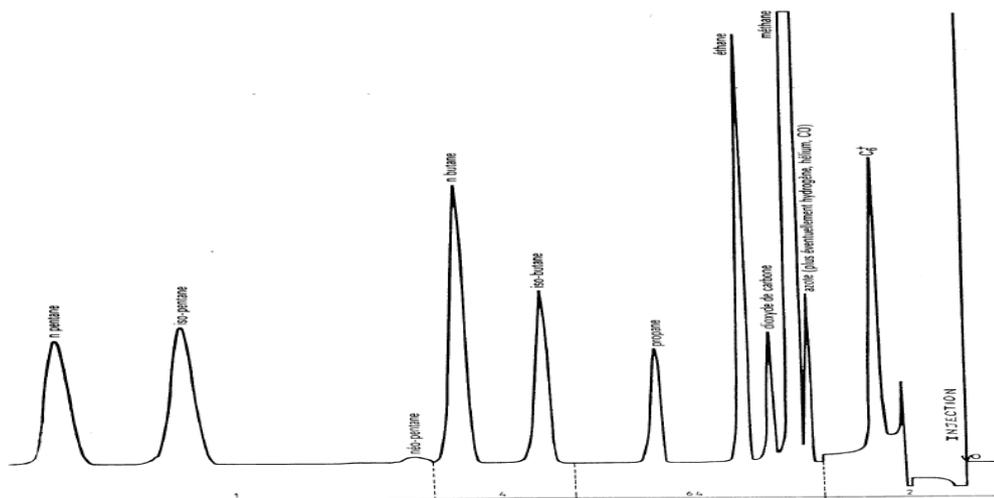


Figure II-4 : Chromatogramme du gaz naturel Hassi R'mel.

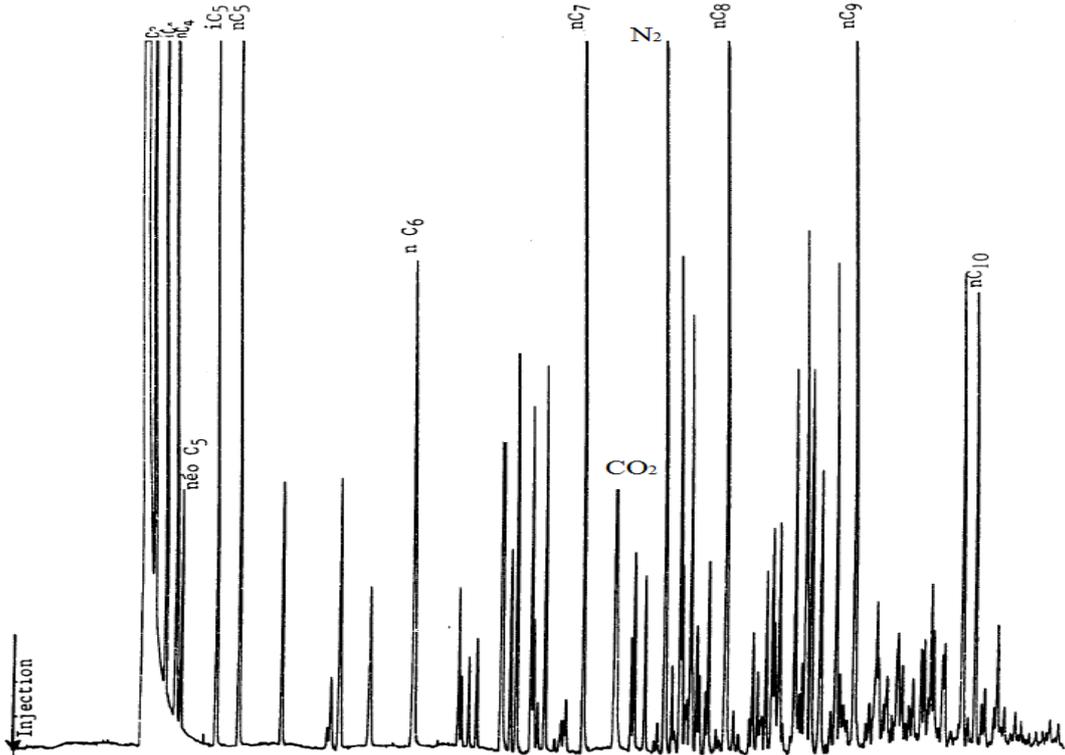


Figure II-5 : Chromatogramme du gaz naturel El-Golèa

II-2- Calculs et Résultats :**II-2-1 Calcul de la norme ISO 6976 :1995 :****II-2-1-1 Calcule :****1- Distributeur Publique (DP) Ghardaïa :**

Après analyse chromatographique du gaz naturel Hassi R'mel on obtient les compositions suivantes :

Tableau II-1 Compositions du gaz naturel de DP Ghardaïa (%Molaire)

Compositions	% Molaire
N ₂	5.18
CO ₂	0.21
C ₁	83.22
C ₂	8.30
C ₃	2.12
iC ₄	0.31
nC ₄	0.46
iC ₅	0.08
nC ₅	0.09
C ₆	0.03
Total	100

Pour que notre norme en question sera applicable pour calculer nos facteurs il faut que :

1- N₂ ne devrait pas être présent dans des quantités dépassant 0.3 en fraction molaire;

2- CO₂ et C₂H₆ ne devraient pas dépasser chacun 0.15 en fraction molaire ;

3- Aucun autre composant ne devrait dépasser 0.05 en fraction molaire.

Dans notre cas (DP Ghardaïa) la fraction molaire de $N_2 = 0.0518 < 0.300$, le CO_2 et le C_2H_6 sont respectivement : 0.0021 et $0.083 < 0.15$.

A. La densité du gaz :

Dans les conditions standard (température 15°C, pression 1atm) la loi de la densité et comme suite : $d = Mg / 28,964$ ou $d = \sum(d_i \cdot X_i) / d_{air}$ ou $d_{air} = 1$

Donc : $d_{C1}(\text{Méthane}) = M_{C1} / 28.964 = 16.0425 / 28.964 = \mathbf{0.554}$ ($M_{\text{Méthane}} = 16,0425\text{g/mol}$)

$d_{C2}(\text{Ethane}) = M_{C2} / 28.964 = 30.069 / 28.964 = \mathbf{1.038}$ ($M_{\text{Ethane}} = 30,069\text{g/mol}$)

Après calcul on obtient le tableau suivant :

Tableau II-2 Calcul de la densité du gaz naturel de DP Ghardaïa

Compositions (i)	Masse molaire(g/mol)	Densité (d_i)	% Molaire (X_i)	$d_i \cdot X_i$
N_2	28.013	0.967	5.18	0.050
CO_2	44.010	1.520	0.21	0.003
C_1	16.0425	0.554	83.22	0.461
C_2	30.069	1.038	8.30	0.086
C_3	44.095	1.522	2.12	0.032
iC ₄	58.122	2.007	0.31	0.006
nC ₄	58.122	2.007	0.46	0.009
iC ₅	72.149	2.491	0.08	0.002
nC ₅	72.149	2.491	0.09	0.002
C_6	86.175	2.975	0.03	0.0009
Densité du Mélange Gaz ($d = \sum(d_i \cdot X_i)$)				0.6519

- La densité de mélange gaz alimenté le DP gaz Ghardaïa est $d= 0.6519$

B. Le pouvoir calorifique :

Le calcul du pouvoir calorifique (PCS ou PCI) molaire du mélange gaz naturel est réalisé à partir de la composition molaire, de la masse molaire et du pouvoir calorifique molaire des différents constituants. Ces dernières valeurs sont issues de la norme ISO 6976 :1995 « Gaz naturel – Calcul du pouvoir calorifique, de la masse volumique, de la densité relative et de l'Indice de Wobbe à partir de la composition »

le pouvoir calorifique est exprimé par la formule suivante :

$$\mathbf{PC} = \sum(\mathbf{PC}_i \cdot X_i)$$

$$\text{ou } \mathbf{PCS} = \sum(\mathbf{PCS}_i \cdot X_i)$$

$$\text{ou } \mathbf{PCI} = \sum(\mathbf{PCI}_i \cdot X_i)$$

Le pouvoir calorifique (PCS et PCI) de quelque principaux constituants du gaz naturel est connus, par exemple :

- ✓ Le Méthane : $\mathbf{PCS}_{\text{CH}_4} = 11.093 \text{ KWh/Nm}^3$.

$$\mathbf{PCI}_{\text{CH}_4} = 9.973 \text{ KWh/Nm}^3 \text{ .}$$

A la base de ces information en obtient le tableau suivant :

Tableau II-3 Calcule de PCS et PCI du gaz naturel de DP Ghardaïa

Compostions(i)	PCS _i (KWh/Nm ³)	PCI _i (KWh/Nm ³)	% Molaire (X _i)	PCS _i . X _i	PCI _i . X _i
N ₂	0	0	5.18	0	0
CO ₂	0	0	0.21	0	0
C ₁	10.470	9.426	83.22	8.713	7.844
C ₂	18.342	16.776	8.30	1.522	1.392
C ₃	26.103	24.015	2.12	0.553	0.509
iC ₄	33.729	31.119	0.31	0.104	0.096
nC ₄	33.827	31.217	0.46	0.155	0.143
iC ₅	41.477	38.345	0.08	0.033	0.030
nC ₅	41.570	38.438	0.09	0.037	0.034
C ₆	49.321	45.667	0.03	0.014	0.013
Le PCS du Mélange Gaz PCS=∑(PCS_i . X_i)				11.134	/
Le PCI du Mélange Gaz PCI=∑(PCI_i . X_i)				/	10.064

- Le pouvoir calorifique Sup. de mélange gaz alimenté le DP gaz Ghardaïa est :

$$\mathbf{PCS= 11.134 \text{ KWh/Nm}^3}$$

- Le pouvoir calorifique Inf. de mélange gaz alimenté le DP gaz Ghardaïa est :

$$\mathbf{PCI= 10.064 \text{ KWh/Nm}^3}$$

C. L'indice de Wobbe :

A partir de la formule de l'indice de Wobbe suivant :

$$W = \frac{PCS}{\sqrt{d_0}}$$

On peut calculer l'indice de wobbe a partir les résultats obtenus précédemment

Tel que le PCS de mélange gaz = 11.134 KWh/m³ et la densité de ce mélange $d = 0.6519$

Donc : $W = \frac{11.134}{\sqrt{0.6519}} = \frac{11.134}{0.807} = \mathbf{13.797 \text{ KWh/Nm}^3}$

- L'indice de Wobbe de mélange gaz alimenté le DP gaz Ghardaïa est :

$$W = \mathbf{13.797 \text{ KWh/m}^3}$$

2- Distributeur Publique (DP) El-Goléa :

Après analyse chromatogharique du gaz naturel El-Khchiba en obtient les compositions suivants :

Tableau II-4 Compositions du gaz naturel de DP El-Goléa (%Molaire)

Compositions	% Molaire
N ₂	0.579
CO ₂	0.008
C ₁	97.382
C ₂	1.539
C ₃	0.332
iC ₄	0.032
neoC ₄	0.065
iC ₅	0.017
neoC ₅	0.001
nC ₅	0.015
C ₆	0.013
C ₇	0.009
C ₈	0.006
C ₉	0.001
C ₁₀	0.001
Total	100

Dans le cas DP El-Goléa la fraction molaire de N₂<0.300, le CO₂ et le C₂H₆ sont respectivement <0.15, c'est-à-dire que la norme ISO 6976 :1995 est applicable.

A. La densité du gaz :

Dans les conditions standard (température 15°C, pression 1atm) la loi de la densité et comme suite : $d = Mg / 28,964$ ou $d = \sum(d_i \cdot X_i) / d_{air}$ ou $d_{air} = 1$

Donc : $d_{C_1}(\text{Méthane}) = M_{C_1} / 28.964 = 16.0425 / 28.964 = \mathbf{0.554}$ ($M_{\text{Méthane}} = 16,0425\text{g/mol}$)

$d_{C_2}(\text{Ethane}) = M_{C_2} / 28.964 = 30.069 / 28.964 = \mathbf{1.038}$ ($M_{\text{Ethane}} = 30,069\text{g/mol}$)

$d_{CO_2}(\text{dioxyde de carbone}) = M_{CO_2} / 28.964 = 44.010 / 28.964 = \mathbf{1.520}$ ($M_{CO_2} = 44.010\text{g/mol}$)

Après calcul on obtient le tableau suivant :

Tableau II-5 Calcul de la densité du gaz naturel de DP El-Goléa

Compositions (i)	Masse molaire(g/mol)	Densité (d_i)	% Molaire (X_i)	$d_i \cdot X_i$
N ₂	28.013	0.967	0.579	0.00559893
CO ₂	44.010	1.520	0.008	0.0001216
C ₁	16.0425	0.554	97.382	0.53949628
C ₂	30.069	1.038	1.539	0.01597482
C ₃	44.095	1.522	0.332	0.00505304
iC ₄	58.122	2.007	0.032	0.00064224
neoC ₄	58.122	2.007	0.065	0.00130455
iC ₅	72.149	2.491	0.017	0.00042347
neoC ₅	72.149	2.491	0.001	0.00002491
nC ₅	72.149	2.491	0.015	0.00037365
C ₆	86.175	2.975	0.013	0.00038675
C ₇	100.21	3.459	0.009	0.00031131
C ₈	114.228	3.943	0.006	0.00023658
C ₉	128.200	4.426	0.001	0.00004426
C ₁₀	142.290	4.912	0.001	0.00004912
Densité du Mélange Gaz (d) = $\sum(d_i \cdot X_i)$				0.5700

- La densité de mélange gaz alimenté le DP gaz Ghardaïa est : **$d = 0.5700$**

B. Le pouvoir calorifique :

le pouvoir calorifique est exprimé par la formule suivante :

$$\mathbf{PC} = \sum (\mathbf{PC}_i \cdot X_i)$$

ou $\mathbf{PCS} = \sum (\mathbf{PCS}_i \cdot X_i)$

ou $\mathbf{PCI} = \sum (\mathbf{PCI}_i \cdot X_i)$

Le pouvoir calorifique (PCS et PCI) de quelque principaux constituants du gaz naturel est connus, par exemple :

- ✓ Le Méthane : $\mathbf{PCS}_{\text{CH}_4} = 11.093 \text{ KWh/Nm}^3$.

$$\mathbf{PCI}_{\text{CH}_4} = 9.973 \text{ KWh/Nm}^3$$

- ✓ Le Octane : $\mathbf{PCS}_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = 64.802 \text{ KWh/Nm}^3$.

$$\mathbf{PCI}_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = 60.104 \text{ KWh/Nm}^3$$

A la base de ces information en obtient le tableau suivant :

Tableau II-6 Calcule de PCS et PCI du gaz naturel de DP El-Goléa

Compostions	PCS _i (KWh/Nm ³)	PCI _i (KWh/Nm ³)	% Molaire (X _i)	PCS _i . X _i	PCI _i . X _i
N ₂	0	0	0.579	0	0
CO ₂	0	0	0.008	0	0
C ₁	10.470	9.426	97.382	10.1958954	9.17922732
C ₂	18.342	16.776	1.539	0.28228338	0.25818264
C ₃	26.103	24.015	0.332	0.08666196	0.0797298
iC ₄	33.729	31.119	0.032	0.01079328	0.00995808
neoC ₄	33.827	31.217	0.065	0.02198755	0.02029105
iC ₅	41.477	38.345	0.017	0.00705109	0.00651865
neoC ₅	41.316	38.185	0.001	0.00041316	0.00038185
nC ₅	41.570	38.438	0.015	0.0062355	0.0057657
C ₆	49.321	45.667	0.013	0.00641173	0.00593671
C ₇	57.064	52.888	0.009	0.00513576	0.00475992
C ₈	64.802	60.104	0.006	0.00388812	0.00360624
C ₉	72.580	67.333	0.001	0.0007258	0.00067333
C ₁₀	80.296	74.554	0.001	0.00080296	0.00074554
Le PCS du Mélange Gaz PCS=∑(PCS_i . X_i)				10.628	/
Le PCI du Mélange Gaz PCI=∑(PCI_i . X_i)				/	9.575

- Le pouvoir calorifique Sup. de mélange gaz alimenté le DP El-Goléa est :

$$\mathbf{PCS= 10.628\ KWh/Nm^3}$$

- Le pouvoir calorifique Inf. de mélange gaz alimenté le DP El-Goléa est :

$$\mathbf{PCI= 9.575\ KWh/Nm^3}$$

C. L'indice de Wobbe :

A partir de la formule de l'indice de Wobbe suivant :

$$W = \frac{PCS}{\sqrt{d_0}}$$

On peut calculer l'indice de wobbe a partir les résultats obtenus précédemment

Tel que le PCS de mélange gaz = 10.628 KWh/m³ et la densité de ce mélange $d= 0.5700$

$$\text{Donc : } W = \frac{10.628}{\sqrt{0.5700}} = \frac{10.628}{0.754} = \mathbf{14.095\ KWh/Nm^3}$$

- L'indice de Wobbe de mélange gaz alimenté le DP gaz El-Goléa est :

$$\mathbf{W =14.095\ KWh/m^3}$$

II-2-2 Résultats et interprétation :

Suite résultats obtenus on peut les récapituler et classer les deux gaz distribués à Ghardaïa comme suite :

Tableau II-7 Classification des gaz naturel distribué à la wilaya de GHARDAIA

Type de gaz	PCS (KWh/Nm ³)	Densité	Indice de Wobbe (KWh/Nm ³)	Famille	Groupe
Hassi R'mel (DP Ghardaïa)	11.134	0.6519	13.797	2 ^{ème}	H
Khchiba (DP El-Goléa)	10.628	0.5700	14.095	2 ^{ème}	H

La 2^{ème} famille du gaz naturel a un indice de Wobbe compris entre 10.917 KWh/Nm³ et 15.222 KWh/m³, (selon l'Union International du Gaz (I.G.U)) Cette famille est composée de tous les gaz naturels et quelques mélanges de G.P.L./air, et ça le cas pour notre deux gaz.

Le groupe H signifié que notre deux gaz ont un haut pouvoir calorifique.

A partir de ces résultats on peut dire que les méthodes de calcul des propriétés physico-chimique et les critères de qualité du gaz naturel tel que pouvoir calorifique, la densité et l'indice de Wobbe proposées par la norme ISO 6976 :1995 ont donné les mêmes résultats obtenus par d'autres méthodes expérimentales tel que l'analyse chromatographique.

Aussi, dépend des intervalles des valeurs de densité, pouvoir calorifique et l'indice de Wobbe pour les gaz typique qui répond à la norme ISO 6976 :1995 au niveau mondial, on peut dire que notre gaz distribué en Algérie est un gaz typique qui a les mêmes valeurs de ces critères et répond à la norme ISO 6976 :1995.

II-3-Conclusion :

La connaissance des propriétés physico-chimique du gaz naturel est essentielle à tous les stades de la chaîne de gaz notamment la phase finale, la Distribution pour des raisons sécuritaires et économiques, ça Nous oblige à déterminer ces valeurs avec une bonne précision.

Pour atteindre ce but il y'a plusieurs méthodes qui nous permettent de calculer ces propriétés tel que les méthodes de la Norme ISO 6976 :1995« Gaz naturel – Calcul du pouvoir calorifique, de la masse volumique, de la densité relative et de l'Indice de Wobbe à partir de la composition » qui nous a donné des résultats avec bonne précision, et qui nous confirme que le gaz distribué à la wilaya de GHARDAIA prévenant du gisements Hassi R'mel ou Ain Salah (Khchiba) vérifié la norme ISO 6975 :1995.

Conclusion Générale et Perspectives

Conclusion générale :

Ce travail vise à étudier la qualité et la caractérisation du gaz naturel distribué par canalisation en Algérie et particulièrement dans la wilaya de Ghardaïa, visant sur les principaux paramètres de qualité tel que la densité, pouvoir calorifique et indice de Wobbe en vérifiant la Norme ISO 6976 :1995.

Le gaz naturel a un aspect énergétique et socioéconomique très important à l'échelle mondial et en Algérie, pour cela l'importance du gaz naturel présente dans sa qualité, qui doit être répondre aux critères de qualité.

Au premier lieu nous avons donné une bibliographie générale et détaillé sur la formation, la production, l'exploitation et le transport notamment la distribution de gaz naturel par canalisation en Algérie, aussi nous avons donné une présentation sur les types des réseaux, leurs propriétés et les types du tubes utilisés dans les réseaux.

Dans cette partie nous avons défini les propriétés physico-chimique du gaz notamment les critères de qualité gaz naturel, tel que la densité, le pouvoir calorifique (sup et inf), l'indice de Wobbe, teneur en composés soufré et teneur en eau, et leur impacts sur la qualité du gaz naturel.

En deuxième lieu, nous avons choisi une norme très importante c'est la norme ISO 6976 :1995 qui nous permettre de calculé, la densité, le pouvoir calorifique et l'indice de Wobbe du gaz naturel après avoir leur compositions chimique.

Le choix a été fait vu l'importance de ces critères dans le domaine de l'économie d'énergie par le pouvoir calorifique et le domaine environnemental et la sécurité de l'utilisation par l'indice de Wobbe.

Après avoir calculer ces paramètres, nous les avons comparées aux résultats obtenus par d'autre méthodes de calcul et d'analyse, tel que les analyses chromatographique pour les mêmes échantillons, et nous avons trouvé les mêmes résultats, c'est-a-dire que notre gaz distribué en Algérie répond a la

norme ISO 6976 :1995, et on peut le considérer comme un gaz typique, et d'après le Centre de Recherche et de Développement de l'Electricité et du Gaz (CREDEG), filiale SONELGAZ, les résultats sont conformes à la norme en question.

Au cours de ce travail, nous avons constaté que le gaz naturel est un combustible fossile, propre mais non renouvelable, malgré la richesse de cette énergie en Algérie, on propose que:

- L'Algérie doit chercher d'autres sources d'énergies, propres, renouvelables et non coûteuses par exemple (énergie solaire, éolienne, biogaz, gaz renouvelable...ex), malgré qu'on est sûr que le gaz naturel reste dominant au moyen terme.
- Vu la qualité supérieure du gaz naturel et le prix bas de son mètre cube en Algérie, l'utilisation du gaz naturel doit être généralisée, non seulement dans les domaines traditionnels (production d'électricité ou l'utilisation domestique) mais aussi pour augmenter le taux d'utilisation comme un carburant des véhicules pour minimiser le taux d'émission carbonique (CO_2), dans la nouvelle technologie de climatisation et dans les différents industries comme le plastique, les produits chimiques et l'industrie pétrolière pour séparer leurs différents composés.

ANNEXES

Annexe A :

1- Définition de la Norme ISO 6976 :1995:

1-1 Généralité sur les Normes ISO :

1-1-1 L'ISO :

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) créée en février 1947, est une organisation internationale non gouvernementale, indépendante, dont les 162 membres sont les organismes nationaux de normalisation de 162 pays. Par ses membres, l'Organisation réunit des experts qui mettent en commun leurs connaissances pour élaborer des Normes internationales d'application volontaire, fondées sur le consensus, pertinentes pour le marché, soutenant l'innovation et apportant des solutions aux enjeux mondiaux.

ISO . Ce nom est dérivé du grec ISOS, signifiant « égal ». Quel que soit le pays, quelle que soit la langue, la forme abrégée du nom de l'organisation est par conséquent toujours l'ISO.

II-1-1-2 Les normes ISO :

Les Normes internationales sont des rouages indispensables. Elles établissent des spécifications de premier ordre pour les produits, les services et les systèmes dans une optique de qualité, de sécurité et d'efficacité. Elles jouent un rôle prépondérant pour faciliter le commerce international.

L'ISO a publié plus de 20 500 Normes internationales et publications associées qui couvrent la quasi-totalité des secteurs de l'industrie – des technologies à la sécurité des denrées alimentaires, et de l'agriculture à la santé. Les Normes internationales de l'ISO ont un impact partout, pour tous.

1-2 définition de la norme ISO 6976 :1995 :

La présente Norme internationale prescrit des méthodes pour le calcul des pouvoirs calorifiques supérieur et inférieur, de la masse volumique, de la densité relative et de l'indice de Wobbe du gaz naturel sec et des substituts du gaz naturel lorsque la composition du gaz en fraction molaire est connue. Ces méthodes permettent de calculer les propriétés du mélange de gaz dans les conditions de référence métriques généralement utilisées. Les méthodes de calcul exigent des valeurs pour les différentes propriétés physiques des composants purs; ces valeurs sont consignées dans les tableaux et leurs sources sont identifiées. Des méthodes sont données pour estimer la précision des propriétés calculées.

Les méthodes de calcul des valeurs des propriétés sur une base molaire ou sur une base massique sont applicables à tout gaz naturel sec, à tout substitut du gaz naturel ou à tout autre combustible normalement gazeux. Pour le calcul des valeurs des propriétés sur une base volumétrique, les méthodes sont limitées aux gaz essentiellement constitués de méthane.

1-Compositions chimique du gaz naturel issues de la norme ISO 6976

Données issues de la norme ISO 6976-1995

Component	Molar mass (kg.kmol ⁻¹) M _i	Gross heating value on a molar basis (kJ.mol ⁻¹) H _i ^o (t ₁)
Methane	16,043	892,97
Ethane	30,070	1564,34
Propane	44,097	2224,01
n-Butane	58,123	2883,82
2-Methyl propane	58,123	2874,20
n-Pentane	72,150	3542,89
2-Methyl butane	72,150	3535,98
2,2-Methylpropane	72,150	3521,72
C ₆₊	86,177	4203,23
Nitrogen	28,0135	0

2-Certificat d'étalonnage du gaz naturel selon la norme ISO 6976

CERTIFICAT D'ETALONNAGE DU MELANGE GAZEUX UTILISE

10468 8

CERTIFICAT DE CALIBRATION		Page 1 de 2
Effectué par: EffecTech		Nom du signataire responsable
Date d'émission: 31 janvier 2011	Certificat No.: 11/061/03	Nom: Steve Price
		Signature: <i>S. Price</i>



EffecTech
Spécialiste en mesures de gaz

Dove House
Dove Fields
Uttoxeter
Staffordshire ST14 8HU
United Kingdom www.effectech.co.uk



0590

Étalonnage pour le compte de : **GRT Gaz**
14 rue Pelloutier, Croissy Beaubourg, F-77435 Marne la Vallée, France.
Client : **Air Produits S.A.S.**
78, Rue Championnat, 75881 Paris Cedex 18, France.
Numéro de cylindre : **24630**
Numéro de PR : **53729**
Référence fabricant : **010004159793**
Lot d'inspection : **040003277817**
Date de la certification : **17 janvier 2011**
Date de validité : **17 janvier 2015**
Description : **Mélanges de calibration multi-composants destinés à l'analyse du gaz naturel**

composés	fraction molaire (mol/mol)
azote	4.021 ± 0.025
dioxyde de carbone	0.802 ± 0.007
méthane	84.275 ± 0.09
éthane	8.011 ± 0.035
propane	2.508 ± 0.019
iso-butane	0.0997 ± 0.0010
n-butane	0.2030 ± 0.0023
néo-pentane	0.0099 ± 0.0010
iso-pentane	0.0300 ± 0.0010
n-pentane	0.0196 ± 0.0013
n-hexane	0.0193 ± 0.0016

Pression de remplissage : **110 bar**
Taille bouteille : **10 litres (water capacity)**
Matériau de la bouteille : **aluminium**
Raccord de sortie valve : **Type E**
Ne pas utiliser en dessous d'une pression de : **3 bar**
Maintenir la température d'utilisation et de stockage au dessus de : **-31°C**

Mélange certifié par les méthodes d'analyses EffecTech et suivant la norme ISO 6143: 2001 - Analyse de gaz - Détermination de la composition des mélanges gazeux - Méthodes de comparaison

EffecTech est un organisme accrédité par UKAS, selon la norme ISO 17025, pour la calibration effectuée sur le certificat ci-joint. L'incertitude de mesure mentionnée est basée sur une incertitude standard multipliée par un facteur k = 2, donnant un intervalle de confiance d'approximativement 95%. Ce calcul d'incertitude a été effectué suivant les spécifications demandées par l'UKAS.

Ce service de (E)E est réalisé en collaboration avec l'Association des Laboratoires UKAS (UKAS Calibration Services) et agit en tant que fournisseur de services conformément aux règles de la norme de gestion ISO 9001 (la norme ISO 9001) en ce qui concerne la prestation de services. Le service ne peut être rendu que dans un seul pays, excepté pour l'ensemble des services de mesure.

CERTIFICAT DE CALIBRATION

UKAS Laboratoire de calibration accrédité No. 0590

Page 2 de 2

Numéro du Certificat

11/061/03

Propriétés physiques

Les propriétés physiques sont calculées à partir de la composition du mélange selon la norme internationale ISO 6976:1995 (E) incluant l'amendement No. 1 - Mai 1998.

Les propriétés sont calculées à une pression de référence de 1.01325 bar et aux températures de références indiquées.

Note - Selon les recommandations de la norme internationale, le mélange gazeux est présumé sec (exempt d'humidité) pour la résolution des calculs.

	Conditions de référence (primaires) Combustion 0°C Mesure 0°C	Conditions de référence (secondaires) Combustion 25°C Mesure 0°C
--	---	--

Calculs de base

masse molaire moyenne	18.750 ± 0.019	kg.kmol ⁻¹	18.750 ± 0.019	kg.kmol ⁻¹
facteur de compressibilité	0.9969		0.9969	

Calculs du gaz réel

valeur calorifique supérieure	42.30 ± 0.05	MJ.m ⁻³	42.20 ± 0.05	MJ.m ⁻³
	945.28 ± 0.95	kJ.mol ⁻¹	942.87 ± 0.95	kJ.mol ⁻¹
	50.42 ± 0.06	MJ.kg ⁻¹	50.29 ± 0.06	MJ.kg ⁻¹

valeur calorifique inférieure	38.18 ± 0.04	MJ.m ⁻³	38.16 ± 0.04	MJ.m ⁻³
	853.05 ± 0.86	kJ.mol ⁻¹	852.81 ± 0.86	kJ.mol ⁻¹
	45.50 ± 0.05	MJ.kg ⁻¹	45.48 ± 0.05	MJ.kg ⁻¹

densité relative	0.6490 ± 0.0007		0.6490 ± 0.0007	
densité	0.8391 ± 0.0009	kg.m ⁻³	0.8391 ± 0.0009	kg.m ⁻³
indice de Wobbe	52.51 ± 0.06	MJ.m ⁻³	52.38 ± 0.06	MJ.m ⁻³

Calculs du gaz parfait

valeur calorifique supérieure	42.17 ± 0.05	MJ.m ⁻³	42.07 ± 0.05	MJ.m ⁻³
	945.28 ± 0.95	kJ.mol ⁻¹	942.87 ± 0.95	kJ.mol ⁻¹
	50.42 ± 0.06	MJ.kg ⁻¹	50.29 ± 0.06	MJ.kg ⁻¹

valeur calorifique inférieure	38.06 ± 0.04	MJ.m ⁻³	38.05 ± 0.04	MJ.m ⁻³
	853.05 ± 0.86	kJ.mol ⁻¹	852.81 ± 0.86	kJ.mol ⁻¹
	45.50 ± 0.05	MJ.kg ⁻¹	45.48 ± 0.05	MJ.kg ⁻¹

densité relative	0.6474 ± 0.0007		0.6474 ± 0.0007	
densité	0.8365 ± 0.0009	kg.m ⁻³	0.8365 ± 0.0009	kg.m ⁻³
indice de Wobbe	52.42 ± 0.06	MJ.m ⁻³	52.28 ± 0.06	MJ.m ⁻³

EffecTech est un organisme accrédité par UKAS, selon la norme ISO 17025, pour la calibration effectuée sur le certificat ci-joint. L'incertitude de mesure mentionnée est basée sur une incertitude standard multipliée par un facteur k = 2, donnant un intervalle de confiance d'approximativement 95%. Ce calcul d'incertitude a été effectué suivant les spécifications demandées par l'UKAS.

3-Qualité spécification du gaz naturel selon la norme ISO 6976



NATURAL GAS QUALITY SPECIFICATIONS

Value	Unit	Specification	Notes
Wobbe Index	KWh/Nm ³	13.10-16.37	
Gross Calorific Value (GCV)	KWh/Nm ³	10.20-13.71	
Relative Density	-	0.56-0.71	
CH ₄	% mole	75.0 min	
CO ₂	% mole	3.0 max	
N ₂	% mole	6.0 max	
O ₂	% mole	0.2 max	
Hydrogen sulfide (H ₂ S)	mg/Nm ³	5.4 max	In exceptional cases and for a time interval that does not exceed two (2) hours; the content of Natural Gas in Hydrogen sulfide can have a value up to 10.8 mg/Nm ³ , without however exceeding 6.5 mg/Nm ³ as an average Daily value.
Total sulphur	mg/Nm ³	80.0 max	In exceptional cases and for a time period that does not exceed 48 hours it can receive values up to 120 mg/Nm ³ without however exceeding 90 Mg/Nm ³ as an average Weekly value.
Water Dew Point (WDP)	°C	+5 max	Under reference pressure of 80 barg.
Hydrocarbons Dew Point	°C	+3 max	Under any pressure from 1 to 80 barg.
Dust and Liquids			Natural Gas should be practically free from gaseous, solid or liquid substances that could pose blockage or malfunction or erosion risks to standard gas facilities and standardized gas equipment. Exception is made to the cases of liquid formation of minuscule droplets in Natural Gas which are impossible to be removed.
Odorizing Substance			The Natural Gas is delivered at the Entry Points without odorizing substance. The Odorizing Substance is added at the Exit Points, when necessary as per the ASME Code.
Temperature	°C	0-50	Under special NNGTS operation conditions or due to technical reasons and in any case for periods that do not exceed 4 hours; the temperature may be less than 0°C. In this case, Natural Gas temperature must necessarily be greater than -10°C and at least 5°C higher than the WDP temperature of Natural Gas under operating pressure.

*Normal Cubic Meter or Nm³ shall mean the quantity of Natural Gas, which at conditions of absolute pressure 1.01325 bar and temperature zero (0) degree Celsius, occupies volume of one (1) cubic meter.

Annexe B :

1-Compositions chimique du gaz naturel alimenté DP GHARDAIA

		SONATRACH DIVISION PRODUCTION DIRECTION REGIONALE - HASSI-R'MEL -					
N° Téléfax Hassi-R'mel: 029 / 98 . 83 . 31 / 98 . 81 . 38							
Expéditeur : SONATRACH-DP DIRECTION REGIONALE DIRECTION EXPLOITATION HASSI R'MEL		Destinataire : M. LE CHIEF SERVICE EXPLOITATION SONELGAZ /GRTG/Oran N° Télécopieur : 041 / 34 . 15 . 73					
Transmission le :		Nombre de Pages y compris la page de garde : 01					
Objet: Analyse chromatographique du Gaz Sec.							
Nous vous communiquons les résultats d'analyse chromatographique du gaz du mois décembre							
HASSI-R'MEL							
N ₂	CO ₂	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅
5.24	0.23	83.17	7.86	2.25	0.36	0.56	0.12
NC ₅	C ₆ +			Densité	P.C.S		P.M
0.14	0.07			0.659	9517		19.04
HASSI-R'MEL - GHARDAIA							
N ₂	CO ₂	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅
5.18	0.21	83.22	8.30	2.12	0.31	0.46	0.08
NC ₅	C ₆ +			Densité	P.C.S		P.M
0.09	0.03			0.655	9473		18.92
LE DIRECTEUR EXPLOITATION							
							
Sonatrach – Activité Amont – Division Production – Direction Régionale de Hassi-R'Mel BP 64 Hassi-R'Mel 03300 LAGHOUAT – Algérie ☎ 00 (213) 29.98.82.90 📠 00 (213) 29.98.84.98							

3-Courbe d'égal Indice de Wobbe pour les gaz naturels

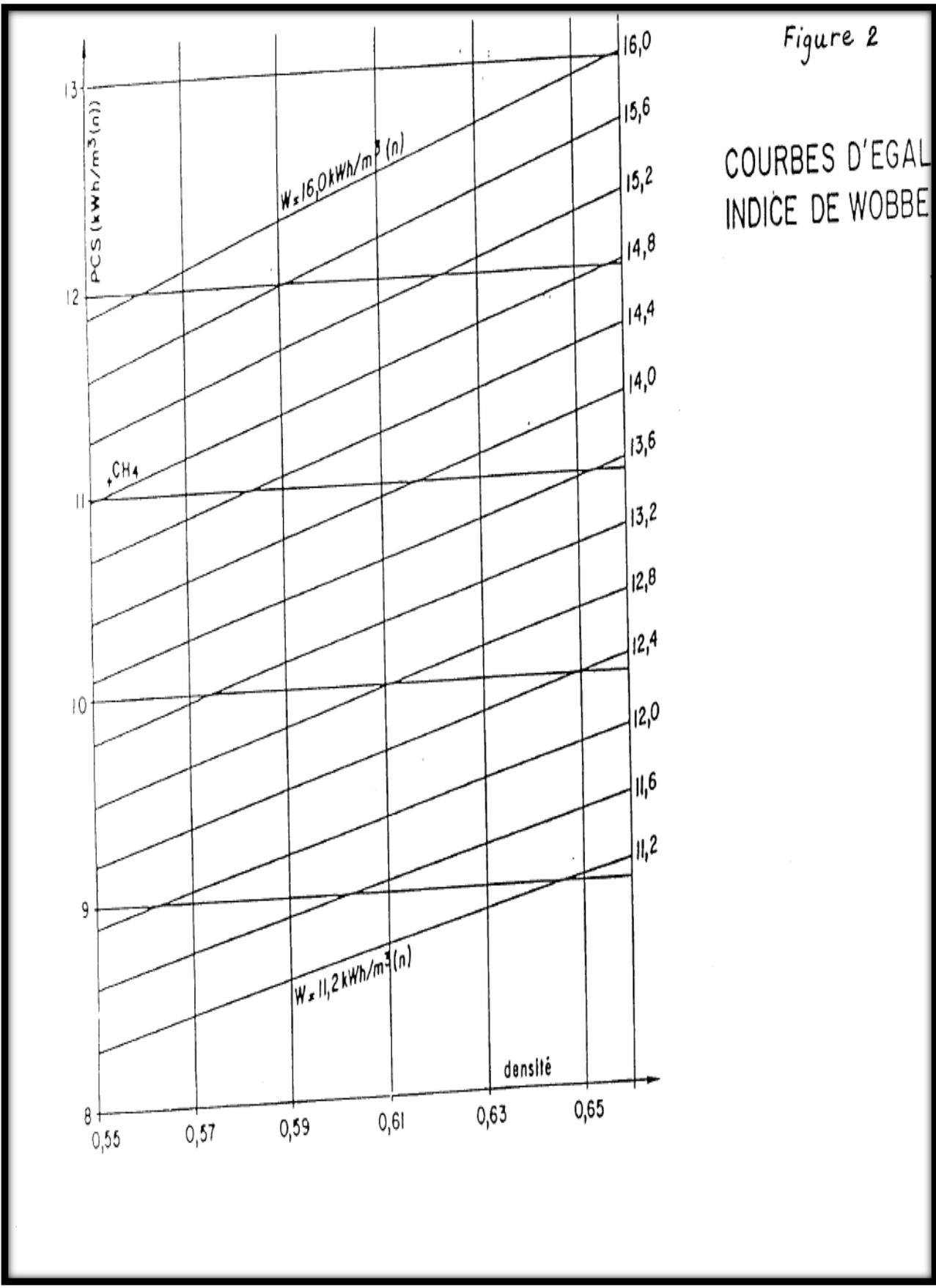


Figure 2

COURBES D'EGAL
INDICE DE WOBBE

Bibliographie

- [1]. A.ROJEY, B.DURAND, C.JAFFRET, S. JULLIAN, M. VALAIS ; «**Le gaz naturel : production, traitement, transport**»; Editions Technip-Paris ; 1994 ;P3-P20 ; P71-P117.
- [2]. <http://www.rncan.gc.ca/energie/gaz-naturel/5642#what>, Date et Heur de consultation :04/01/2016 à 21h20.
- [3]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz_naturel, Date et Heur de consultation :25/12/2015 à 22h00.
- [4]. S.GABANI , C.HADJ KOUIDER ; « **Le gaz domestique : réglementation et sécurité** » ; Mémoire de fin d'étude IAP BOUMERDES; 2010.
- [5]. G.G. Nasr, N.E. Connor; «**Natural Gas Engineering and Safety Challenges: Downstream Process, Analysis, utilization and safety** »; Editions Springer; 2014; P 218.
- [6]. http://www.afgaz.fr/sites/default/files/u3/indice_de_wobbe.pdf , Date et Heure de Consultation : 25/12/2015 à 22h50.
- [7].<http://elearning.univeloued.dz/courses/GNM/document/gaz%20naturel/COURSGAZNATUREL.pdf?cidReq=GNM> , Date et Heure de consultation : 22/11/2015 à 21h05.
- [8]. M. CHARRON ; « **Qualité du Gaz** » ; Département Transport, Centre d'expertise et de Services Direction Production Transport, Gaz de France ; 1995.
- [9]. <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/gaz-naturel> ,Date et Heure de consultation : 9/12/2015 à 18h20.
- [10]. BP Statistical Review of World Energy June 2015(British Petroleum).
- [11]. L.CHEBLI, Y.ABBASSI «**Calcul Des Paramètres De fonctionnement du Dépropaniser (Unité (38) ; Traitement De GPL) "Module III à Hassi R'mel"**» Mémoire de fin d'étude université BISKRA; 2012.
- [12]. <http://www.energy.gov.dz/francais/index.php?page=retrospective> , Date et Heure de consultation : 02/01/2016 à 22h10.
- [13]. <http://www.sonelgaz.dz/?page=article&id=17> , Date et Heure de consultation : 03/01/2016 à 21h05.

[14]. <http://comparateur.selectra.info/infos-pratiques/stockage-gaz-naturel-france.html> , Date et Heur de consultation : 03/01/2016 à 19h15.

[15]. Guide technique Gaz, SONELGAZ.1997

[16]. Christian NGO, Alexandre ROJEY « **Combustion Fossile** » ; Technique de l'ingénieur ; 3^{ème} Edition, 2015.

[17]. International Energy Agency « **Key Natural Gas Trends** » ; Magazine IEA Statistics, 2015.

[18]. M.LAGIERE «**Physique Industrielle des fluides**»; Editions Technip-Paris ; 1996 ;P129-P136 ; P322-P381.

[19]. J.F.GRAVIER « **Propriétés des fluides de gisement** » ; Tome 2 ; Editions Technip-Paris ;1986 ; P208, P205 et P193.