



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar. El Oued

Faculté de la Technologie

Mémoire de Fin d'Etude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Industries pétrochimiques

Spécialité: Génie des Raffinage

Présenté par:

Adib Ahmed Alhamdani

Mohamed Najib Alarami

Basel Nezar Mouhamed Saleh

Thème

**ETUDE COMPARATIVE ENTRE TROIS
LIQUIDES RÉFRIGÉRANT : PROPANE ,
BUTANE ET LE GPL**

Encadré par : Dr. OUCIF KHALED M^{ed} Tayeb MCA

2019-2020

Remerciement

En premier lieu, je tenues à remercier mon DIEU,

Pour m'avoir la force pour accomplir ce travail.

Je aimerai exprimer ma profonde gratitude pour

Mon professeur et encadrant M. T.OUCIF Khaled

Pour son suivi et pour son énorme soutien.

Je voudrais à remercier les membres de jury qui ont

Bien voulu je faire l'honneur de participer à ce jury.

Je voudrais aussi remercier tous mon enseignants du

Département de génie des procédés chimiques et raffinage.

Je tenues à remercier tout tous le personnel de

Rhourde NoussILLIZI.

Merci à tous ceux qui nous a contribués de près ou de

Loin à l'élaboration

De ce Mémoire.

✓ Adib Ahmed Alhamdani

✓ Mohamed Najib Alarami

✓ Basel Nezar Mouhamed Saleh

Dédicace

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

A celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, à la source d'amour

*Incessible, à la mère des sentiments fragiles qui ma bénie par ce
prières **Ma mère***

*A mon support dans ma vie, qui m'a appris m'a supporté et ma dirigé
vers la gloire **Mon père***

A mes chers frères, sœurs et ma fiancée

*A l'âme pure de **mon oncle Saif**, que Dieu ait pitié de lui*

*À mon soutien dans ma carrière universitaire, mon cousin **Sami**
Alhamdani*

A tout les personnes de ma grande famille

*A tout mes amies surtout **Mohamed***

Molay ET Ahmed Baba

*✓ **Adib ALhamdani***

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers, À MA CHÈRE MÈRE

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie. À LA MÉMOIRE DE MON PÈRE

Ce travail est dédié à mon père, décédé trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études. J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !

À MES PROCHES

À mon oncle et mes frères : Rien au monde ne pourrait compenser les sacrifices que vous avez endurés durant mes longues années d'études. À mes sœurs: je vous témoigne mon profond amour et mes respects les plus dévoués. Que dieu vous garde et vous donne santé et longue vie. À les petites enfants de la famille, À mes très chers amis, À tous les membres de ma promotion. À tous mes enseignants et À tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.

✓ *Mohammed Najib Alarami*

Sommaire

titre	page
Dédicace	
SOMMAIRE	I
LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES FIGURES	V
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I GENERALITE SUR LE GAZ NATUREL	
I.1. Définition du gaz naturel	4
I.2. Composition du gaz naturel	4
I.3. Caractéristiques du gaz naturel	5
I.3.1. Pouvoir calorifique	6
I.3.2. Densité	6
I.3.3. les types de gaz naturel	6
I.4. Techniques de traitement de gaz	6
I.4.1. Généralités sur le traitement	6
I.4.2. Les procédés de traitement du gaz naturel	7
I.4.3. Les techniques de traitement de gaz naturel	7
I.5. Le gaz naturel dans le monde	9
I.5.1. Les réserves de gaz naturel	9
I.5.2. Production de gaz naturel	9
I.5.3. Consommation de gaz naturel	9
I.6. Utilisation du gaz naturel	11
I.6.1. Utilisateurs domestiques	11
I.6.2. Le secteur industriel	12
I.6.3. Production d'électricité	12
I.6.4. Industrie de l'automobile	12
I.7. Le gaz naturel en Algérie	12
I.7.1. La production de gaz en Algérie	12
I.7.2. La consommation de gaz en Algérie	13
I.7.3. Réserves algériennes en gaz naturel	14

I.7.4. Investissements	14
I 8. Avantages et inconvénients du gaz naturel	14
I .8.1. Avantages	14
I .1.8.2. Inconvénient	15
CHAPITRE II	
GENERALITES SUR LES FLUIDES REFRIGERANTS	
II.1. Définition d'un fluide	17
II.1.1. Fluides newtoniens	17
II.1.2. Fluides non newtoniens	17
II.2. Caractéristiques d'un fluide	17
II.2.1. Masse volumique	17
II.2.2. Viscosité	18
II.2.3. Vitesse d'écoulement	18
II. 3 La réfrigération	19
II.3.1. définition	19
II.3.2. les modes de réfrigération	19
II.4. Les fluides réfrigérants	21
II.4.1 Sélection des fluides frigorigènes	21
II.4.1.1 Critères de la sélection des fluides frigorigènes	21
II.5. les fluides réfrigérants naturel	24
CHAPITRE III	
GPL, BUTANE ET LE PROPANE	
III.1. GPL (gaz pétrole liquéfier)	29
III.1.1. Introduction	29
III.1.2. Historique des GPL	29
III.1.3. Définition des GPL	30
III.1.4. Les propriétés des GPL	31
III.1.5. Caractéristiques de GPL	32
III.1.5. 1 Le pouvoir calorifique des GPL	32
III.1.6. Utilisations	33
III.1.6.1 Le GPL	34
III.1.6.2 Le GPL dans la pétrochimie	34
III.1.6.3 Le GPL dans la production d'électricité	35

III.1.6.4 Le GPL dans les ménages	35
III.1.6.5 Le GPL dans la climatisation	35
III.1.6.6 Le GPL dans L’agriculture	35
III.1.7 Les avantages et les inconvénients techniques des GPL	36
III.1.8. I Les sources des GPL	36
III.1.9 Toxicité de GPL	36
III.1.10.Le GPL dans le monde	36
III.1.10.1. La production mondiale en GPL	37
III.1.10.2 La consommation mondiale en GPL	37
III.1.11. Les GPL en Algérie	37
I.12. La consommation nationale en GPL	37
III.2.Propane	38
III.2.1. Définition	38
III.2.3. utilisations de propane	39
III.2.4.Caractéristiques physico-chimiques de propane	40
III.2.5. production mondial de propane	40
III.2.6. consommation mondial de propane	41
III.2.7. A avantages et Inconvénients	42
III.3.Butane	42
III.3.1. définition	42
III.3.2. propriétés de butane	42
III.3.3. Caractéristiques de butane	43
III.3.4. utilisations de butane	43
III.3.4. utilisations de butane	44
III.3.5. production mondial de butane	45
III.3.6. Avantages et Inconvénients de butane	45
III.4. comparaison entre propane –Butane- GPL	46
III.4.1. d’inférence entre propane –Butane	46
III.4.2. Différence entre propane –GPL et butane	47
CHAPITRE IV SIMULATION PAR HYSYS	
IV.1.introduction	49
IV.2 simulation	49

Sommaire

IV.3 le choix du modèle thermodynamique	50
IV.4 modèle et simulation	51
IV.5. Simulation par HYSYS:	52
IV.5.1. Pour le cas du propane	53
IV.5.2. Pour le butane	55
IV.5.3. Pour le GPL	58
IV.6. Résultats de la simulation	58
IV.6.1. Pour le gaz à refroidi	60
IV.6.2. Pour le fluide réfrigérant cas du propane	62
IV.6.3. Le propane à la sortie de l'échangeur	64
IV.6.4. Pour le fluide réfrigérant cas du butane	66
IV.6.5. Le butane à la sortie de l'échangeur	68
IV.6.6. Pour le fluide réfrigérant cas du GPL	69
IV.6.7. Le GPL à la sortie de l'échangeur	71
IV.7. Le choix entre les trois réfrigérants	72
Conclusion	74
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

Liste des figures

Titre	Page
Figure. I.1. Répartition des réserves de gaz naturel en 2006.	9
Figure. I.2. Consommation de gaz naturel de 1965 à 2006.	10
Figure. I.3. Consommation moyenne annuelle par personne de gaz naturel en équivalent tonne de pétrole.	11
Figure. I.4. Demande en gaz en Algérie pour la période 2006-2015 en millions de m ³ .	13
Figure. II.1. système de réfrigération .	24
Figure III.1.: Évolution de la production mondiale des GPL par région (2000-2012).	36
Figure III.2 : Évolution de la demande mondiale des GPL par région (2000).	37
Figure.III.3. La demande nationale du GPL.	38
FigureIII.4. production mondial de propane 2014-2025.	41
FigureIII.5. consommation mondial de propane.	41
FigureIII.6. production mondial de butane 2014-2025.	45

Liste des tableaux

Titre	page
Tableau III.1: Comparaison de pouvoir calorifique entre les GPL et l'essence.	32
Tableau III.2: Comparaison entre le pouvoir calorifique de GPL et celui de l'essence	33
Tableau III.3. Caractéristiques physico-chimiques de propane.	40
Tableau III.4. Propriétés physico – chimique de butane.	43
Tableau.III.5. caractéristique de butane	44
Tableau IV.1. Les caractéristiques du gaz à refroidi	52
Tableau. IV.2. Composition du gaz à refroidi	52
Tableau IV.3. Conditions opératoires cas du propane	53
Tableau .IV.4. Composition du fluide réfrigérant cas du propane	54
Tableau.IV.5. Conditions opératoires cas du butane	54
Tableau.IV.6. Composition du butane	55
Tableau.IV.7. Conditions opératoires cas du GPL	56
Tableau.IV.8. Composition du GPL	56
TableauIV.9. Conduction du gaz a refroidi	58

Tableau.VI.10. Suite des propriétés du gaz à refroidi	58
Tableau. IV.11. Les paramètres du gaz à la sortie de l'échangeur.	60
Tableau.VI.12. Caractéristiques du fluide réfrigérant cas du propane	61
Tableau.VI.13. Suite : conditions du propane.	61
Tableau. IV.14. Caractéristiques de propane après la réfrigération	62
Tableau IV.15. Puissance de l'échangeur le fluide réfrigérant est le propane	63
Tableau. IV.16. Caractéristiques des fluide réfrigérant cas du butane	63
Tableau. IV.17. Propriété du fluide réfrigérant cas du butane	64
Tableau. IV.18. Les conditions du butane à la sortie de l'échangeur.	65
Tableau. IV.19. Puissance de l'échangeur, le fluide réfrigérant est le butane.	66
Tableau. IV.20. Les caractéristiques du GPL réfrigérant.	67
Tableau. IV.21. Propriétés du GPL à la sortie de l'échangeur	68
Tableau.VI.22. Suite : Propeties du GPL à la sortie de l'échangeur	69
Tableau. IV.23. Puissance de l'échangeur, le fluide réfrigérant est GPL	70

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Parallèlement au pétrole, l'énergie gazière occupe une place très importante dans le Marché mondial grâce à ses réserves importantes. Vue sa propreté et sa souplesse d'utilisation, elle dispose d'atouts certains pour devenir une importante source d'énergie et occuper ainsi une place d'avant-garde dans la satisfaction du besoin énergétique mondial.

Le traitement du gaz consiste généralement à retirer certains constituants présents dans le gaz brut à la sortie du puits de production, pour le rendre compatible avec les Spécifications requises pour les opérations de transport et de commercialisation.

On utilise pendant le cours de cette opération des réfrigérant pour assurer la réfrigération de gaz parmi lesquelles l'eau, le CO₂ et des autres gazes utilisables comme des courant réfrigérants.

L'objectif visé à travers ce travail est de procéder à une étude comparative entre les trois fluides propane et butane et GPL comme réfrigérants du gaz naturel.

On va partager cette œuvre en quatre chapitre comme suivant :

- Dans le premier chapitre parlerons en générale sur le gaz naturel, les définitions et les caractéristiques et les procédures de traitement...ect.
- Dans le deuxième chapitre aborderons les différents types de réfrigérants naturelles et artificiels et discuterons généralement sur ce sujet.
- Pour le troisième chapitre aborderons en générale les trois réfrigérants mis en étude propane et butane et GPL ; définitions et caractéristiques et propriétés et la production mondiale ...ect.
- Au quatrième chapitre la mise en évidence de l'étude comparative entre propane, butane et GPL, comme réfrigérants en utilisant le programme HYSYS pour réaliserons une simulation que nous permette de choisir le meilleur réfrigérant entre les trois fluide précédents.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR LE GAZ NATUREL

I. Généralité sur le Gaz naturel

I.1.Définition du gaz naturel.

Le gaz naturel est une énergie primaire non renouvelable bien répartie dans le monde propre et de plus en plus utilisé .Dispose de nombreuses qualités: abondance relative, souplesse d'utilisation, qualités écologiques, prix compétitifs. La mise en œuvre de cette énergie repose sur la maîtrise technique de l'ensemble de la chaîne gazière, qui va de production, de traitement et de transport .Le gaz naturel, matière première de plus en plus recherchée tant pour des raisons d'environnement que d'efficacité, est désormais considéré comme une énergie de premier choix pour les 21^{ém} e siècle, en raison de sa disponibilité et de sa qualité d'énergie propre qui joue un rôle de plus en plus grand dans l'électricité.

Le gaz naturel est une énergie fossile comme l'huile ou le charbon présent naturellement dans des roches poreuses sous forme gazeuse. C'est un mélange dont le constituant principal, de 70% à 95% est de méthane (CH₄). Il est donc composé majoritairement d'hydrogène et de carbone, d'où son nom d'hydrocarbure.

Il est considéré comme un combustible plus propre et plus respectueux de l'environnement que la plupart des autres combustibles fossiles. Son avantage comparatif en matière d'environnement par rapport au charbon ou au pétrole réside dans le fait que les émissions de dioxyde de soufre sont négligeables et que les niveaux d'oxyde d'azote et de dioxyde de carbone sont plus faibles. Un plus grand recours à cette source d'énergie permettrait notamment de limiter les impacts négatifs sur l'environnement tels que : les pluies acides, la détérioration de la couche d'ozone ou les gaz à effet de serre.

Le gaz naturel est également une source d'énergie utilisée pour se chauffer et cuisiner, et il peut aussi servir à fabriquer des engrais, du combustible, de la peinture et de nombreux autres produits.

I.2. Composition du gaz naturel

Le constituant principal du gaz naturel est le méthane CH₄ et on peut le trouver en quantité extrêmement variable d'un gisement à un autre :

- Des hydrocarbures plus lourds que le méthane (de C₂ à C₈).
- Du dioxyde de soufre SO₂.
- Du sulfure d'hydrogène appelé aussi gaz acide H₂S.
- Du dioxyde de carbone CO₂.
- De l'azote N₂.
- Parfois de petites quantités d'Hélium (He) et de Mercure (Hg).

I.3. Caractéristiques du gaz naturel

Le gaz naturel est incolore, inodore, insipide, sans forme particulière et plus léger que l'air. Il se présente sous sa forme gazeuse au-delà de -161°C . Pour des raisons de sécurité, un parfum chimique, le mercaptan, qui lui donne une odeur d'œuf pourri, lui est souvent ajouté afin de permettre de détecter une fuite de gaz éventuelle.

Le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures légers comprenant du méthane, de l'éthane, du propane, des butanes et des pentanes. D'autres composés tels que le CO_2 , l'hélium, le sulfure d'hydrogène et l'azote peuvent également s'y trouver. Bien que la composition du gaz naturel varie, son composant principal est le méthane (au moins 90%). Il possède une structure d'hydrocarbure simple, composé d'un atome de carbone et de quatre atomes d'hydrogène (CH_4). Le méthane est extrêmement inflammable. Il brûle facilement et presque totalement et n'émet qu'une faible pollution. Le gaz naturel n'est ni corrosif, ni toxique, sa température de combustion est élevée et il possède un intervalle restreint d'inflammabilité, ce qui en fait un combustible fossile sûr comparé à d'autres sources d'énergie. En outre, en raison de sa densité de 0,60, inférieure à celle de l'air (1,00), le gaz naturel a tendance à s'élever et peut, par conséquent, disparaître facilement du site où il se trouve par n'importe quelle fissure.

I.3.1. Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique d'un combustible est la quantité de chaleur exprimée en KWh ou MJ, qui serait dégagée par la combustion complète d'un m^3 normal de gaz sec dans l'air à une pression absolue constante égale à 1,01325 bars, le gaz et l'air étant à une température initiale de 0°C , tous les produits de combustion étant ramenés à 0°C et une pression de 1,01325 bars. On distingue deux pouvoirs calorifiques :

Dans les conditions de production de ce gaz, il y'a une formation de phase liquide dans les conditions de surface et le gaz est moins concentré en méthane.

-Pouvoir calorifique supérieur PCS

C'est la quantité de chaleur (KWh ou MJ) qui serait dégagée par la combustion complète d'1 m^3 normal de gaz, l'eau formée pendant la combustion restant à l'état liquide, et les autres produits étant à l'état gazeux.

-Pouvoir calorifique inférieur PCI :

Il correspond à la chaleur dégagée par la combustion complète d'1 m^3 normal de gaz dont laquelle l'eau formée se transformerait en vapeur.

Le PCI se calcule en déduisant du PCS la chaleur latente de vaporisation (2511 KJ/Kg) de l'eau au cours de la combustion.

$$\text{PCS} = \text{PCI} + \text{chaleur latente de vaporisation.}$$

I.3.2. Densité

La densité se définit par le rapport de sa masse volumique dans les conditions de références choisies (Ex : 1 atm et 15°C) à celle de l'air dans les mêmes conditions (1,225 Kg/m³).⁽³⁾

Elle peut aussi être obtenue à partir de sa masse moléculaire que l'on peut définir au moyen de sa composition chimique en utilisant la relation suivante :

Densité de gaz = masse moléculaire/ 28,97.

I.3.3. les types de gaz naturel

La présence et l'apparition d'une phase liquide avec le gaz selon les conditions de pression et de température dans le réservoir de gisement et en surface conduit, à distinguer :

a. Le gaz sec

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

b. Le gaz humide

Dans les conditions de production de ce gaz, il y'a une formation de phase liquide dans les conditions de surface et le gaz est moins concentré en méthane.

c. Le gaz à condensât

Dans les conditions de production de ce gaz, il y'a une formation de phase condensée riche en hydrocarbures lourds dans le réservoir.

d. Le gaz associé

C'est un gaz de couverture qui coexiste avec la phase d'huile dans les réservoirs d'huile (Gisement de pétrole).⁽⁴⁾

I.4. Techniques de traitement de gaz

I.4.1. Généralités sur le traitement

Le traitement de gaz naturel consiste à séparer totalement ou partiellement les constituants présents à la sortie du puits, tel que l'eau, les gaz acides et les hydrocarbures lourds.

Ce traitement a pour but d'amener le gaz à des spécifications commerciales ou de transports bien définies.

Les procédés de traitement du gaz sont multiples, et le choix de l'une d'elles est basé sur les critères suivants :

- Qualité de l'effluent brut.
- Taux de récupération des hydrocarbures lourds visé.
- Spécifications des puits.

- Coût global des investissements.

I.4.2. Les procédés de traitement du gaz naturel

Les principaux traitements qui sont effectués sur le gaz naturel brut se résument à :

-La première étape

permet de réaliser la séparation des fractions liquides éventuellement contenues dans l'effluent des puits, fractions liquides d'hydrocarbures (gaz associé ou à condensât) et l'eau libre.

-La seconde étape de traitements : dépend du mode de transport.

Le gaz naturel et ses fractions peuvent être transportés sous diverses formes :

- Gaz naturel comprimé.
- Gaz naturel liquéfié (GNL).
- Gaz pétrolier liquéfié (GPL).
- Produits chimiques dérivés (méthanol, ammoniac).

Chacune de ces filières apparaît comme une succession d'étapes et constitue une chaîne de traitement de gaz. 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 :

- H₂S: toxique et corrosif.
- CO₂ : corrosif et de valeur thermique nulle.
- Hg : 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.

I.4.3. Les techniques de traitement de gaz

Les procédés les plus utilisés sont : le procédé HUDSON et le procédé PRITCHARD.

Procédé PRITCHARD

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

-Procédé HUDSON:

Il est basé sur le refroidissement du gaz par échange thermique et complété par une détente à travers un TURBO-EXPANDER, qui permet d'atteindre un niveau de température inférieur à -43 C°.

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

Le gaz en provenance de la source productrice est un mélange (gaz et hydrocarbures liquides) contenant une faible proportion d'eau du gisement. Il se présente à une pression de 28 bars et une température de 56 C°.

-Procédés mixtes

Ils sont les plus performants car ils utilisent le Turbo-Expander, la vanne Joule Thomson et la Boucle de propane, où l'on atteint les (- 66 C°).

Les procédés mixtes sont plus performants du fait qu'ils permettent 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 140 bars et une température de (65 C°).

Remarque : le procédé mis en œuvre pour le champ de Rhourde-Nouss est le procédé HUDSON.

Et son principe de fonctionnement s'articule autour des quatre étapes :

a. Elimination de l'eau : L'eau libre contenue dans la charge est éliminée par décantation dans les premiers ballons.

b. Extraction des hydrocarbures liquides : Elle se fait par un abaissement progressif de température du gaz de charge, obtenant un gaz très sec répondant aux spécifications commerciales.

c. Compression du gaz : Le gaz doit être comprimé pour avoir la pression de ligne d'alimentation des puits réinjecteurs et d'assurer une pression suffisante pour l'alimentation de l'usine de GPL.(6)

I.5. Le gaz naturel dans le monde

La croissance spectaculaire de la population mondiale au courant du siècle dernier, le développement industriel et l'accélération de l'urbanisation se traduisent par une demande d'énergie en forte expansion. Notre planète comptera près de 8 milliards d'habitants en 2030, augmentation largement liée à la poussée démographique des pays en voie de développement. On parle d'un triplement de la demande énergétique entre 1970 et 2030.

I.5.1. Les réserves de gaz naturel

Les ressources de gaz naturel sont abondantes et très largement distribuées à travers le monde. On estime qu'une quantité significative de gaz naturel reste encore à découvrir.(7)

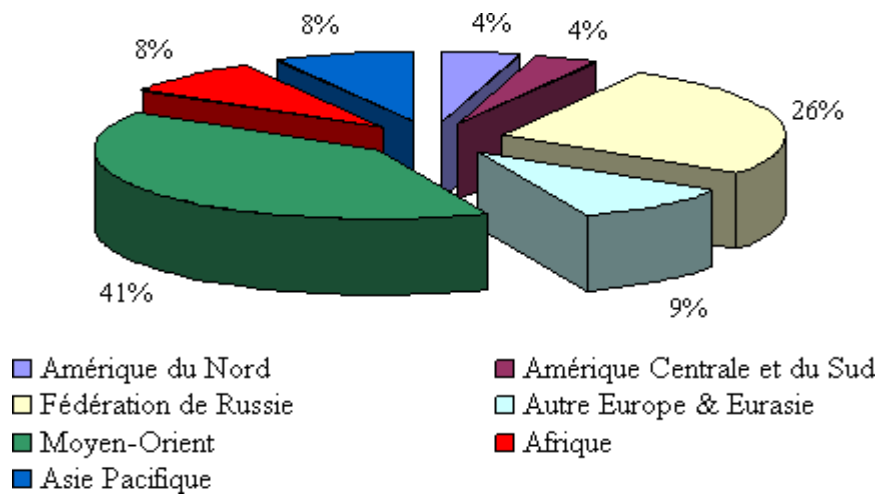


Figure. I.1.Répartition des réserves de gaz naturel en 2006.

Les réserves prouvées sont celles qui peuvent être produites avec la technologie actuelle.

Les pays de l'Ex Union soviétique et du Moyen-Orient se partagent plus de 70% des réserves mondiales de gaz naturel (respectivement 32% et 40% en 2006).

Les réserves mondiales de gaz naturel ont plus que doublé au cours des vingt dernières années et s'élevaient à 181.5 milliers de milliards de mètres cubes fin 2006.(7, 8).

I.5.1. Production de gaz naturel

Les principaux pays producteurs en 2006 étaient la Fédération de Russie et les États-Unis avec respectivement 21,3 % et 18.5% de la production mondiale. A noter que l'Amérique du Nord et l'ex Union soviétique ont produit 53.6% de la production globale en 2006. D'autres États affichent également une production notable. C'est le cas, par exemple, du Canada (6.5%), de l'Iran (3.7%), de la Norvège (3%), de l'Algérie (2.9%), du Royaume-Uni (2.8%), de l'Indonésie (2.6%), de l'Arabie Saoudite (2.6%) et des Pays-Bas (2.2%)*. Ces dix pays ont représenté ensemble les deux tiers de la production mondiale de gaz naturel en 2006. La production mondiale totale en 2006 était de 2865 milliards de mètres cubes en croissance de 3% par rapport à l'année précédente. Une croissance supérieure à la moyenne annuelle sur la période 1990-2006 (2.3%).(9, 10)

I.5.2. Consommation de gaz naturel

Le gaz naturel représente près du quart de la consommation énergétique mondiale. Comme le montre clairement le graphique ci-après, cette consommation a considérablement augmenté au cours des 40 dernières années.

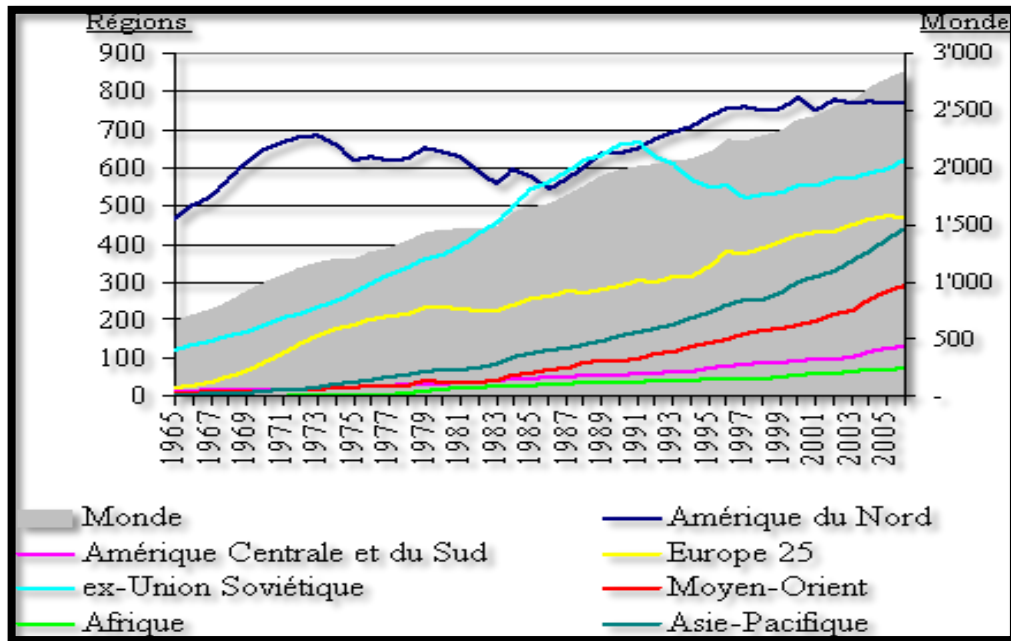


Figure. I.2. Consommation de gaz naturel de 1965 à 2006.

La consommation mondiale totale a représenté environ 2850 milliards de mètres cubes en 2006.

Les principaux pays consommateurs de gaz naturel en 2006 étaient les Etats-Unis avec 22% de la consommation totale et la Fédération de Russie, avec 15.1%. L'Amérique du Nord et l'ex Union soviétique ont consommé ensemble environ 49% du gaz naturel. La part de l'Europe (UE 25) dans la consommation totale de gaz naturel était de 16.3%. Ces trois zones ont compté à elles seules pour près des deux tiers de la consommation globale en 2006.

La croissance de la consommation a été de 2.5% entre 2005 et 2006, avec des taux plus élevés en Asie/Pacifique (6.5%) et en Afrique (5.5%).

Les principales agences énergétiques mondiales prévoient une progression importante de la demande à travers le monde au cours des vingt prochaines années, croissance qui devrait principalement avoir lieu au sein des pays en développement.

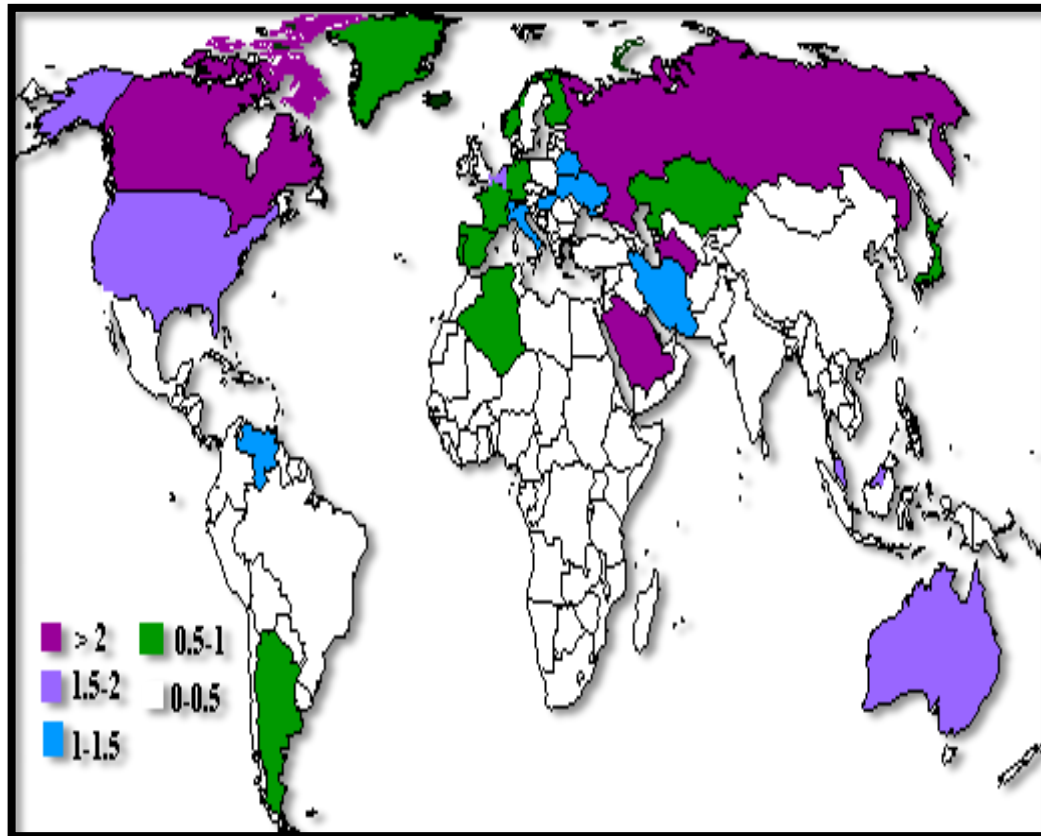


Figure. I.3. Consommation moyenne annuelle par personne de gaz naturel en équivalent tonne de pétrole.

I.6. Utilisation du gaz naturel

Le gaz naturel est une source d'énergie polyvalente qui peut être employée dans des domaines très variés. [3]

I.6.1. Utilisateurs domestiques

Le gaz naturel peut être utilisé pour cuisiner, laver, sécher, faire chauffer de l'eau, chauffer une maison (30 % de la consommation du gaz naturel au niveau mondial est destinée à ce secteur).

En outre, les appareils ménagers sont sans cesse améliorés afin de pouvoir être utilisés par le biais de gaz naturel, plus économique et plus sûr (les frais d'exploitation du matériel fonctionnant au gaz naturel sont généralement plus faibles que ceux liés à d'autres sources d'énergie).

I.6.2. Le secteur industriel

Le gaz naturel entre dans la fabrication de la pâte à papier, du papier, de certains métaux, produits chimiques, pierres, argile, verre et dans la transformation de certaines denrées. Il peut également être employé pour le recyclage des déchets, pour l'incinération, le séchage, la déshumidification, le chauffage et la climatisation.

I.6.3. Production d'électricité

Depuis une dizaine d'année, le secteur électrique est devenu le moteur principal de l'augmentation de l'utilisation du gaz naturel dans le monde, une tendance qui devrait se poursuivre.

En général, les centrales électriques fonctionnant au gaz naturel sont moins coûteuses, plus rapides à construire, plus productives et moins polluantes que des centrales utilisant d'autres combustibles fossiles. [3]

I.6.4. Industrie de l'automobile

Plusieurs millions de véhicules fonctionnant au gaz naturel circulent dans le monde (6366500 automobiles à travers le monde en juin 2007 selon l'Association internationale des véhicules au gaz naturel).

Les préoccupations relatives à la qualité de l'air dans la plupart des régions du monde renforcent l'intérêt pour le gaz naturel dans ce secteur. On estime que les voitures utilisant ce type de combustible émettent 20 % de gaz à effet de serre en moins que les véhicules à essence ou diesel [3-4].

I.7. Le gaz naturel en Algérie

I.7.1. La production de gaz en Algérie

L'Algérie est un pays traditionnellement fournisseur de gaz naturel à l'Europe depuis 1964, d'abord en Angleterre, puis en France, à travers les flux de GNL. Sonatrach joue un rôle important dans l'économie algérienne. Il convient de noter que la Sonatrach procure plus de 95% des recettes d'exportation du pays et qu'elle assure plus de 51 % des recettes budgétaires. La Sonatrach est classée comme étant la treizième compagnie pétrolière mondiale, deuxième exportateur en GNL et GPL, troisième en gaz naturel et premier exportateur de condensat. En 1973, presque 85 % de la production était constituée de pétrole brut. La part de pétrole brut représente actuellement à peine 25 % des exportations, le reste étant réalisé par le gaz naturel sous forme GNL, c'est-à-dire liquéfié, ou par gazoduc, le GPL, le condensat et les produits raffinés.

En 2003 l'Algérie a assuré une production brute de gaz naturel de 85 Milliards, y compris la consommation nationale ; en 2010 le volume des exportations sera de 85 Milliards de mètre cube et comme il y a des besoins de gaz en réinjection et en consommation locale, il y aura

donc une production de 117 milliards de mètres cubes et en 2020 de 172 milliards de mètres cubes.

L'Algérie a exporté la majorité de son gaz, soit un volume de 53 milliards de mètres cubes vers l'Europe en 2003, essentiellement vers l'Espagne, 26%, l'Italie, 45 %, et la France 17 %, et il y a bien sûr les autres pays tels que la Belgique, le Portugal, la Grèce, sans parler aussi de la Turquie, de la Slovénie, de la Tunisie et des États-Unis d'Amérique.

Actuellement l'Algérie exporte 62 milliards de m³/an de gaz naturel dont la moitié environ sous forme de GNL. A le horizon 2010, l'Algérie compte porter ses exportations totales de gaz à 82 milliards de m³, et davantage encore vers 2012 avec l'entrée en service de deux importants projets de production de GNL avec une capacité de 4,5 millions chacun.

I.7.2. La consommation de gaz en Algérie

Troisième exportateur mondial de gaz, l'Algérie fera face à une hausse importante de la demande intérieure de gaz en raison de la croissance soutenue de son économie.

En 2006, la consommation locale en gaz naturel est d'environ 17,43 milliards de mètres cubes répartis par type d'utilisation comme suit :

- Distribution publique : 4,32 milliards de m³ (hausse de 9,7% par rapport à 2005).
- Clients industriels : 2,62 milliards m³ (hausse de 2,6% par rapport à 2005).
- Centrales électriques : 10,50 milliards de m³ (hausse de 1,9% par rapport à 2005).

L'élévation de la demande prévisionnelle en GN pour la période 2006-2015 est représentée comme suit :

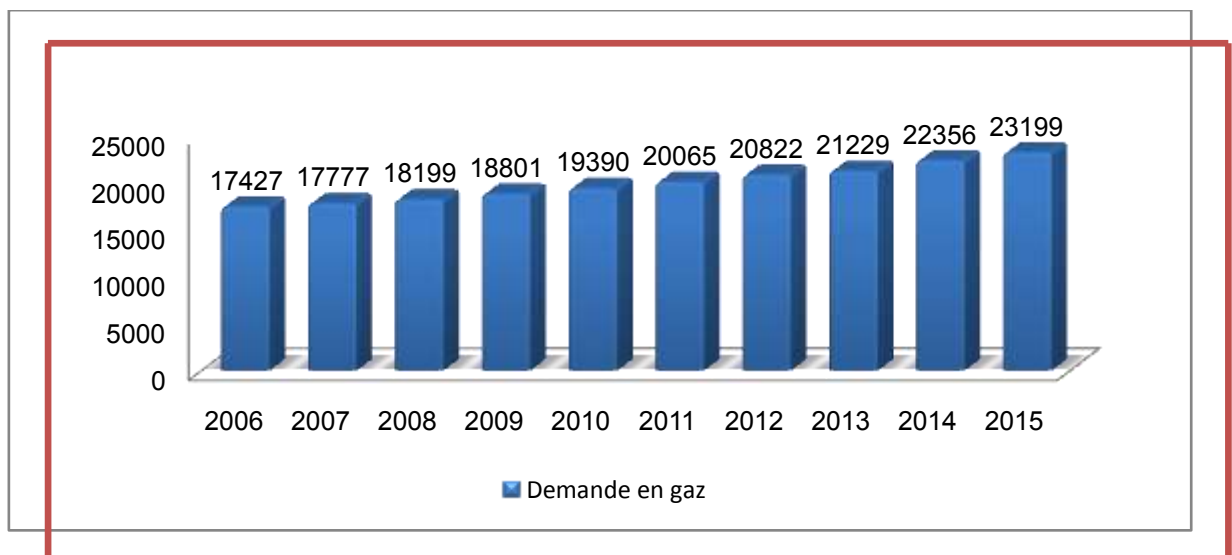


Figure. I.4. Demande en gaz en Algérie pour la période 2006-2015 en millions de m³.

I.7.3. Réserves algériennes en gaz naturel

Avec ses réserves en hydrocarbures, l'Algérie est un acteur incontournable du paysage pétrolier et gazier mondial, selon les experts du bureau d'expertise londonien Oxford Business Group, qui précisent qu'Alger doit jouer « un rôle moteur sur la scène internationale ». On note que l'Algérie a des réserves de pétrole évaluées à 11,8 milliards de barils et un volume de gaz naturel estimé à 4500 milliards de m³ qui représente 2,5% des réserves mondiales.

I.7.4. Investissements

L'Algérie dispose de deux grands gazoducs, le GME, le Gazoduc Maghreb-Europe et le gazoduc Transmed qui va vers l'Italie. Ces deux gazoducs passent respectivement par le Maroc et par la Tunisie.

Sonatrach envisage de construire deux autres gazoducs sous-marins, l'un qui s'appelle Medgaz qui va aller directement en Espagne et qui pourrait aller en Europe,

Notamment en France à travers les Pyrénées. L'autre gazoduc qui lui va passer par la Sardaigne, éventuellement avec des bretelles vers le continent, l'Italie du Centre, la Corse et éventuellement l'Europe continentale.

A ces deux nouveaux gazoducs, deux autres unités de GNL sont prévues dans le plan de développement de Sonatrach, l'une à Skikda et l'autre à Arzew. Les investissements attendus entre 2004 et 2008 sont de l'ordre de 24 Milliards de dollars, dont plus de 76 % dans l'amont, c'est-à-dire l'exploration production et la recherche.

Par ailleurs, un programme d'investissement de 30 milliards de dollars au minimum est prévu pour la période 2007-2011 en matière de recherche, de transport et de développement de gisements existants.

L'Algérie dispose aujourd'hui de dix méthaniers qui nous permettront justement de profiter de cette flexibilité nécessaire pour satisfaire la demande du marché du gaz dans le monde de manière générale et en Europe de manière particulière.

I 8. Avantages et inconvénients du gaz naturel

I .8.1. Avantages

- Le gaz naturel est une source d'énergie relativement propre.
- Le gaz naturel est une source d'énergie bon marché (le KWh de gaz naturel est environ deux fois moins cher que celui du fuel).
- Le gaz naturel possède un pouvoir calorifique raisonnable (PCS=10 kwh/Nm³).
- Le gaz naturel permet de produire de nombreux produits de base pour l'industrie chimique et pétrochimique , comme l'hydrogène, le méthanol et l'ammoniac.

➤ Il est mieux réparti à la surface du globe que le pétrole, lequel a ses réserves massivement concentrées dans les pays du moyen orient il contient de constituans mineurs produisant de la pollution locale (soufre, particules, métaux lourds, etc.) que le pétrole ou le charbon [35].

I .1.8.2.Inconvénient

- Les réserves du gaz naturel sont limitées.
- Le délicat stockage dugaz naturel.
- Le prix du gaz naturel est indexé sur celui du pétrole [35].

CHAPITRE II
GENERALITES SUR LES FLUIDES REFRIGERANTS

II.1. Définition d'un fluide :

Un fluide peut être considéré comme étant une substance formée d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. C'est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler. Les forces de cohésion entre particules élémentaires sont très faibles de sorte que le fluide est un corps sans forme propre qui prend la forme du récipient qui le contient. On insiste sur le fait qu'un fluide est supposé être un milieu continu (même si l'on choisit un très petit élément de volume, il sera toujours beaucoup plus grand que la dimension des molécules qui le constituent). Les fluides peuvent être classés en deux grandes familles, fluides newtoniens et fluides non newtoniens. [9]

II.1.1. Fluides newtoniens

Un fluide newtonien est un fluide dont la viscosité ne dépend pas des contraintes qui lui sont appliquées. Autrement dit sa viscosité ne varie pas quand on l'agite. Elle peut néanmoins dépendre d'autres facteurs tels que la température. Plus le fluide est chaud moins celui-ci est visqueux, car les molécules sont plus agitées et par conséquent les liaisons entre elles sont moins fortes. A l'inverse plus le fluide est froid, plus il se solidifie, car ses molécules se figent et leurs liaisons sont donc plus fortes. (Comme l'eau, l'air, le miel et la plupart des gaz...)[9]

II.1.2. Fluides non newtoniens :

Dans un fluide non-newtonien, la viscosité ne dépend pas seulement de la température mais aussi d'une contrainte appelée contrainte de cisaillement. La viscosité dépend aussi, chez certains types de fluides non newtoniens, de la durée pendant laquelle cette contrainte est appliquée. (Comme le sang, les gels, les boues, les pâtes, les suspensions, les émulsions...)on distingue plusieurs types de comportement non-newtonien :

- Fluides rhé fluidifiants.
- Fluides rhé épaississants.
- Fluides thixotropes.
- Fluides anti thixotropes ou réopères.
- Fluides de Bingham. [9]

II.2. Caractéristiques d'un fluide :

II.2.1. Masse volumique :

La masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume.

Elle est déterminée par le rapport :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Avec :

ρ : masse volumique [kgm^3]

m : masse du fluide [kg]

V : volume occupé par le fluide [m^3]

II.2.2. Viscosité :

La viscosité peut être définie comme l'ensemble des phénomènes de résistance à l'écoulement se produisant dans la masse d'une matière, pour un écoulement uniforme et sans turbulence. Plus le fluide est visqueux plus il s'écoule lentement, l'énergie dissipée par l'écoulement sera importante. [9]

❖ Viscosité dynamique :

La viscosité dynamique μ est une grandeur physique qui caractérise la résistance à l'écoulement laminaire d'un fluide incompressible, elle est le rapport de la contrainte de cisaillement au gradient de vitesse d'écoulement du fluide γ .

Donnée par :

$$\mu = \tau \gamma$$

μ :La viscosité dynamique

τ :la contrainte de cisaillement

γ : gradient de vitesse d'écoulement du fluide

❖ Viscosité cinématique :

La viscosité cinématique ν est le rapport de la viscosité dynamique μ et de la masse volumique ρ . Elle représente la capacité de conservation des particules du fluide et quantifie sa capacité à s'épancher.

Elle est donnée par la relation :

$$\nu = \mu \rho$$

Avec :

ν : viscosité cinématique [m^2s]

μ : viscosité dynamique [Pa.s]

ρ : masse volumique [kgm^3]

II.2.3. Vitesse d'écoulement :

La vitesse d'écoulement d'un fluide est la vitesse à laquelle il se déplace dans une conduite.

Elle est déterminée par la relation suivante :

$$V = QVS = 4QV\pi d^2$$

V : Vitesse moyenne d'écoulement [m/s].

Q_v : Débit volumique [m^3/s].

S :Section de la conduite [m^2].

D : diamètre de la conduite [m].

II. 3 La réfrigération :

II.3.1. définition :

La réfrigération est l'action de refroidir, et dans la pratique cela exige l'enlèvement d'une quantité de chaleur d'un milieu ou d'une substance et la transférer à un autre milieu de plus haute température afin de maintenir la température du milieu à refroidir au-dessous de celle de l'environnement. La réfrigération est par conséquent la science de transfert de chaleur d'un milieu de faible température vers un autre milieu de haute température. [33]

II.3.2. les modes de réfrigération:

➤ Réfrigération en circuit ouvert

Dans ce type de réfrigération, le produit à refroidir est mis en contact thermique direct ou indirect avec le fluide frigorigène (fluide frigorigène = fluide qui subit la transformation endothermique de production du froid) qui est ensuite évacué vers l'air libre sans être recyclé.

Les exemples les plus courants sont :

- l'azote liquide qui en se vaporisant (voire en se réchauffant) absorbe la chaleur d'un corps avant d'être rejetée à l'extérieur ;
- l'air détendu dans un tube de Ranque, par exemple, qui est envoyé sur la pièce à refroidir avant d'être rejeté à l'atmosphère ;
- la glace qui, grâce à sa chaleur de fusion, maintient la température d'une chambre frigorifique, l'eau produite étant ensuite rejetée.

Ce mode de réfrigération suppose un fluide non toxique et relativement peu coûteux. Son, avantage réside dans la simplicité du fonctionnement, le faible investissement et la souplesse de fonctionnement. Par contre les coûts de fonctionnement sont généralement élevés.

➤ Réfrigération en circuit fermé

Dans ce type de réfrigération, le produit à refroidir ne peut pas être mis en contact direct avec le fluide frigorigène. Celui-ci circule dans un circuit fermé qui constitue la machine frigorifique proprement dite. C'est le cas des machines à compression à l'intérieur desquelles le fluide frigorigène est successivement comprimé, condensé, détendu et vaporisé.

Le produit peut être refroidi :

- en contact avec les parois de l'évaporateur ;

- par l'intermédiaire d'un fluide secondaire (fluide frigoporteur ou frigorigène) qui assure le transport du "froid" entre l'évaporateur de la machine frigorifique et le produit à refroidir : ce fluide peut être de l'air comme c'est le cas dans les vitrines frigorifiques (qui assurent le maintien en température des produits alimentaires exposés) ; il peut être sous phase liquide comme c'est le cas

dans de nombreux procédés industriels dans lesquels l'équipement à refroidir ne peut accepter directement le fluide frigorigène ; pour des températures inférieures à 0°C, le fluide intermédiaire peut être une saumure (solution aqueuse de sels), un mélange d'eau et de glycol voire d'alcool ou une huile.

On désigne ce fluide intermédiaire par le terme fluide frigoporteur ou frigorigène.

L'avantage des procédés en circuit fermé est l'absence de pertes de fluide. Par contre, ils nécessitent des investissements relativement élevés et offrent une moindre souplesse de fonctionnement. Ils constituent le procédé le plus répandu.

➤ **La réfrigération naturelle**

Dans les pays tempérés il s'est avéré rapidement que les denrées périssables pouvaient être conservées dans des meilleures conditions l'hiver que l'été. L'utilisation du «froid naturel» s'est faite très tôt et aussi très longtemps puisqu'au début du 20ème siècle, le marché de la glace naturelle était encore plus important que celui de la glace artificielle, [34]. La glace produite naturellement, sans machines, était :

- ❖ soit issue, de façon permanente, de régions froides et transportée sur de longues distances [34];
- ❖ soit issue, de manière discontinue, des pièces d'eau des régions tempérées gelées par le froid hivernal. La glace produite est conservée dans des édifices isolés

➤ **La réfrigération artificielle**

Dès le 17ème siècle, la chaleur et le froid alimentèrent les réflexions des savants et philosophes comme Robert Boyle (1627-1691) en Angleterre et Mikhail Lomonossov (1711-1765) en Russie. Dans la même période, après les premiers travaux de Galilée, de très nombreuses études furent entreprises sur la thermométrie où s'illustrèrent Isaac Newton (1642-1727), Daniel Fahrenheit (1686-1736), Anders Celsius (1701-1744) qui créa, en 1742, l'échelle thermométrique centésimal, etc... [34].

William Cullen (1710-1790) observa que l'évaporation de l'éther éthylique en abaisse la température. Il obtint, en 1755, un peu de glace en faisant évaporer de l'eau sous une cloche à vide. Son disciple et successeur, l'écossais Joseph Black (1728-1799), établit bien la différence entre chaleur et température, et peut être considéré comme le fondateur de la calorimétrie, [34].

L'avancée des recherches dans ce domaine avec Laplace (1749-1827), Alexis Petit (1791-1820), Victor Regnault (1810-1878), etc.... Et les recherches sur les gaz au cours de 18ème et au début de 19ème siècle, menées par Boyle, Edme Mariotte (1620-1684), Gay-Lussac (1778-1850), Benjamin Thomson (1753-1814) et d'autres. Et les progrès remarquables dans la Thermodynamique avec Sadi Carnot (1796-1832), James Prescott Joule (1818-1889), Ludwig thermiquement afin d'être utilisée dans les périodes chaudes de l'année, Boltzmann (1844-1906), William Thomson (1824-1907) et plusieurs d'autres physiciens qui contribuèrent à l'extension de la Thermodynamique au cours du 20ème siècle, .

Toutes ces recherches prestigieuses ont contribué à la naissance et au développement de la réfrigération artificielle dont les procédés et les applications sont multiples[34].

II.4. Les fluides réfrigérants

Un fluide frigorigène (ou réfrigérant) est un fluide qui permet la mise en œuvre d'un cycle frigorifique. Il peut être pur ou être un mélange de fluides purs présents en phase liquide, gazeuse ou les deux à la fois en fonction de la température et de la pression de celui-ci. Le fluide absorbe la chaleur à basse température et basse pression, puis libère la chaleur à une température et une pression plus élevées, généralement par un changement d'état. Les fluides frigorigènes sont utilisés dans les systèmes de production de froid (climatisation, congélateur, réfrigérateur, etc.), comme dans les systèmes de production de chaud par pompes à chaleur. Ces mêmes fluides peuvent tout aussi bien se retrouver dans d'autres applications mettant en œuvre d'autres cycles thermodynamiques, tel que, par exemple, les turbines à vapeur, et perdent alors ou non, suivant le contexte, leur qualificatif de fluide frigorigène.[10]

II.4.1 Sélection des fluides frigorigènes

II.4.1.1 Critères de la sélection des fluides frigorigènes

Les critères permettant la sélection des fluides frigorigènes sont basés sur trois points essentiels:

➤ **Critères techniques :**

a) Propriétés thermodynamiques :

Le coefficient de performance est un aperçu de la variation de l'efficacité

Énergétique du système, la substitution du fluide peut être obtenue en comparant le coefficient de performance (COP) théorique des deux fluides. Cependant, il est important de noter que cette méthode ne tient pas compte de toutes les propriétés du réfrigérant ou de l'installation. Elle peut servir à une première approximation pour la comparaison entre différents fluides.

- La pression de condensation du fluide de substitution doit être supportée par le système (détendeur , conduites, etc...).
- La température critique du fluide doit être compatible avec les besoins en froid.
- La température de refoulement au compresseur doit être dans les limites tolérées par l'installation.

b) Sécurité :

On s'intéresse particulièrement à ce critère lorsque la machine frigorifique est située dans des locaux occupés par le grand public comme les installations frigorifiques utilisées dans l'industrie. Cela est divisé en deux points essentiels.

c) Toxicité:

Il s'agit de la toxicité du frigorigène par inhalation de ses vapeurs. La classification des fluides suivant leur toxicité peut être classée en deux groupes :

- ◆ Groupe A, peu toxiques: fluides dont la concentration moyenne est égale ou inférieur à 400 ml / m³.
- ◆ Groupe B, fortement toxiques: fluides dont la concentration moyenne est supérieur à 400 ml / m³.

Les valeurs de ces proportions acceptables peuvent différer, réglementairement, d'un pays à un autre.

d) Inflammabilité:

Des substances susceptibles de faire d'excellents frigorigènes, comme les hydrocarbures, ont été rejetés en raison de leur caractère combustible. Parmi les dérivés halogénés des hydrocarbures, ceux qui renferment encore suffisamment d'atomes d'hydrogène dans leurs molécules sont combustibles (le R32, la famille des R140, des R150, etc...). On évite donc l'utilisation de ces fluides purs, mais on les rencontre dans des mélanges frigorigènes, dilués avec des fluides incombustibles.

➤ **Critères économiques :**

-Prix du frigorigène et des lubrifiants associés

L'impact du point économique sur le choix du fluide, longtemps considéré comme mineur, voit actuellement son importance croître. L'ammoniac, beaucoup moins dense et beaucoup moins cher que les frigorigènes halogénés, est particulièrement économique mais son inflammabilité fait de lui un choix pas très intéressant. Le prix des lubrifiants associés aux frigorigènes est aussi à considérer. Les huiles polyol-esters (POE), imposées par les frigorigènes HFC et leurs mélanges, sont beaucoup plus chères que les huiles minérales acceptables avec les anciens frigorigènes.

➤ **Critères économiques :**

-Prix du frigorigène et des lubrifiants associés

L'impact du point économique sur le choix du fluide, longtemps considéré comme mineur, voit actuellement son importance croître. L'ammoniac, beaucoup moins dense et beaucoup moins cher que les frigorigènes halogénés, est particulièrement économique mais son inflammabilité fait de lui un choix pas très intéressant. Le prix des lubrifiants associés aux frigorigènes est aussi à considérer. Les huiles polyol-esters (POE), imposées par les frigorigènes HFC et leurs mélanges, sont beaucoup plus chères que les huiles minérales acceptables avec les anciens frigorigènes.

Le choix du fluide frigorigène influence directement ceux du compresseur et donc sur le prix de l'installation.

➤ **Critères écologiques :**

Jusqu'à un passé récent, l'industrie utilisait l'ammoniac, les chlorofluorocarbures totalement halogénés (CFC) ou partiellement halogénés (HCFC) ainsi que l'eau qui est notamment le fluide frigorigène des machines à absorption pour la climatisation. Or, les contraintes d'environnement ont conduit à des changements importants des règles de sélection.

Pour la sélection d'un fluide frigorigène vient s'ajouter de nouvelles contraintes liées à l'environnement ; parmi lesquels, nous citerons que, l'ODP, le GWP.

a) ODP (Ozone Déplétion Potentiel) : Le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone d'un réfrigérant est représenté par sa valeur ODP. Cette valeur est définie par rapport à l'impact du R11, qui sert, par convention, de fluide de référence (ODP du R11 =1) et rend compte de l'impact de l'émission d'un kg de fluide frigorigène comparé à l'impact de l'émission d'un kg de R11. Plus la valeur d'un fluide est réduite, moins son potentiel d'appauvrissement est grand.

b) GWP (Global Warming Potentiel) : Le GWP décrit le potentiel du réfrigérant sur l'effet de serre. Conventionnellement, la valeur GWP d'une substance est définie par rapport à l'impact du CO₂ (GWP du CO₂ = 1) et ce, généralement, sur une période de 100 ans.

Le GWP 100 donne la quantité de CO₂ qui aurait un effet équivalent, sur l'effet de serre, à l'émission d'un kg de fluide (à un horizon de 100 ans). En effet la durée de vie d'un fluide halogéné est très longue et il faut intégrer son effet sur une durée longue. [36]

II.5.les fluides réfrigérants naturel

On utilise de plus en plus le fluide frigorigène naturel dans les systèmes de réfrigération et de climatisation aujourd'hui. Et pour cause, l'interdiction des hydrocarbures halogénés CFC et HCFC. Leurs impacts environnementaux sont énormes. Les HFC et les fluides frigorigènes naturels émergent petit à petit, car ils sont moins nocifs pour l'environnement. Ils sont étudiés pour s'adapter aux installations thermodynamiques de réfrigération, de climatisation ou de pompe à chaleur.

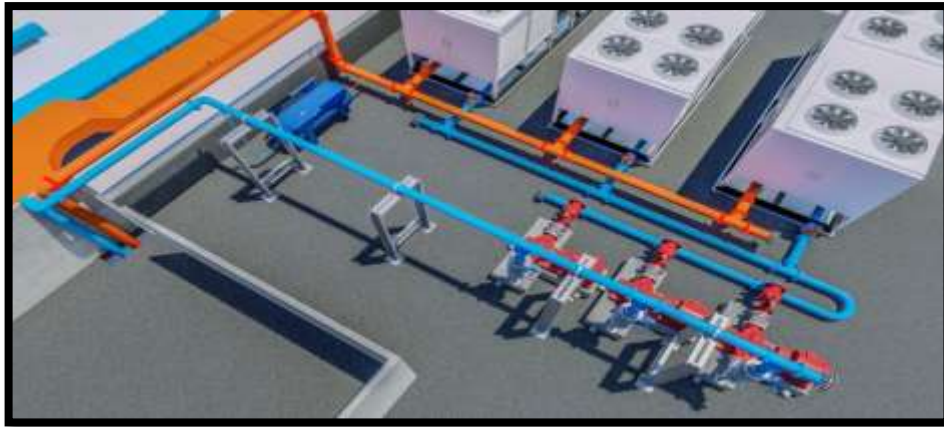


Figure II.1. système de réfrigération .

❖ **L'intérêt des fluides frigorigènes naturels**

Depuis 2015, les réglementations en Europe (F-Gaz) imposent l'utilisation des fluides réfrigérants à bas pouvoir de réchauffement global ou PRG (GWP en anglais). Comme les CFC et HCFC possèdent les GWP les plus élevés, on les a remplacé par les HFC et les HFO. Toutefois, ces derniers restent de simples réfrigérants de transition. À terme, la F-Gaz vise leur remplacement par les réfrigérants naturels.

Les fluides frigorigènes naturels sont les substances inorganiques pures comme l'eau, l'ammoniac et le dioxyde carbone. Aussi, on classe certains hydrocarbures à bas GWP parmi les réfrigérants naturels. Ils sont les plus proches de l'exigence de la F-Gaz. En prime, leur efficacité énergétique et leur puissance frigorifique sont plus élevées comparées aux HFC. On les voit, à l'heure actuelle, comme la solution green pour réduire l'empreinte carbone de l'équipement de congélation.

Plusieurs critères déterminent les performances d'un fluide réfrigérant. À savoir:

- sa température d'évaporation,
- le niveau de pression requis pour atteindre le changement d'état physique,
- la quantité d'énergie absorbée.

Par rapport à ces propriétés, les fluides frigorigènes naturels peuvent s'avérer plus ou moins performants selon le domaine d'application.

Les fluides frigorigènes naturels et leur application

Concrètement, quels sont les différents fluides naturels ?

✓ **L'eau ou R718**

L'eau appartient à la famille des fluides inorganiques. Elle n'est donc pas toxique. Son potentiel thermodynamique est important. Malgré tout, elle ne permet pas encore la production de froid en dessous de 0 °C. Elle n'est pas exploitable dans les cycles de compression. Rares sont les domaines où on l'utilise en tant que fluide frigorigène.

✓ **Le CO2 ou R744**

Avec un GWP =1, le dioxyde de carbone est un fluide frigorigène qui suscite beaucoup l'intérêt dans le monde de la réfrigération et de la climatisation. Il est ininflammable, non toxique et peu coûteux. Il présente aussi des performances intéressantes malgré quelques contraintes. Une pression élevée, allant au-delà de 100 bars, est nécessaire pour le faire fonctionner dans la production de froid. Cela implique forcément l'utilisation de composants adaptés pour des raisons de sécurité. Le CO2 reste également peu performant dans un climat chaud. En ce moment, il est plus utilisé dans les processus de réfrigération, notamment dans les procédés agroalimentaires et la production de froid négatif.

Les domaines d'application préconisés : commerce alimentaire, pompes à chaleur, réfrigération industrielle, refroidissement d'équipements électroniques, etc.

✓ **L'ammoniac (NH3 ou R717)**

L'ammoniac est un fluide de type B2L, c'est-à-dire toxique et légèrement inflammable. Il a de meilleures propriétés de transfert de chaleur et s'avère très économe en énergie. Son GWP est égal à zéro, ce qui en fait un fluide frigorigène très écologique. Les coûts de l'ammoniac et de son exploitation sont moins élevés comparés à ceux des HFC. Cependant, son utilisation demande de se soumettre à des réglementations et à des normes de sécurité très strictes. Le domaine d'application de ce fluide frigorigène naturel reste pour le moment les installations industrielles.

Pour vous conformer aux réglementations, Friga-Bohn vous propose des produits frigorigènes innovants, pensés pour s'adapter aux fluides frigorigènes naturels.

Contactez ce grand spécialiste de la réfrigération pour bénéficier d'équipements répondant à la fois aux normes en vigueur et à vos besoins spécifiques.[37]

✓ **Les hydrocarbures**

Dans la liste des **fluides frigorigènes naturels**, on peut citer le propane ou R290, le butane R600a et l'isobutane R600 et GPL. Ils sont connus pour leurs propriétés thermodynamiques excellentes. Malheureusement, ces fluides réfrigérants s'avèrent extrêmement inflammables. Un circuit frigorifique ne doit, par exemple, pas utiliser plus de 150 grammes de propane. Ces hydrocarbures sont majoritairement utilisés dans le secteur industriel.

Les domaines d'application préconisés : petits systèmes et refroidissements, refroidisseurs de systèmes de commerce d'alimentation, conditionnement d'air de bâtiment, etc.[37]

✓ **propane ou R290**

Propane ou R290 est un fluide naturel utilisé comme réfrigérant dans des réfrigérations domestiques ou encore des appareils de réfrigération commerciale et de traitement des gaz .

Le R-290 est un hydrocarbure, classé inflammable, utilisé en remplacement du R-22. Consulter la norme EN-378 pour ses conditions d'utilisation en application froid faible GWP, son impact sur l'environnement est faible.

Référence ASHRAE : R 290.

Propane.

Caractéristiques techniques R290

- Potentiel de Réchauffement Global (GWP) : 3
- Classement de sécurité : A3

Applications de propane R290

Fluide naturel utilisé essentiellement dans des petites installations frigorifiques et frètement de gaz dans les raffineries.

✓ **Butane- R600a**

Le butane, ou R-600a, est un hydrocarbure utilisé dans certains équipements de réfrigération, comme les réfrigérateurs domestiques ou les petits appareils de réfrigération commerciale. Le R-600a a une capacité volumétrique inférieure de 50 % à celle du R-12 ou du R-134a, il ne peut donc pas être considéré comme un substitut de ces derniers. Il est très important, lorsque l'on travaille avec des réfrigérants de type hydrocarbure, qu'ils soient d'une grande pureté, car toute proportion avec d'autres impuretés, comme les sulfures, l'eau, etc., peut contribuer à la dégradation des huiles de lubrification de l'installation, à une panne des compresseurs, etc. Par ailleurs, si l'hydrocarbure n'est pas de grande pureté, il arrive parfois que d'autres hydrocarbures y soient mélangés, ce qui peut modifier considérablement les propriétés physiques et thermodynamiques de l'hydrocarbure d'origine.

L'isobutane utilisé dans les applications de réfrigération n'étant pas odorisé comme les produits domestiques (l'hydrocarbure domestique est odorisé afin d'être rapidement détectable en cas de fuite), il n'est pas facilement détectable en cas de fuite Le butane utilisé dans les applications de réfrigération n'étant pas odorisé comme les produits domestiques (l'hydrocarbure domestique est odorisé afin d'être rapidement détectable en cas de fuite), il n'est pas facilement détectable en cas de fuite Presque tous les élastomères et plastomères que l'on peut trouver dans les systèmes de réfrigération sont

Compatibles avec les hydrocarbures. Les matériaux à éviter, car ils sont incompatibles avec eux, sont le caoutchouc EPDM, les caoutchoucs naturels et les silicones alors on peut l'utiliser comme réfrigérant en traitement de gaz.

CHAPITRE III
GPL, BUTANE ET LE PROPANE

III.1. GPL (gaz pétrole liquéfier)

III.1.1. Introduction :

Le Butane et le Propane, appelés couramment « GPL » sont des gaz de Pétrole Liquéfiés. ILS 'agit de dérivés du pétrole et/ou du gaz naturel. L'appellation « Gaz de Pétrole Liquéfiés » est exclusivement réservée au Propane et au Butane, car ils sont les seuls à être gazeux à pression et température ambiante (1,013 bar et 15°C) et à se laisser liquéfier sous faible pression (respectivement à 7,5 et 1,5 bar). Ceci, présente l'intérêt de stocker une importante quantité d'énergie, dans un volume réduit, ce qui permet de le transporter plus facilement que pour les gaz non condensables (méthane, éthane) qui exigent des pressions très élevées et le commercialiser aisément dans les bouteilles en acier puisqu'il est gazéifié au moment de son utilisation.

L'utilisation des GPL présente des avantages par rapport au diesel en permettant de réduire :

- ✓ 50% des émissions d'oxyde d'azote.
- ✓ 60% des monoxydes de carbone.
- ✓ 90% hydrocarbures et particules[11].

III.1.2. Historique des GPL

Les secteurs du pétrole et du gaz n'ont développé que tardivement l'industrie des GPL, les gaz butane et propane. Leur histoire débute avec celle du XXe siècle. Au tout début de la production d'essence, un des problèmes rencontrés était la rapide évaporation du produit une fois stocké. En 1911, un chimiste américain, Walter Snelling, démontra que la présence de propane et de butane dans l'essence était à l'origine de l'évaporation. Il développa rapidement une méthode pour séparer ces gaz de l'essence.

La première production de GPL pour leur utilisation remonte aux années 20 et il faut attendre les années 50 pour les échanges commerciaux d'envergure. L'utilisation des GPL n'a vraiment commencé que dans les années 40. Dès 1932, une grande compagnie pétrolière introduisit les GPL en France. En 1938, une importante compagnie gazière fait construire une usine de remplissage de bouteilles de gaz en Italie, près de Venise. Mais la guerre mit un frein à ces premiers développements.

Au début des années 50, des entreprises remplissaient des bouteilles de GPL à usage domestique en les commercialisant sous licence chez des revendeurs. La croissance à de pair avec les capacités de raffinage. Capacités qui furent augmentées dans les années 60 alors que de nouvelles raffineries étaient construites et que le fuel remplaçait le charbon comme combustible industriel. Les ventes de GPL en Europe passèrent de 300 000 tonnes en 1950 à 3.000.000 de tonnes en 1960 puis à 11 millions en 1970.

Avant les années 70, la commercialisation du GPL était essentiellement une activité régionale, chaque secteur géographique ayant ses propres structures de prix, expéditions, acheteurs et vendeurs. La première transaction d'envergure eut lieu dans les années 1950, des Etats-Unis vers l'Amérique du Sud. La crise pétrolière de 1973 a marqué un tournant. Après avoir réalisé que les exportations de GPL pourraient générer un important retour sur investissement, de nombreux pays pétroliers construisirent les infrastructures pour les GPL. L'expansion de la capacité de production de GPL au Moyen-Orient au cours de la décennie 1975- 1985 fut réellement impressionnante – passant d'un total de 6 millions de tonnes de capacité existante en 1975 à 17 millions en 1980 et 30 millions en 1985. Le Moyen-Orient ne fut pas la seule région d'implantation d'usines GPL. L'Australie, l'Indonésie, l'Algérie, la mer du Nord, et le Venezuela représentaient également de nouvelles sources d'approvisionnement. Les années 1980 se révélèrent être une période d'expansion considérable des exportations de GPL dans le monde. Le marché des GPL devint véritablement international à cette époque. Les producteurs avaient besoin d'acheteurs, qu'ils soient en Asie, en Europe, aux États-Unis ou en Amérique du Sud. Les nouveaux volumes à l'exportation devaient trouver de nouveaux débouchés [12].

III.1.3. Définition des GPL

GPL est une mixture gazeuse composé principalement de butane et du propane à température ambiante et pression atmosphérique, et peut passer à l'état liquide sous les conditions suivantes :

- ❖ Pression relevée à la température ambiante.
- ❖ Pression atmosphérique et basse température.
- ❖ Pression modérée et température pas tellement basse.

Cette qualité lui permet d'être stocké dans un volume réduit (**250 litres** de GPL gazeux égale à un litre de GPL liquide).

La composition des GPL est variable selon les normes et ses utilisations dans différents pays. Il peut contenir ; le propylène, butène, une faible quantité de méthane, éthylène, pentane, exceptionnellement des hydrocarbures comme le butadiène, l'acétylène et le méthylacrylique.[13]

III.1.4. Les propriétés 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 diéthylmercaptane ou le diméthylsulfide pour des raisons de sécurité.

➤ Tension de vapeur

La TVR du GPL est de 8 et 2 bars pour le propane et le butane respectivement à 20 °C. [9]

➤ -Dilatation

À l'état liquide, le GPL a un haut coefficient de dilatation dont il faut tenir compte lors du leur stockage (les sphères ne doivent jamais être complètement remplies). [14]

➤ 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 d'exemple : À 38 °C la densité est égale 0,534, la densité est très importante dans le GPL commercial.

➤ Température d'ébullition

A la pression atmosphérique la température d'ébullition de propane est de (- 42 °C), celle de butane est de (- 6 °C). [9]

➤ Pouvoir calorifique

C'est la propriété la plus intéressante étant donné que le GPL est traditionnellement utilisé pour les besoins domestiques [9] :

- 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).

Les GPL sont incolores, que ce soit en phase liquide ou en phase gazeuse. Les 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. [15]

Le GPL lorsqu'il se répand sous sa forme, hors d'un container sous pression produisant du froid: au contact de la peau, il provoque des brûlures 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 lubrifiantes 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. [14]

III.1.5. Caractéristiques de GPL

En général, les particularités physico-chimiques des GPL (courbe de distillation, tension de vapeur, poids spécifique, pouvoir calorifique, rendement dans les moteurs, etc.) dépendent de leur teneur en divers hydrocarbures. [16]

III.1.5. 1 Le pouvoir calorifique des GPL

Le pouvoir calorifique des GPL est pratiquement égal à celui de l'essence, si on l'exprime en kilocalories par kilogramme de carburant, mais ces valeurs seront très différentes si elles sont exprimées en kilocalories par litre de carburant liquide à 15°C (**voir tableau III.1**). Cette diversité provient de la différence des densités entre le GPL et l'essence. En moyenne, la densité à 15°C des GPL est de 0,555 kg/litre et celle de l'essence de 0,730 kg/litre. Un moteur alimenté avec l'essence développe une puissance supérieure de 10 à 12%. L'augmentation du rendement global des GPL par rapport à l'essence peut s'expliquer par une meilleure combustion due à une plus grande homogénéité du mélange gaz.

Tableau III.1: Comparaison de pouvoir calorifique entre les GPL et l'essence [17]

<i>Pouvoir Calorifique</i>	<i>Essence</i>	<i>GPL</i>
<i>Pouvoir calorifique supérieur (kcal/kg)</i>	11300	11850
<i>Pouvoir calorifique inférieur (kcal/kg)</i>	10500	11000
<i>Pouvoir calorifique supérieur (kcal/litre)</i>	8200	6480
<i>Pouvoir calorifique inférieur (kcal/litre)</i>	7600	6050

III.1.6. Utilisations.

Il constitue un produit exceptionnel sur le plan de la préservation de la qualité de l'air. Il ne contient ni soufre, ni benzène, ni d'autres substances toxiques. Le pouvoir calorifique du GPL est pratiquement égal à celui de l'essence, si on l'exprime en kilocalories par kilogramme de carburant (kcal/kg), mais ces valeurs seront très différentes si elles sont

exprimées en kilocalories par litre de carburant liquide à 15°C ; cette diversité provient de la différence des densités entre le GPL et l'essence. En moyenne, la masse volumique à 15°C d'un GPL est de 0,555 Kg/litre. Le GPL est caractérisé par un indice d'octane recherche (RON) naturellement élevé atteignant aisément 98. Cette propriété découle en fait directement 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. Le GPL est stocké dans le réservoir à une pression comprise entre 8 et 10 bars. Comparaison entre le pouvoir calorifique de GPL et celui de l'essence :

Les gaz butane, propane, et le GPL, représentent une source d'énergie exceptionnelle en raison de leurs origines, de leurs caractéristiques et de leurs applications. En tant qu'énergie moins polluante, faiblement émettrice de CO₂, performante et novatrice, le GPL offre de nombreux avantages pour les consommateurs et les secteurs professionnels comme pour l'environnement. Avec une disponibilité immédiate et en tous points du globe des atouts environnementaux du fait qu'ils produisent moins de gaz à effet de serre que l'essence, le gasoil et l'électricité d'origine thermique, stockables, faciles à transporter présentant une variété d'usages, chose qui leur procure une accessibilité les rendant indispensables pour des centaines de millions de personnes dans le monde d'aujourd'hui, le GPL permet d'assurer et de contribuer, sans délai, à un modèle énergétique durable, compétitif et plus sûr.

III.1.6.1. Le GPL

A. Définition

Le GPL est utilisé comme carburant automobile depuis des décennies

Tableau III.2: Comparaison entre le pouvoir calorifique de GPL et celui de l'essence

Pouvoir calorifique	GPL	Essence
Pouvoir calorifique supérieur (Kcal/ kg)	11300	11850
Pouvoir calorifique inférieur (Kcal/kg)	10500	11000
Pouvoir calorifique supérieur (Kcal/L)	8200	6480
Pouvoir calorifique inférieur (kcal/L)	7600	6050

B. Les avantages techniques du GPL carburant sont :

-Homogénéité du mélange air- GPL donnant une meilleure régularité du couple moteur aux bas régimes mais perd environ 5% de puissance à haut régime, les reprises se font plus souples. Le fonctionnement du moteur est plus silencieux et les vibrations diminuent.

- Contrairement aux carburants classiques, la combustion du GPL ne laisse aucun dépôt et procure au moteur et au lubrifiant une longévité accrue. Les révisions peuvent être espacées tous les 30 000 km.

-Le GPL carburant répond bien aux problèmes de pollution des villes. Il existe un inconvénient majeur à l'encombrement, le réservoir peut amputer le volume du coffre. Toutefois les constructeurs proposent dès la conception de leurs modèles une version GPL avec réservoir intégré.

III.1.6.2 Le GPL dans la pétrochimie

La demande pétrochimique globale du GPL enregistre un taux de croissance de l'ordre de 10%. Il est utilisé dans ce domaine comme charge de vapocraqueur à fin d'obtenir des oléfines. Le butane et le propane obtenus par la séparation du GPL sont utilisés pour la déshydrogénation dans la production de butadiène et de propylène qui vont servir comme matière première pour la synthèse des caoutchoucs. Le propane est oxydé en acétaldéhyde, formaldéhyde, acide acétique et acétone... Le propylène est actuellement la matière première pour la fabrication de nombreuses substances tel que le polypropylène, l'alcool isopropylique, et l'isopropylbenzène servant de base à la production de glycérine et de l'épichlorhydrine, des tétramères de propylène pour les détergents, le méthyle styrène, l'oxyde de propylène l'acroléine, l'alcool amylique ...

Le n-butane est utilisé pour la production de plusieurs oléfines, tel que l'éthylène, propylène, divers butylènes ou bien acétylène et butadiène, le n butane s'oxyde en donnant l'acétaldéhyde, l'acide acétique, le formaldéhyde, l'acétone etc. L'isobutane intervient dans de nombreuses alcoylations, qui se produisent lors de la préparation des supercarburants à indice d'octane élevé. Le butylène joue un rôle très important dans la synthèse des caoutchoucs. Le polyisobutylène à bas et à haut point moléculaire est utilisé comme épaisseurs des huiles de garnissage et pour d'autres buts. [9]

III.1.6.3 Le GPL dans la production d'électricité

Il est utilisé pour la génération d'électricité, il pourrait être important si les conditions de nature économique venaient à être favorables, les marchés ciblés à cet effet sont attractifs pour le GPL. La production d'électricité en Algérie est effectuée uniquement par le gaz naturel, les GPL ne sont pas introduits jusqu' ici dans la génération d'électricité.

III.1.6.4 Le GPL dans les ménages

Le butane et le propane qui sont obtenus par la séparation du GPL ont une grande importance dans les ménages ; Le butane est utilisé principalement dans le secteur domestique pour la cuisine et le chauffage, la consommation nationale représente l'équivalent de 11 millions de bouteilles de 13 kg par ans. Le propane représenté 4,8% de la consommation national du GPL, il est utilisé comme GENERALITES CHAPITRE II combustible dans les unités industrielles et artisanales en substitution domestique dans les régions non reliées au gaz naturel.

III.1.6.5 Le GPL dans la climatisation

Le GPL est utilisé pour la construction des réfrigérateurs et des climatiseurs (moyenne capacité) comme fluide caloporteur du fait de ces caractéristiques thermiques importantes.

III.1.6.6 Le GPL dans L'agriculture

L'utilisation du GPL dans ce secteur sera orientée vers l'aviculture, et certaines cultures sous-verre, le niveau de consommation prévu est relativement faible (40.000 tonnes/an) pour le court terme et il est attendu une évolution plus significative à moyen et long terme particulièrement par son introduction dans le domaine de l'élevage (éclairage, climatisation, chauffage... etc.). La distribution des GPL est assurée par voie routière et ferroviaire depuis les centres de stockage vers les citernes, les revendeurs de bouteilles et les stations de GPL carburant.

III.1.7 Les avantages et les inconvénients techniques des GPL

L'homogénéité du mélange air-GPL donne une meilleure régularité du couple moteur aux bas régimes mais perd environ 58 % de puissance à haut régime, les reprises se font plus souples. Le fonctionnement du moteur est plus silencieuse et les vibrations diminuent contrairement aux carburants classiques, la combustion du GPL ne laisse aucun dépôt et procure au moteur et au lubrifiant une longévité accrue. Les révisions peuvent être espacées tous les 30000 Km. La surconsommation du GPL/c est de l'ordre de 15 à 20 % par rapport aux carburants traditionnels.

Il existe un inconvénient majeur d'encombrement, le réservoir peut amputer le volume du coffre. Toutefois les constructeurs proposent dès la conception de leurs modèles une version GPL /c avec réservoir intégré.

Les gaz d'échappements sont exempts de poussières, de plomb et de soufre.

Les émissions en oxyde de carbone sont réduites principalement en circulation urbaine.

Le GPL carburant répond bien aux problèmes de pollution des villes.

III.1.8. I Les sources des GPL

Toute extraction de champs de gaz naturel et/ou raffinage de pétrole produit irrémédiablement des Gaz de Pétrole Liquéfiés. Il s’agit des :

fractions lourdes de l’extraction de gaz naturel

Le gaz naturel n’est autre que le méthane (qui a un seul atome de carbone : CH₄), plus communément appelé gaz de ville. Puisque c’est l’atome de carbone qui détermine le poids des molécules, il est facile de comprendre que les GPL sont les fractions lourdes du gaz naturel : en effet, le butane contient 4 atomes de carbone, le propane en contenant 3.

fractions légères du raffinage du pétrole une tonne de pétrole brut raffiné produit 30 kg de GPL, dont 2/3 de Butane et 1/3 de Propane. [11]

III.1.9 Toxicité de GPL

Le GPL n’est pas toxique mais il possède des propriétés anesthésiques. Dans les puits et autre endroit clos ou le gaz plus lourd que l’air peut s’accumuler, l’air peut être déplacé provoquant ainsi un manque d’oxygène, pour toute respiration normale.

Avant de pénétrer dans tels endroit on devra effectuée des essais afin de déterminer la concentration de gaz, si la concentration de gaz peut causer un manque d’oxygène il y a certainement possibilités que se gaz soit inflammable en tant que tel constitue un sérieux risque d’incendie ou d’exploitation.

III.1.10.Le GPL dans le monde

III.1.10.1. La production mondiale en GPL

La production mondiale des GPL est passée de 120 millions de tonnes en 1985 , à 164,7 millions de tonnes en 1994, à 177,8 millions de tonnes en 1997 ; et à 210

Millions de tonnes en 2002. [18]

La compagnie Purvin &Gertz a estimé que les ressources atteindront à peu près 270 million tonnes en 2012 (figure III.2). [19]

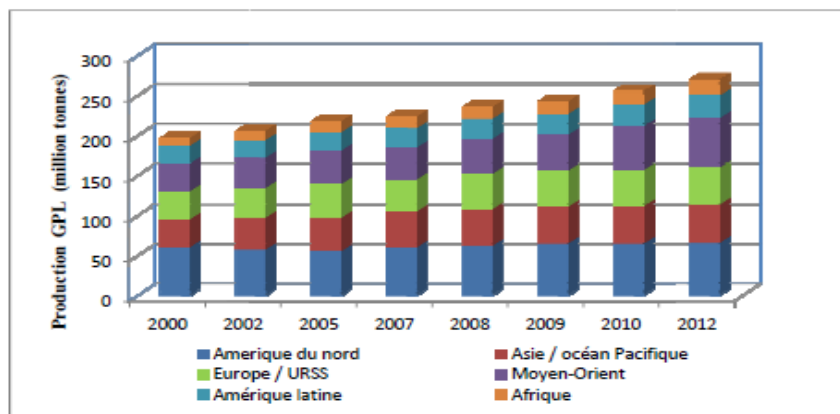


Figure III.1.: Évolution de la production mondiale des GPL par région (2000-2012)

III.1.10.2 La consommation mondiale en GPL

Présentement, les GPL représentent 2% de la consommation énergétique mondiale.

La demande mondiale en GPL a augmenté à un rythme bien supérieur à celui de la Demande énergétique totale en atteignant 170 MT en 2000. 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. Presque la moitié de la demande des GPL globale vient des marchés résidentiels et commerciaux pour utilisation domestique et pour les entreprises. La demande global en GPL est supposée augmenter approximativement à 239 millions de tonnes en 2008 à environ 270 millions de tonnes en 2012 (figure III.4). [20]

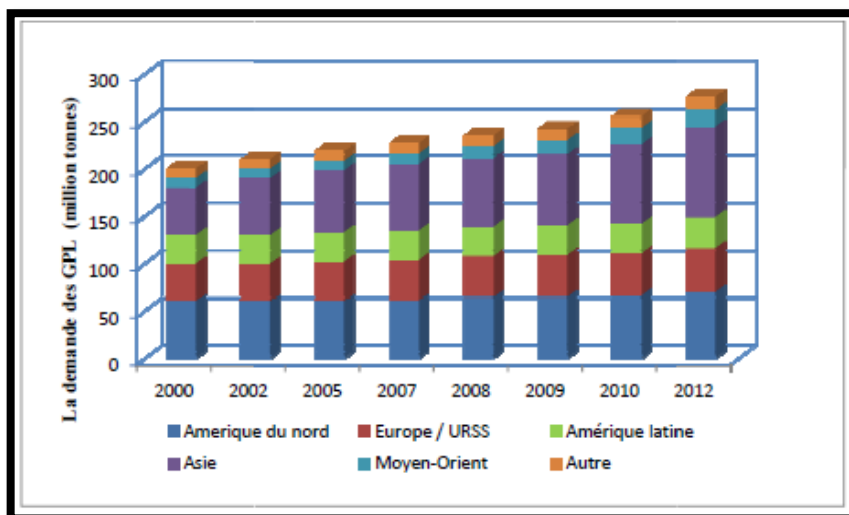


Figure III.2 : Évolution de la demande mondiale des GPL par région (2000)

III.1.11. Les GPL en Algérie

Dans les pays pétrolier et gazier comme l'Algérie, l'industrie des GPL est méconnue du grand public. En Algérie la majeure partie du GPL provient des champs pétroliers (79%) suite à la séparation du gaz et du traitement du pétrole brut, soit 4.35 millions de tonnes, L'autre partie est produite au niveau des raffineries du pétrole de Skikda ; Alger et Arzew (10%). L'Algérie est l'un des leaders mondiales du GPL, avec une production annuelle qui avoisine les 10.5 millions de tonnes en 2009 (contre 5 millions en 1996) dont 2 millions est consommé localement sous forme du butane et de propane est distribué en Algérie par Naftal depuis 1983 sous le nom commercial déposé « SIRGHAZ » [17].

I.12. La consommation nationale en GPL

Le niveau de la demande nationale du GPL est de l'ordre de 1,4 millions de t/an (sources NAFTAL Année 2007) dont 90% de butane, 5% de propane et 5% du GPL carburant(Figure I. 1).

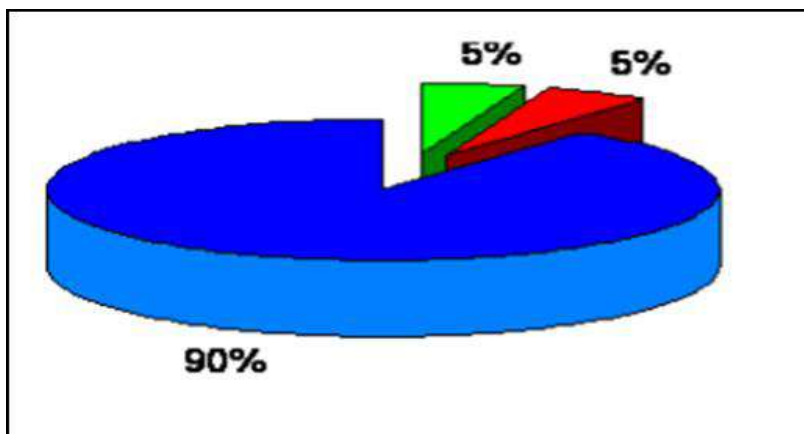


Figure.III.3. La demande nationale du GPL.



III.2.Propane

III.2.1. Définition

Le propane est un alcane linéaire de formule C_3H_8 . On parle de bio propane s'il est d'origine non fossile (synthétisé à partir de biomasse).

Il est essentiellement aujourd'hui dérivé d'autres produits pétroliers par des processus de thermochimie de gaz ou de pétrole, mais commence aussi à être dérivé du biogaz. Il est couramment utilisé comme source d'énergie chimique par combustion dans les moteurs à combustion interne, chaudières, barbecue ,Généralement vendu à l'état liquide, sous forme de GPL notamment (c'est l'un de ses constituants principaux). Un additif, l'éthane thiol , est utilisé comme odorant pour signaler les fuites éventuelles [20].

III.2.2. La différence entre le propane liquide et le propane gaz

Le propane peut se retrouver sous 2 formes: liquide ou gazeuse. On utilise le propane généralement sous la forme gazeuse pour BBQ, foyer, cuisinière, chauffage d'appoint ou chauffage central, etc. Le propane liquide est utilisé dans des systèmes qui exigent énormément d'énergie comme un séchoir à maïs, un four pour une fonderie ou une énorme bouilloire nécessitant des millions de BTU. La raison est que le propane liquide est environ 270 fois plus puissant que le propane vapeur. Si vous avez 1 litre de propane liquide,

il va se multiplier 270 fois pour se transformer en vapeur. C'est ce qui fait du propane la source d'énergie la plus grande dans le contenant le plus petit et facilement transportable. Naturellement le nucléaire et l'hydrogène ont beaucoup plus d'énergie pour un volume ou une masse moins grande, mais sont difficilement transportables [21].

III.2.3. utilisations de propane

Le propane est principalement utilisé comme:

- combustible (secteurs résidentiel, industriel et agricole)
- solvant d'extraction (composé asphaltique des fractions lourdes du pétrole brut)
- réfrigérant (raffinage chimique et procédés d'opérations gazeux)
- propulseur d'aérosol
- matière première pour la production d'éthylène et autres produits pétrochimiques
- composant du gaz de pétrole liquéfié (GPL)

De façon plus spécifique, le propane est utilisé:

- en mélange dans les chambres à bulles
- pour calibrer les analyseurs d'impuretés en trace, les analyseurs de contrôle de l'environnement et les analyseurs de contrôle des atmosphères de travail ou des procédés en pétrochimie
- comme standard pour la mesure des hydrocarbures totaux (THC)
- comme combustible dans les analyseurs d'absorption atomique (AAS) [22].

III.2.4. Caractéristiques physico-chimiques de propane

Tableau III.3. Caractéristiques physico-chimiques de propane .

Caractéristiques	Propane commercial
Masse volumique	0.51kg/litre
A l'état liquide à 15 ° C	0.51 kg/dm ³
A l'état gazeux à 15 °C et 1013 mbar	1.87 kg/m ³
Densité par rapport à l'air	1.54
Température d'ébullition à 1013 mbar	- 44°C
Point de congélation (produit pur)	- 187.7°C
Point critique : température	97.5°C
Point critique : pression	45.6 bar (0.75 Mpa)
Pression de vapeur relative à +5°C	5.2 bar (0.52 Mpa)
Pression de vapeur relative à + 15 °C	7.5 bar (0.75 Mpa)
Chaleur latente de vaporisation	356 kj ou 98 kWh
à +15°C par Kg	ou 85 mth
Pouvoir calorifique supérieur (PCS) par kg	49.8 MJ ou 13.8 kWh ou 11.9 th
Pouvoir calorifique supérieur (PCS) par m ³	93.3 mJ ou 25.8 kWh
à 15°C et 1013 mbar	ou 22.3 th
Pouvoir calorifique inférieur (PCI) par kg	46.0 MJ ou 12.78 kWh ou 11.0 th
Pouvoir calorifique inférieur (PCI) par m ³	85.3 MJ ou 23.70 kWh
à 15 °C et 1013 mbar	ou 20.4 th
Pouvoir comburivore	23 m ³ /m ³
Pouvoir fumigène *	24.8 m ³ /m ³
Limite d'inflammabilité dans l'air : inférieure	2.4 %
Limite d'inflammabilité dans l'air : supérieure	9.3 %

❖ ramené à 15°C eau supposée non condensée

III.2.5. production mondial de propane

La taille du marché mondial du propane était estimée à 195,3 millions de tonnes en 2016. La demande mondiale croissante d'énergie a créé une consommation élevée dans les utilisations finales industrielles et commerciales est un facteur clé de croissance pour l'industrie. Le propane est un élément cohérent de l'industrie des utilisations finales commerciales en plein essor à l'échelle mondiale. Cette utilisation finale prévoit une forte traction à l'échelle mondiale en raison de la croissance de l'industrie hôtelière dans les régions MEA et APAC. Le Qatar connaîtra la croissance la plus rapide de l'utilisation finale

commerciale en raison de la Coupe du Monde de la FIFA 2022, qui créera un besoin énorme pour les hôtels et les restaurants du pays. Ce phénomène devrait augmenter la demande au cours des huit prochaines années.

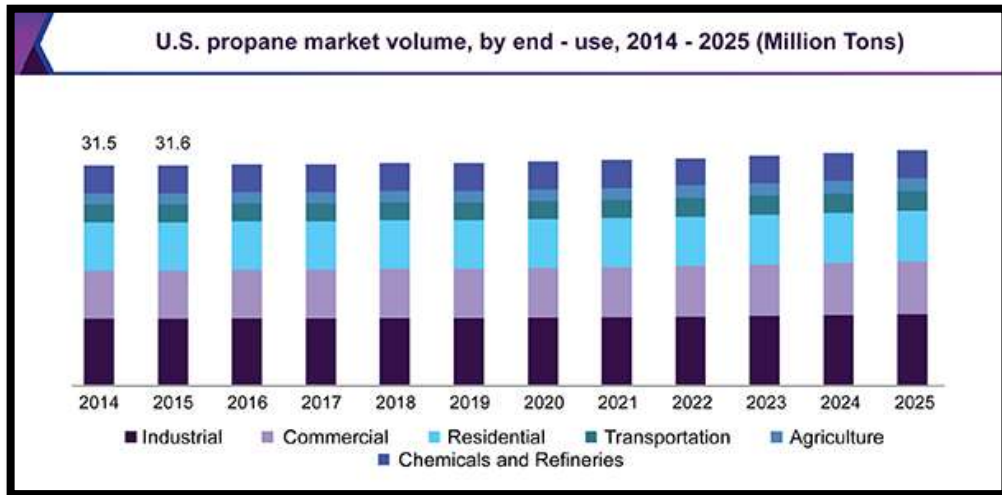


Figure III.4. production mondiale de propane 2014-2025. [24]

III.2.6. consommation mondiale de propane

Contrairement à l’électricité ou au gaz naturel, la consommation de gaz propane se mesure en kilogramme et non pas en kWh. Il est néanmoins possible de faire la conversation facilement. Le **pouvoir calorifique du gaz propane** est de 13,8 kWh par kg (PCS), il s’agit de l’énergie libérée lors de la combustion du gaz tout en prenant en compte la chaleur. La consommation moyenne de GPL en France étant de 1 370 kg, on obtient une consommation moyenne de gaz propane en citerne de **18 906 kWh** par an.

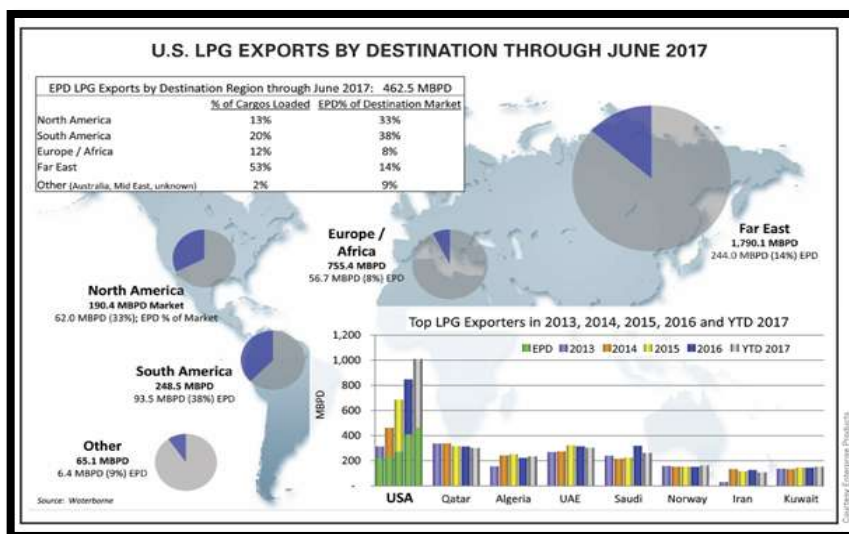


Figure III.5. Consommation mondiale de propane [24]

III.2.7. A avantages et Inconvénients

➤ **A avantages:**

- ❖ Énergie fossile mais moins polluante que les autres (émet moins de CO₂)
- ❖ Facile à transporter à l'état liquide. Par exemple, 1 litre liquide = 270 litres à l'état gazeux
- ❖ Inodore et non toxique
- ❖ Bonne alternative au chauffage fonctionnant au gaz naturel
- ❖ Peut supporter des températures négatives allant jusqu'à - 40 degrés

➤ **Inconvénients :**

- ❖ Pas sans risque d'explosion bien que minime
- ❖ Interdit en appartement pour des raisons de sécurité
- ❖ Plus cher que le gaz naturel

III.3. Butane

III.3.1. définition

Le butane (formulé C₄H₁₀) est un gaz composé de carbone et d'hydrogène. Alors qu'on le trouve à l'état gazeux dans la nature, le butane se liquéfie lorsque la pression est faible. Ainsi, il est conservé à l'état liquide (on parle alors d'un GPL - gaz de pétrole liquéfié) et se commercialise essentiellement sous forme de bouteille. Parce qu'il gèle en dessous de 0°C, le butane est un gaz recommandé pour des usages domestiques intérieurs. Les bouteilles de butane sont généralement utilisées par les particuliers comme combustible pour la cuisson (gazinière, plaque de cuisson, four...) ou pour le chauffage d'appoint au gaz. [20]

III.3.2. propriétés de butane

➤ **Les propriétés physiques du butane**

Le butane se caractérise par un point d'ébullition aux alentours de 0°C. Concrètement, cela signifie que votre bouteille sera inutilisable en dessous de cette température. Le butane passe plus facilement de l'état liquide à l'état gazeux lorsque la température est supérieure à 5°C. Cette caractéristique en fait un gaz particulièrement adapté à une utilisation en intérieur. Attention donc si vous stockez vos bouteilles de butane à l'extérieur par températures négatives ! Attendez quelques minutes avant d'ouvrir le robinet. À température ambiante, le butane a un débit d'environ 400 grammes/heure. [26]

Tableau III.4. propriétés physico – chimique de butane

Température	Pression	Température	Pression
-103,15 °C	0,1 kPa	-33,15 °C	24,1 kPa
-98,15 °C	0,2 kPa	-28,15 °C	30,9 kPa
-93,15 °C	0,3 kPa	-23,15 °C	39,1 kPa
-88,15 °C	0,5 kPa	-18,15 °C	49,1 kPa
-83,15 °C	0,8 kPa	-13,15 °C	61,0 kPa
-78,15 °C	1,3 kPa	-8,15 °C	75,0 kPa
-73,15 °C	1,9 kPa	-3,15 °C	91,5 kPa
-68,15 °C	2,8 kPa	1,85 °C	111 kPa
-63,15 °C	4,0 kPa	6,85 °C	133 kPa
-58,15 °C	5,7 kPa	11,85 °C	159 kPa
-53,15 °C	7,8 kPa	16,85 °C	188 kPa
-48,15 °C	10,6 kPa	21,85 °C	221 kPa
-43,15 °C	14,1 kPa	26,85 °C	258 kPa
-38,15 °C	18,5 kPa	50 °C	490 kPa ³

III.3.3. Caractéristiques de butane

Les GPL (gaz butane et gaz propane) sont non toxiques, non corrosifs, très fluides tant à l'état liquide qu'à l'état gazeux. Ces deux gaz peuvent dissoudre certaines matières telles que les huiles, graisses, vernis, caoutchouc naturels, etc.

III.3.4. utilisations de butane

Tableau.III.5. caractéristique de butane [27]

Caractéristiques	Butane commercial
Masse volumique	0.58kg/litre
A l'état liquide à 15 ° C	0.58 kg/dm ³
A l'état gazeux à 15 °C et 1013 mbar	2.44 kg/m ³
Densité par rapport à l'air	2.07
Température d'ébullition à 1013 mbar	0°C
Point de congélation (produit pur)	- 138.5°C
Point critique : température	150.8°C
Point critique : pression	38.8 bar (3.88Mpa)
Pression de vapeur relative à +5°C	0.8 bar (0.08 Mpa)
Pression de vapeur relative à + 15 °C	1.7 bar (0.17 Mpa)
Chaleur latente de vaporisation	362 kj ou 100.5 kWh
à +15°C par Kg	ou 86.5 mth
Pouvoir calorifique supérieur (PCS) par kg	49.4 MJ ou 13.7 kWh ou 11.8 th
Pouvoir calorifique supérieur (PCS) par m ³	120 MJ ou 33.5 kWh
à 15°C et 1013 mbar	ou 28 th
Pouvoir calorifique inférieur (PCI) par kg	45.6 MJ ou 12.66 kWh ou 10.9 th
Pouvoir calorifique inférieur (PCI) par m ³	109.6 MJ ou 30.45 kWh
à 15 °C et 1013 mbar	ou 26.2 th
Pouvoir comburivore	29.5 m ³ /m ³
Pouvoir fumigène *	31.8 m ³ /m ³
Limite d'inflammabilité dans l'air : inférieure	1.8 %
Limite d'inflammabilité dans l'air : supérieure	8.8 %

III.3.4. utilisations de butane

Il est utilisé dans certains domaine domestique et industriel Appareils de cuisson : le butane est utilisé principalement pour les appareils domestiques, en particulier pour la cuisson (gazinière, four, plaque de cuisson), même dans des lieux d'habitation.

- Appareils extérieurs à faible consommation énergétique : barbecue à gaz, plancha ou désherber thermique. Cependant, nous rappelons que pour un fonctionnement optimal, le gaz butane doit être utilisé à des températures ambiantes positives.
- Appareils mobiles : les bouteilles de gaz butane sont légères et peuvent donc être facilement transportée pour accompagner par exemple des chauffages d'appoint.
- comme réfrigérant dans les circuits de traitement de gaz [28].

III.3.5. production mondiale de butane

La taille du marché du butane était évaluée à 60,01 milliards USD en 2015 et devrait connaître une croissance significative au cours de la période de prévision. La demande croissante de gaz de pétrole liquéfié (GPL) pour diverses applications devrait avoir des perspectives positives au cours des prochaines années. Le butane est utilisé dans les processus de fabrication de carburant en raison de ses propriétés telles qu'une inflammabilité élevée et facilement liquéfiable.

La demande de butane était de 138,23 millions de tonnes en 2015 et prévoyait une augmentation progressive dans les années à venir. La volatilité des prix au comptant du pétrole brut et des LGN peut nuire à la croissance du butane. L'augmentation de la contamination des eaux souterraines due aux fuites de MTBE ainsi que des alternatives croissantes telles que l'éthanol pour le mélange d'essence peuvent poser des défis à l'industrie au cours des prochaines années. [30]

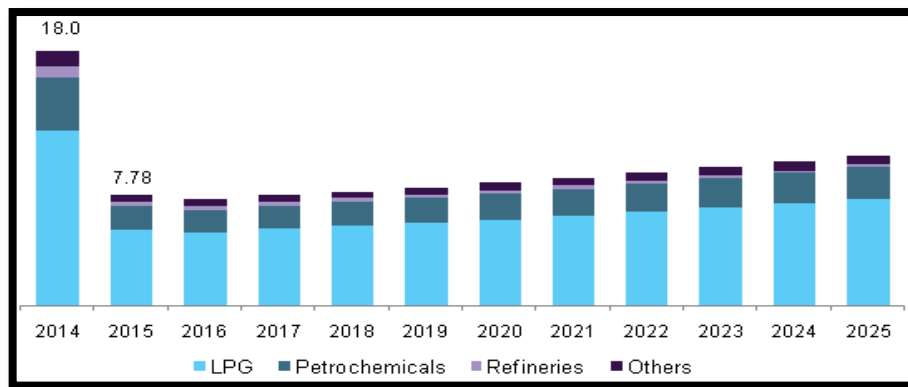


Figure III.6. production mondiale de butane 2014-2025.

III.3.6. Avantages et Inconvénients de butane

-Avantages du butane

- Utilisation facile : la mise en bouteille du butane est simple et son utilisation domestique ne présente pas de danger pour le consommateur. La bouteille possède un détendeur qui va modifier la pression du gaz et un tuyau afin de pouvoir la raccorder à votre appareil ;
- Usage nomade en extérieur : possible uniquement si la température ne descend pas en-dessous de 0 degré pour un barbecue, réchaud, désherbeur thermique...

-Inconvénient du butane

Usage intérieur : le butane se vaporise à partir d'environ 2 degrés, il est donc recommandé pour des utilisations à l'intérieur de votre logement. Attention toutefois à veiller aux consignes de sécurité. Par ailleurs, si la bouteille est restée à l'extérieur lors de basses températures, il est possible que vous deviez attendre plusieurs dizaines de minutes avant de pouvoir l'utiliser. Ce laps de temps est nécessaire pour faire augmenter la température du produit et ainsi pouvoir en profiter. Mais soyez rassuré, ni votre bouteille, ni votre appareil ne seront endommagés.[31]

III.4. comparaison entre propane –Butane- GPL

III.4.1. Différence entre propane –Butane

Afin de mieux clarifier les distinctions faites entre le gaz butane et le gaz propane, les similitudes et dissimilitudes vont être développées dans les lignes qui vont suivre. En effet, choisir entre le butane ou propane selon la situation peut se révéler être un facteur déterminant dans votre consommation énergétique et utilisation des appareils reliés, sur le long, comme le court terme.

Tout deux désignés sous la même désignation GPL, acronyme de Gaz de Pétrole Liquéfiés. La première différence est à la sortie de la bouteille : une fois vaporisé, le butane bout à partir de 0°C alors que le propane passe en ébullition dès -44°C. Il faut donc une température supérieure à zéro pour obtenir un débit gazeux d'une bouteille de butane. Le propane est utilisable jusqu'à -40°C. Ces conditions encouragent un usage intérieur alors qu'une bouteille de propane résiste bien mieux face à utilisation en extérieur. Une autre différence fondamentale est la pression naturelle de ces gaz. Le gaz propane a une pression fondamentalement supérieure au gaz butane. Pour cette raison, le propane est surtout utilisé dans les campings. Cette particularité est développée un peu plus bas dans l'article. [29]

III.4.2. Différence entre propane –GPL et butane

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) c'est ne pas un produit spécifique ou privé de propane et butane est un mélange d'hydrocarbures légers stocké à l'état liquide, et issu du raffinage du pétrole pour 40 % et du traitement du gaz naturel pour 60 % ; Les hydrocarbures constituant le GPL, dans son appellation officielle, sont essentiellement le propane et butane ; le mélange peut contenir jusqu'à 0,5 % d'autres hydrocarbures légers tels que le butadiène.

Le GPL était autrefois considéré comme un résidu de l'extraction du pétrole et directement brûlé au sommet de torchères. Il est dorénavant récupéré par distillation, les fractions les plus nobles et le reste servent généralement de carburant, mais pour des appareils différents. Le GPL-c (GPL-carburant), utilisé comme carburant pour véhicules, est un mélange à 50% de butane et de propane.[32]

Plus élevé que beaucoup d'autres combustibles, il est donc beaucoup plus sécuritaire

.

CHAPITRE IV
SIMLUTION PAR HYSYS

IV.1. INTRODUCTION :

Les méthodes de simulation, conçues pour être utilisées en statistique et en recherche opérationnelle, ont connu et connaissent encore un développement rapide dû à l'extraordinaire évolution des ordinateurs. Des applications se rencontrent tant dans l'industrie qu'en économie, ou encore en sciences sociales, en physique des particules, en astronomie et dans de nombreux autres domaines. Dans beaucoup de situations, que ce soit de la vie courante ou dans la recherche scientifique, le chercheur est confronté à des problèmes dont il recherche des solutions sur la base de certaines hypothèses et contraintes de départ. Pour résoudre ce type de problème, il existe des méthodes analytiques applicables à des situations où le modèle permet de traiter les différentes variables par des équations mathématiquement maniables, et des méthodes numériques où la complexité du modèle impose un morcellement du problème, notamment par l'identification des différentes variables qui entrent en jeu et l'étude de leurs interactions. Cette dernière approche s'accompagne souvent d'une importante masse de calculs. Les techniques de simulation sont des techniques numériques : Simuler un phénomène signifie essentiellement reconstituer de façon fictive son évolution. [39]

IV.2 SIMULATION :

La simulation peut être définie comme l'utilisation d'un modèle mathématique pour générer une description du comportement d'un système physique (procédé). L'avantage majeur de la simulation est la fourniture d'un bon aperçu du comportement du système réel [1]. Cet aperçu peut être difficile de l'avoir à travers l'expérience et l'intuition seule, en particulier pour les systèmes complexes avec plusieurs variables interactives. Un modèle mathématique est un ensemble d'équations qui décrivent le comportement d'un système à étudier (opération unitaire). Ces équations sont souvent des relations de conservation de masse, d'énergie et des équations de conservation de quantité de mouvement. En utilisant cet aspect mathématique de raisonnement, la simulation offre un avantage majeur et important, car elle fournit une bonne approche du comportement du système réel. Dès que le modèle mathématique répond aux ajustements de changement des paramètres comme un procédé réel, la simulation peut être classée comme une méthode commode qui ne coûte pas chère et sans danger pour la compréhension du comportement du procédé réel et sans intervention sur le procédé en cours de fonctionnement. De nos jours, vu le développement considérable de logiciels informatiques, la simulation est devenue un outil de travail indispensable pour l'ingénieur de Génie Chimique. Le fonctionnement d'un simulateur est basé essentiellement sur le choix d'un modèle thermodynamique représentant mieux le système à étudier.

Les différentes tâches qu'un simulateur de procédé devrait effectuer sont:

- La résolution des bilans de matières et d'énergie;
- Le dimensionnement des équipements;
- L'évaluation économique du procédé;
- L'optimisation du procédé. Et pour la réalisation de celle-ci, un simulateur doit contenir:
 - Une bibliothèque de modèle de calcul des propriétés physiques et thermodynamiques des corps purs et des mélanges, couplée à une banque de données de corps purs
 - Une bibliothèque de module standard de simulation des opérations unitaires les plus couramment présentées dans un procédé de fabrication;
 - Une bibliothèque de modules de méthodes numériques algébriques;
 - Une bibliothèque de modules de génération de diagnostics.

IV.3 LE CHOIX DU MODELE THERMODYNAMIQUE: [38]

Les logiciels de simulation donnent accès à plusieurs modèles thermodynamiques pour la prédiction de l'équilibre liquide vapeur, d'enthalpie et d'entropie ainsi que les propriétés de transports. La réussite de la simulation dépend du choix du modèle thermodynamique, parce que ce dernier est établi pour une classe de fluide et un domaine de conditions P et T recommandés en utilisant des hypothèses et des suppositions pratiques. On peut distinguer:

1) Modèles d'activité: [38]

Ces modèles sont surtout utilisés pour les systèmes qui présentent une forte polarité. Parmi ces modèles : le modèle de MARGULES et le modèle UNIQUAC.

2) Modèles hétérogènes:

Ces modèles sont recommandés pour les systèmes de constituants présentant une forte polarité (forte déviation à l'idéalité, azéotropiques). Dans ces modèles les phases vapeurs sont représentées par les équations d'états, et les phases liquides par des corrélations pour le calcul des coefficients de fugacité. Leurs utilisations restent limitées à cause de la nature empirique des corrélations proposées et qui nécessitent des extrapolations en dehors des conditions expérimentales.

3) Modèles basés sur les équations d'état:

Les modèles thermodynamiques basés sur les équations d'état sont utilisés pour le calcul des systèmes d'hydrocarbure et des systèmes de faible non idéalité. Ils peuvent être utilisés pour calculer des propriétés thermodynamiques telle que: la constante d'équilibre K, l'entropie, l'enthalpie et la densité. Leurs supériorités par rapport aux autres modèles résident dans le fait de l'utilisation des coefficients d'interaction binaires.⁴¹

4) Equations d'état usuelles:

❖ Equation de SOAVE et de PENG-ROBINSON:

Les équations de SOAVE (1972) et PENG-ROBINSON (1976) diffèrent de l'équation de REDKICH-KWONG par l'introduction d'une fonction $a(T)$ qui dépend du facteur acentrique. Ces équations sont très largement utilisées dans les modèles de simulation, en production et traitement de gaz.

L'équation la plus recommandée pour les systèmes d'hydrocarbures est l'équation de PENG-ROBINSON, car elle résout correctement les problèmes d'équilibre et permet de prédire des densités liquides plus en accord avec les valeurs réelles que les autres équations.

❖ Les équations les plus utilisées:

- L'équation de BENEDICT, WEBB et RUBIN (BWR);
- L'équation de SBR;
- L'équation de CARNAHAN et STARLING (1969);
- L'équation de BACK présente par CHEN et KREGLEWSKI (1977);
- L'équation de PHCT proposée par BERET et PRAUSNITZ (1975);
- L'équation de SOAVE-REDLICH-KWONG (SRK);
- L'équation de SRK-KABADI-DANNER (SRKKD);
- L'équation de SRK-HURON-VIDAL (SRKH);
- L'équation de SRK-PANAGIOTOPOULOS-REID (SRKP);
- L'équation de SRK-MODIFIED PANAGIOTOPOULOS-REID (SRKM);
- L'équation de SRK-SIMSCI (SRKS);
- L'équation de SRK-HEXAMER (HEXAMER);
- L'équation de PR-HURON-VIDAL (PRH);
- L'équation de PR-PANAGIOTOPOULOS-REID (PRP).

IV.4 MODELE ET SIMULATION

Lorsque le système réel que l'on souhaite observer devient trop complexe et que de nombreuses variables sont en jeu, la modélisation intervient pour prendre en charge et traiter les problèmes : un modèle est élaboré pour essayer de rendre compte de la complexité du system me tout en essayant de réduire le nombre de paramètres.

IV.5. Simulation par HAYSIS:

Pour une étude comparative entre les pouvoirs de refroidissement des trois fluides réfrigérants : le propane, le butane et le GPL, nous avons utilisé le logiciel HYSYS. Pour cela, on a défini un gaz naturel comme gaz à refroidi, les caractéristiques et la composition de ce gaz sont montrés dans les deux tableaux suivants :

Tableau IV.1. Les caractéristiques du gaz à refroidir

Gaz à refroidir		
Temperature	60.00	C
Pressure	6000	kPa
Molar Flow	17.38	kgmole/h

Tableau. IV.2. Composition du gaz à refroidir

	Mole Fractions	Vapour Phase
Methane	0.8998	0.8998
Ethane	0.0100	0.0100
Propane	0.0100	0.0100
i-Butane	0.0020	0.0020
n-Butane	0.0030	0.0030
n-Pentane	0.0040	0.0040
n-Hexane	0.0139	0.0139
n-Heptane	0.0005	0.0005
n-Octane	0.0010	0.0010
SO2	0.0498	0.0498
H2S	0.0050	0.0050
CO2	0.0010	0.0010
Nitrogen	0.0000	0.0000
Helium	0.0000	0.0000
Mercury	0.0000	0.0000
Total	1.00000	

Pour simuler l'opération du refroidissement du gaz, nous avons utilisé un échangeur de type faisceau-calandre (Fig. IV.1). Dans cette interface de simulation on a utilisé le même gaz à refroidir (tableau IV.1 et IV.2), les mêmes conditions du refroidissement et les mêmes conditions opératoires (la température, la pression et le débit) pour les trois fluides réfrigérants et on compare le pouvoir de l'échangeur (le travail fourni).

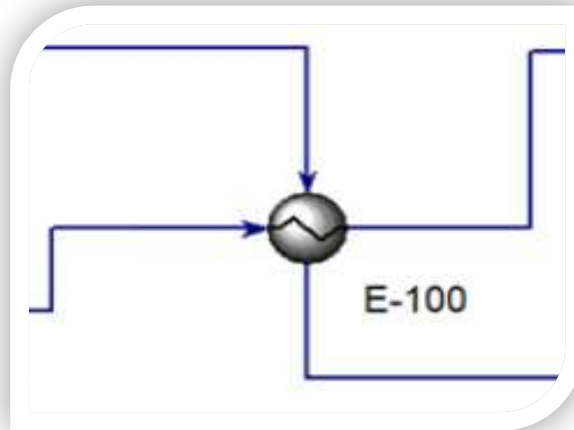


Figure. IV.1. Echangeur tubulaire (faisceau-calandre)

IV.5.1. Pour le cas du propane

Sur l’interface de la simulation (figure IV.2), on a utilisé le propane comme fluide de réfrigération son prospérités et les conditions opératoires sont présentés dans les tableaux suivants :

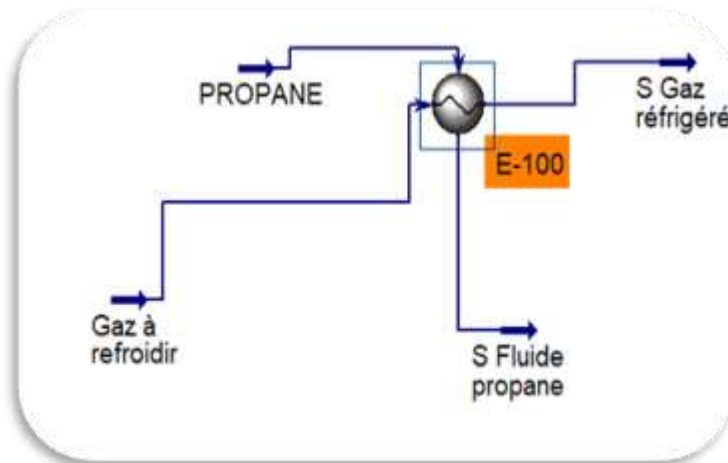


Figure. IV.2. Interface de simulation cas du propane

Tableau IV.3. Conditions opératoires cas du propane

PROPANE		
Temperature	15.00	C
Pressure	1000	kPa
Molar Flow	6.803	kgmole/h

Tableau .IV.4. Composition du fluide réfrigérant cas du propane

	Mole Fractions:	Vapour Phase
Methane	0.9735	0.9735
Ethane	0.0008	0.0008
Propane	0.0008	0.0008
i-Butane	0.0009	0.0009
n-Butane	0.0012	0.0012
n-Pentane	0.0003	0.0003
n-Hexane	0.0042	0.0042
n-Heptane	0.0001	0.0001
n-Octane	0.0017	0.0017
SO2	0.0108	0.0108
H2S	0.0008	0.0008
CO2	0.0010	0.0010
Nitrogen	0.0042	0.0042
Helium	0.0000	0.0000
Mercury	0.0000	0.0000

Total: 1.00000

IV.5.2. Pour le butane

Pour le cas du butane, on considère que le butane est un mélange de 50% n-Butane et 50% i-Butane. Les conditions opératoires ainsi que la composition du butane sont groupés dans les tableaux IV.5 et IV.6 :

Tableau. IV.5. Conditions opératoires cas du butane

BUTANE		
Temperature	15.00	C
Pressure	1000	kPa
Molar Flow	5.161	kgmole/h

Tableau. IV.6. Composition du butane

Worksheet		Mole Fractions	Liquid Phase
Methane	0.0000	0.0000	
Ethane	0.0000	0.0000	
Propane	0.0000	0.0000	
i-Butane	0.5000	0.5000	
n-Butane	0.5000	0.5000	
n-Pentane	0.0000	0.0000	
n-Hexane	0.0000	0.0000	
n-Heptane	0.0000	0.0000	
n-Octane	0.0000	0.0000	
SO2	0.0000	0.0000	
H2S	0.0000	0.0000	
CO2	0.0000	0.0000	
Nitrogen	0.0000	0.0000	
Helium	0.0000	0.0000	
Mercury	0.0000	0.0000	

Total: 1.00000

Buttons: Edit... View Properties... Basis...

OK

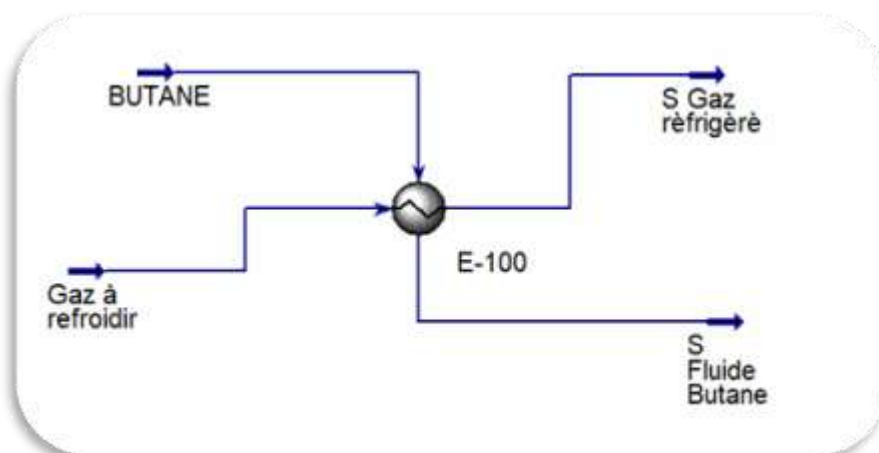


Figure. IV.3. Interface de la simulation cas du butane.

IV.5.3. Pour le GPL

Pour simuler le refroidissement du gaz naturel avec le fluide réfrigérant est le GPL, on a défini un GPL de 50% propane et 50% butane. Les conditions opératoires dans ce cas et la composition du GPL utilisé sont mentionnés sur les tableaux IV.7 et IV.8.

Tableau. IV.7. Conditions opératoires cas du GPL

GPL		
Temperature	15.00	C
Pressure	1000	kPa
Molar Flow	5.870	kgmole/h

Tableau. IV.8.Composition du GPL

Worksheet		Mole Fractions	Liquid Phase
Conditions	Methane	0.0000	0.0000
Properties	Ethane	0.0000	0.0000
Composition	Propane	0.5000	0.5000
Oil & Gas Feed	i-Butane	0.2500	0.2500
Petroleum Assay	n-Butane	0.2500	0.2500
K Value	n-Pentane	0.0000	0.0000
User Variables	n-Hexane	0.0000	0.0000
Notes	n-Heptane	0.0000	0.0000
Cost Parameters	n-Octane	0.0000	0.0000
Normalized Yields	SO2	0.0000	0.0000
Emissions	H2S	0.0000	0.0000
	CO2	0.0000	0.0000
	Nitrogen	0.0000	0.0000
	Helium	0.0000	0.0000
	Mercury	0.0000	0.0000
Total		1.00000	

OK

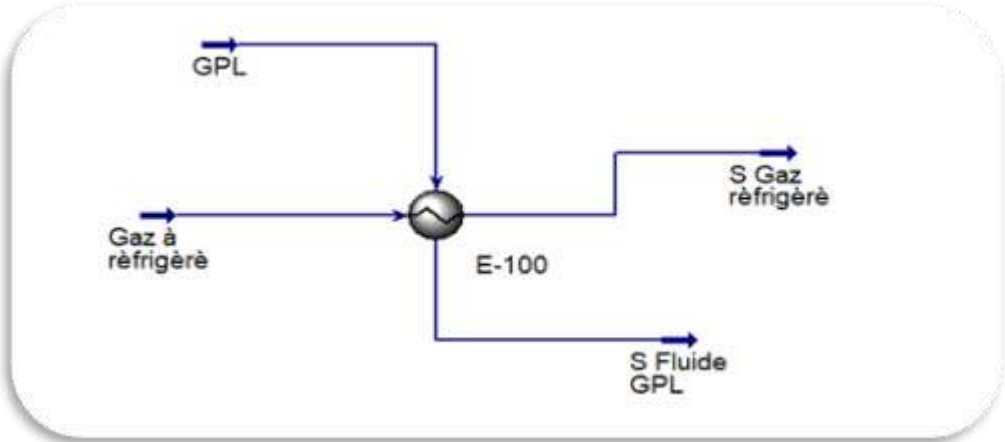


Figure IV .4. L’interface du simulation cas du GPL

IV.6. Résultats de la simulation

IV.6.1. Pour le gaz à refroidi

Le simulateur HYSYS peut calcules plusieurs paramètres du gaz telque : Le débit molaire, le débit de la chaleur, les fractions des phases, les viscosités, Cp, Cv...Le tableau suivant montre ces prospérités et autres :

Tableau IV.9. Conduction du gaz a refroidi

The screenshot shows the HYSYS software interface with a table of properties for a stream named 'Gaz à refroidir'. The table has four columns: 'Worksheet', 'Stream Name', 'Gaz à refroidir', and 'Vapour Phase'. The 'Worksheet' column lists various property categories like Conditions, Properties, Composition, etc. The 'Stream Name' column lists specific properties such as Vapour / Phase Fraction, Temperature [C], Pressure [kPa], Molar Flow [kgmole/h], Mass Flow [kg/h], Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h], Molar Enthalpy [kJ/kgmole], Molar Entropy [kJ/kgmole-C], Heat Flow [kJ/h], Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h], Fluid Package, and Utility Type. The 'Gaz à refroidir' column contains numerical values for most properties, and the 'Vapour Phase' column contains values for phase-related properties. The 'Fluid Package' is listed as 'Basis-1'.

Worksheet	Stream Name	Gaz à refroidir	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000
Properties	Temperature [C]	60.00	60.00
Composition	Pressure [kPa]	6000	6000
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	17.38	17.38
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	300.0	300.0
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0.9403	0.9403
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-7.769e+004	-7.769e+004
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	152.6	152.6
Cost Parameters	Heat Flow [kJ/h]	-1.351e+006	-1.351e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	409.9	409.9
▶ Emissions	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Tableau. IV.11. Les paramètres du gaz à la sortie de l'échangeur.

The image shows two screenshots from the HYSYS software interface. The top screenshot displays the 'Worksheet' tab for a stream named '5 Gaz réfrigéré'. The stream is in the 'Vapour Phase'. Key properties listed include: Temperature [C] at 40.00, Pressure [kPa] at 8000, Molar Flow [kgmole/h] at 300.0, Mass Flow [kg/h] at 17.38, Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h] at 0.9403, Molar Entropy [kJ/kgmole-C] at -7.857e-004, Heat Flow [kJ/h] at -1.366e+006, and Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h] at 409.9. The bottom screenshot shows a detailed composition table for the same stream. It lists mole fractions for various components, comparing the 'Vapour Phase' and 'Liquid Phase'. The total mole fraction is 1.00000. Components include Methane (0.9007), Ethane (0.0100), Propane (0.0100), n-Butane (0.0030), n-Pentane (0.0040), n-Hexane (0.0010), n-Heptane (0.0010), n-Octane (0.0498), SO2 (0.0010), H2S (0.0010), CO2 (0.0050), Nitrogen (0.0000), Helium (0.0000), and Mercury (0.0000).

Stream Name	5 Gaz réfrigéré	Vapour Phase
Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000
Temperature [C]	40.00	40.00
Pressure [kPa]	8000	8000
Molar Flow [kgmole/h]	300.0	17.38
Mass Flow [kg/h]	300.0	300.0
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0.9403	0.9403
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	-7.857e-004	-7.857e-004
Heat Flow [kJ/h]	-1.366e+006	-1.366e+006
Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	409.9	409.9
Fluid Package	Basis-1	
Utility Type		

	Mole Fractions	Vapour Phase	Liquid Phase
Methane	0.9007	0.9600	0.2409
Ethane	0.0100	0.0101	0.0095
Propane	0.0100	0.0089	0.0222
n-Butane	0.0030	0.0023	0.0113
n-Pentane	0.0040	0.0027	0.0180
n-Hexane	0.0010	0.0061	0.1005
n-Heptane	0.0005	0.0001	0.0047
n-Octane	0.0010	0.0001	0.0108
SO2	0.0498	0.0027	0.5747
H2S	0.0010	0.0008	0.0034
CO2	0.0010	0.0010	0.0012
Nitrogen	0.0050	0.0052	0.0027
Helium	0.0000	0.0000	0.0000
Mercury	0.0000	0.0000	0.0000
Total	1.00000		

IV.6.2. Pour le fluide réfrigérant cas du propane

Les résultats de la simulation montrent que le propane à la température de 15°C et une pression de 1000Kpa est à l'état liquide avec un flux de chaleur égale à $8,249 \cdot 10^5$ kJ/h. Le tableau VI.11 illustre les caractéristiques du propane réfrigérant.

Tableau.VI.12. Caractéristiques du fluide réfrigérant cas du propane

Worksheet	Attachments	Dynamics	Stream Name	PROPANE	Liquid Phase
Conditions			Vapour / Phase Fraction	0.0000	1.0000
Properties			Temperature [C]	15.00	15.00
Composition			Pressure [kPa]	1000	1000
Oil & Gas Feed			Molar Flow [kgmole/h]	6.803	6.803
Petroleum Assay			Mass Flow [kg/h]	300.0	300.0
K Value			Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0.5921	0.5921
User Variables			Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1.213e+005	-1.213e+005
Notes			Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	86.32	86.32
Cost Parameters			Heat Flow [kJ/h]	-8.249e+005	-8.249e+005
Normalized Yields			Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	0.5909	0.5909
Emissions			Fluid Package	Basis-1	
			Utility Type		

Tableau.VI.13. Suite : conditions du propane.

Worksheet	Attachments	Dynamics	Stream Name	PROPANE	Liquid Phase
Conditions			Molecular Weight	44.10	44.10
Properties			Molar Density [kgmole/m3]	11.53	11.53
Composition			Mass Density [kg/m3]	508.4	508.4
Oil & Gas Feed			Act. Volume Flow [m3/h]	0.5901	0.5901
Petroleum Assay			Mass Enthalpy [kJ/kg]	-2750	-2750
K Value			Mass Entropy [kJ/kg-C]	1.957	1.957
User Variables			Heat Capacity [kJ/kgmole-C]	118.8	118.8
Notes			Mass Heat Capacity [kJ/kg-C]	2.695	2.695
Cost Parameters			LHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	2.045e+006	2.045e+006
Normalized Yields			HHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	2.209e+006	2.209e+006
Emissions			HHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	5.009e+004	5.009e+004
			CO2 Loading	<empty>	<empty>
			CO2 Apparent Mole Conc. [kgmole/m3]	0.0000	0.0000
			CO2 Apparent Wt. Conc. [kgmol/kg]	0.0000	0.0000
			LHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	4.637e+004	4.637e+004
			Phase Fraction [Vol. Basis]	0.0000	1.000
			Phase Fraction [Mass Basis]	0.0000	1.000
			Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	0.0000	1.000
			Mass Exergy [kJ/kg]	118.1	<empty>
			Partial Pressure of CO2 [kPa]	0.0000	<empty>
			Cost Based on Flow [Cost/s]	0.0000	0.0000
			Act. Gas Flow [ACT_m3/h]	<empty>	<empty>
			Avg. Liq. Density [kgmole/m3]	11.49	11.49
			Specific Heat [kJ/kgmole-C]	118.8	118.8
			Std. Gas Flow [STD_m3/h]	160.9	160.9

Worksheet	Attachments	Dynamics	Stream Name	PROPANE	Liquid Phase
Conditions			Ideal Gas Cp [kJ/kgmole-C]	72.94	72.94
Properties			Mass Ideal Gas Cp [kJ/kg-C]	1.654	1.654
Composition			Heat of Vap. [kJ/kgmole]	1.476e+004	<empty>
Oil & Gas Feed			Kinematic Viscosity [cSt]	0.2165	0.2165
Petroleum Assay			Liq. Mass Density (Std. Cond) [kg/m3]	507.7	507.7
K Value			Liq. Vol. Flow (Std. Cond) [m3/h]	0.5909	0.5909
User Variables			Liquid Fraction	1.000	1.000
Notes			Molar Volume [m3/kgmole]	8.674e-002	8.674e-002
Cost Parameters			Mass Heat of Vap. [kJ/kg]	234.7	<empty>
Normalized Yields			Phase Fraction [Molar Basis]	0.0000	1.0000
Emissions			Surface Tension [dyne/cm]	8.094	8.094
			Thermal Conductivity [W/m-K]	0.1007	0.1007
			Bubble Point Pressure [kPa]	720.8	<empty>
			Viscosity [cP]	0.1100	0.1100
			Cv (Semi-Ideal) [kJ/kgmole-C]	110.5	110.5
			Mass Cv (Semi-Ideal) [kJ/kg-C]	2.506	2.506
			Cv [kJ/kgmole-C]	74.95	74.95
			Mass Cv [kJ/kg-C]	1.700	1.700
			Cv (Ent. Method) [kJ/kgmole-C]	66.42	66.42
			Mass Cv (Ent. Method) [kJ/kg-C]	1.506	1.506
			Cp/Cv (Ent. Method)	1.789	1.789
			Reid VP at 27.8 C [kPa]	1303	1303
			True VP at 27.8 C [kPa]	1303	1303
			Liq. Vol. Flow + Sum(Std. Cond) [m3/h]	0.5909	0.5909
			Viscosity Index	-48.83	=empty>

IV.6.3. Le propane à la sortie de l'échangeur

Comme il est mentionné dans le tableau VI.13, le propane sort de l'échangeur avec une température de 26,9°C et une pression de 1000kPa considérant que la Δp coté calandre est nulle, avec ces paramètres le propane est légèrement vaporisé, la fraction du vapeur est de 5,34%.

Tableau. IV.14. Caractéristiques de propane après la réfrigération

Worksheet	Stream Name	S Fluide propane	Vapour Phase	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0.0534	0.0534	0.9466
Properties	Temperature [C]	26.92	26.92	26.92
Composition	Pressure [kPa]	1000	1000	1000
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	6.803	0.3631	6.440
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	300.0	16.01	284.0
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0.5921	3.160e-002	0.5605
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1.190e+005	-1.050e+005	-1.198e+005
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	93.91	140.5	91.29
Cost Parameters	Heat Flow [kJ/h]	-8.096e+005	-3.814e+004	-7.715e+005
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	0.5909	3.154e-002	0.5594
Emissions	Fluid Package	Basis-1		
	Utility Type			

Le simulateur HYSYS montre que l'échangeur de chaleur dans le cas du propane nécessite une puissance de $1,531 \cdot 10^4$ kJ/h.

Tableau IV.15. Puissance de l'échangeur le fluide réfrigérant est le propane

E-100		
Duty	1.531e+004	kJ/h
Tube Inlet Temperature	60.00	C
Tube Outlet Temperature	40.00	C
Shell Inlet Temperature	15.00	C
Shell Outlet Temperature	26.92	C

IV.6.4. Pour le fluide réfrigérant cas du butane

Aux mêmes conditions comme le cas du propane (T= 15°C, P= 1000kPa), le butane est 100% à l'état liquide. A ces conditions opératoire le butane possède un flux de chaleur égale à $7,872 \cdot 10^5$ kJ/h. le tableau VI.14 regroupe l'ensemble des caractéristiques des butanes réfrigérant.

Tableau. IV.16.Caractéristiques des fluide réfrigérant cas du butane

Worksheet	Stream Name	BUTANE	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0.0000	1.0000
Properties	Temperature [C]	15.00	15.00
Composition	Pressure [kPa]	1000	1000
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	5.161	5.161
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	300.0	300.0
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0.5241	0.5241
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1.525e+005	-1.525e+005
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	67.61	67.61
Cost Parameters	Heat Flow [kJ/h]	-7.872e+005	-7.872e+005
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	0.5229	0.5229
▶ Emissions	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

OK

Tableau. IV.17. Propriété du fluide réfrigérant cas du butane

Worksheet	Stream Name	BUTANE	Liquid Phase
Conditions	Molecular Weight	58.12	58.12
Properties	Molar Density [kgmole/m3]	9.894	9.894
Composition	Mass Density [kg/m3]	575.1	575.1
Oil & Gas Feed	Act. Volume Flow [m3/h]	0.5216	0.5216
Petroleum Assay	Mass Enthalpy [kJ/kg]	-2624	-2624
K Value	Mass Entropy [kJ/kg-C]	1.163	1.163
User Variables	Heat Capacity [kJ/kgmole-C]	135.4	135.4
Notes	Mass Heat Capacity [kJ/kg-C]	2.329	2.329
Cost Parameters	LHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	2.656e+006	2.656e+006
Normalized Yields	HHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	2.861e+006	2.861e+006
Emissions	HHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	4.923e+004	4.923e+004
	CO2 Loading	<empty>	<empty>
	CO2 Apparent Mole Conc. [kgmole/m3]	0.0000	0.0000
	CO2 Apparent Wt. Conc. [kgmol/kg]	0.0000	0.0000
	LHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	4.570e+004	4.570e+004
	Phase Fraction [Vol. Basis]	0.0000	1.000
	Phase Fraction [Mass Basis]	0.0000	1.000
	Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	0.0000	1.000
	Mass Exergy [kJ/kg]	44.33	<empty>
	Partial Pressure of CO2 [kPa]	0.0000	<empty>
	Cost Based on Flow [Cost/s]	0.0000	0.0000
	Act. Gas Flow [ACT_m3/h]	<empty>	<empty>
	Avg. Liq. Density [kgmole/m3]	9.848	9.848
	Specific Heat [kJ/kgmole-C]	135.4	135.4
	Std. Gas Flow [STD_m3/h]	122.0	122.0

Conditions	Ideal Gas Cp [kJ/kgmole-C]	94.91	94.91
Properties	Mass Ideal Gas Cp [kJ/kg-C]	1.633	1.633
Composition	Heat of Vap. [kJ/kgmole]	1.682e+004	<empty>
Oil & Gas Feed	Kinematic Viscosity [cSt]	0.3163	0.3163
Petroleum Assay	Liq. Mass Density (Std. Cond) [kg/m3]	573.8	573.8
K Value	Liq. Vol. Flow (Std. Cond) [m3/h]	0.5229	0.5229
User Variables	Liquid Fraction	1.000	1.000
Notes	Molar Volume [m3/kgmole]	0.1011	0.1011
Cost Parameters	Mass Heat of Vap. [kJ/kg]	289.3	<empty>
Normalized Yields	Phase Fraction [Molar Basis]	0.0000	1.0000
Emissions	Surface Tension [dyne/cm]	12.08	12.08
	Thermal Conductivity [W/m-K]	9.301e-002	9.301e-002
	Bubble Point Pressure [kPa]	216.2	<empty>
	Viscosity [cP]	0.1819	0.1819
	Cv (Semi-Ideal) [kJ/kgmole-C]	127.1	127.1
	Mass Cv (Semi-Ideal) [kJ/kg-C]	2.186	2.186
	Cv [kJ/kgmole-C]	94.84	94.84
	Mass Cv [kJ/kg-C]	1.632	1.632
	Cv (Ent. Method) [kJ/kgmole-C]	93.91	93.91
	Mass Cv (Ent. Method) [kJ/kg-C]	1.616	1.616
	Cp/Cv (Ent. Method)	1.442	1.442
	Reid VP at 37.8 C [kPa]	424.5	424.5
	True VP at 37.8 C [kPa]	425.5	425.5
	Liq. Vol. Flow - Sum(Std. Cond) [m3/h]	0.5229	0.5229
	Viscosity Index	-21.10	<empty>

Property Correlation Controls

Preference Option: Active

IV.6.5. Le butane à la sortie de l'échangeur

Le butane sorte de l'échangeur sans changement d'état donc il reste totalement à l'état liquide avec une température de 38,3°C. le tableau VI.15 contenant les propriétés du butane à la sortie de l'échangeur.

Tableau.IV.18. Les conditions du butane à la sortie de l'échangeur.

Worksheet		Attachments	Dynamics
Worksheet	Stream Name	S Fluide Butane	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0.0000	1.0000
Properties	Temperature [C]	38.33	38.33
Composition	Pressure [kPa]	1000	1000
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	5.161	5.161
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	300.0	300.0
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0.5241	0.5241
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1.492e+005	-1.492e+005
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	78.56	78.56
Cost Parameters	Heat Flow [kJ/h]	-7.702e+005	-7.702e+005
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	0.5229	0.5229
▾ Emissions	Fluid Package	<i>Basis-1</i>	
	Utility Type		

L'échangeur de chaleur dans le cas du propane nécessite une puissance de $1,695 \cdot 10^4$ kJ/h.

Tableau. IV.19. Puissance de l'échangeur, le fluide réfrigérant est le butane.

E-100		
Duty	1.695e+004	kJ/h
Tube Inlet Temperature	60.00	C
Tube Outlet Temperature	40.00	C
Shell Inlet Temperature	15.00	C
Shell Outlet Temperature	38.33	C

IV.6.6. Pour le fluide réfrigérant cas du GPL

Comme les cas du propane et du butane, le GPL est aux mêmes conditions ($T= 15^{\circ}\text{C}$ et $P= 1000$ kPa). A ces condition le GPL est 100% à l'état liquide, le flux de la chaleur dans ce cas est $8,036 \cdot 10^5$ kJ/h. le tableau VI.16 montre les caractéristiques du GPL réfrigérant.

Tableau.IV.20. Les caractéristiques du GPL réfrigérant.

Worksheet Attachments Dynamics			
Worksheet	Stream Name	GPL	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0.0000	1.0000
Properties	Temperature [C]	15.00	15.00
Composition	Pressure [kPa]	1000	1000
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	5.870	5.870
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	300.0	300.0
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0.5534	0.5534
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1.369e+005	-1.369e+005
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	82.60	82.60
Cost Parameters	Heat Flow [kJ/h]	-8.036e+005	-8.036e+005
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	0.5502	0.5502
Emissions	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Worksheet	Property	Value	Unit
Conditions	Ideal Gas Cp [kJ/kgmole-C]	83.92	83.92
Properties	Mass Ideal Gas Cp [kJ/kg-C]	1.642	1.642
Composition	Heat of Vap. [kJ/kgmole]	1.697e+004	<empty>
Oil & Gas Feed	Kinematic Viscosity [cSt]	0.2659	0.2659
Petroleum Assay	Liq. Mass Density (Std. Cond) [kg/m3]	545.3	545.3
K Value	Liq. Vol. Flow (Std. Cond) [m3/h]	0.5502	0.5502
User Variables	Liquid Fraction	1.000	1.000
Notes	Molar Volume [m3/kgmole]	9.355e-002	9.355e-002
Cost Parameters	Mass Heat of Vap. [kJ/kg]	332.1	<empty>
Normalized Yields	Phase Fraction [Molar Basis]	0.0000	1.0000
Emissions	Surface Tension [dyne/cm]	10.09	10.09
	Thermal Conductivity [W/m-K]	9.682e-002	9.682e-002
	Bubble Point Pressure [kPa]	462.8	<empty>
	Viscosity [cP]	0.1453	0.1453
	Cv (Semi-Ideal) [kJ/kgmole-C]	117.6	117.6
	Mass Cv (Semi-Ideal) [kJ/kg-C]	2.302	2.302
	Cv [kJ/kgmole-C]	84.12	84.12
	Mass Cv [kJ/kg-C]	1.646	1.646
	Cv (Ent. Method) [kJ/kgmole-C]	80.14	80.14
	Mass Cv (Ent. Method) [kJ/kg-C]	1.568	1.568
	Cp/Cv (Ent. Method)	1.572	1.572
	Reid VP at 37.8 C [kPa]	812.2	812.2
	True VP at 37.8 C [kPa]	837.1	837.1
	Liq. Vol. Flow - Sum(Std. Cond) [m3/h]	0.5502	0.5502
	Viscosity Index	-29.02	<empty>

Property Correlation Controls: Preference Option: **Active**

OK

IV.6.7. Le GPL à la sortie de l'échangeur

Comme il est montré dans le tableau VI.21, le GPL sorte de l'échangeur avec une température de 39°C et totalement à l'état liquide. Le flux de la chaleur est $7,85 \cdot 10^5$ kJ/h.

Tableau. IV.21. Propriétés du GPL à la sortie de l'échangeur

Worksheet	Property	Value	Unit
Conditions	Stream Name	S Fluide GPL	Liquid Phase
Properties	Vapour / Phase Fraction	0.0000	1.0000
Composition	Temperature [C]	39.00	39.00
Oil & Gas Feed	Pressure [kPa]	1000	1000
Petroleum Assay	Molar Flow [kgmole/h]	5.870	5.870
K Value	Mass Flow [kg/h]	300.0	300.0
User Variables	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0.5534	0.5534
Notes	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1.337e+005	-1.337e+005
Cost Parameters	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	93.17	93.17
Normalized Yields	Heat Flow [kJ/h]	-7.850e+005	-7.850e+005
Emissions	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	0.5502	0.5502
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

OK

Tableau.VI.22.Suite : Propriétés du GPL à la sortie de l'échangeur

Worksheet	Attachments	Dynamics		
Worksheet			S Fluide GPL	Liquid Phase
Conditions	Molecular Weight		51.11	51.11
Properties	Molar Density [kgmole/m3]		10.03	10.03
Composition	Mass Density [kg/m3]		512.6	512.6
Oil & Gas Feed	Act. Volume Flow [m3/h]		0.5852	0.5852
Petroleum Assay	Mass Enthalpy [kJ/kg]		-2617	-2617
K Value	Mass Entropy [kJ/kg-C]		1.823	1.823
User Variables	Heat Capacity [kJ/kgmole-C]		139.2	139.2
Notes	Mass Heat Capacity [kJ/kg-C]		2.723	2.723
Cost Parameters	LHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]		2.351e+006	2.351e+006
Normalized Yields	LHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]		2.351e+006	2.351e+006
Emissions	LHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]		4.960e+004	4.960e+004
	CO2 Loading		<empty>	<empty>
	CO2 Apparent Mole Conc. [kgmole/m3]		0.0000	0.0000
	CO2 Apparent Wt. Conc. [kgmol/kg]		0.0000	0.0000
	LHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]		4.599e+004	4.599e+004
	Phase Fraction [Vol. Basis]		0.0000	1.000
	Phase Fraction [Mass Basis]		0.0000	1.000
	Phase Fraction [Act. Vol. Basis]		0.0000	1.000
	Mass Exergy [kJ/kg]		76.81	<empty>
	Partial Pressure of CO2 [kPa]		0.0000	<empty>
	Cost Based on Flow [Cost/s]		0.0000	0.0000
	Act. Gas Flow [ACT_m3/h]		<empty>	<empty>
	Avg. Liq. Density [kgmole/m3]		10.61	10.61
	Specific Heat [kJ/kgmole-C]		139.2	139.2
	Std. Gas Flow [STD_m3/h]		138.8	138.8

Worksheet			
Conditions	Ideal Gas Cp [kJ/kgmole-C]		89.51
Properties	Mass Ideal Gas Cp [kJ/kg-C]		1.751
Composition	Heat of Vap. [kJ/kgmole]		1.697e+004
Oil & Gas Feed	Kinematic Viscosity [cSt]		0.2262
Petroleum Assay	Liq. Mass Density (Std. Cond) [kg/m3]		545.3
K Value	Liq. Vol. Flow (Std. Cond) [m3/h]		0.5502
User Variables	Liquid Fraction		1.000
Notes	Molar Volume [m3/kgmole]		9.970e-002
Cost Parameters	Mass Heat of Vap. [kJ/kg]		332.1
Normalized Yields	Phase Fraction [Molar Basis]		0.0000
Emissions	Surface Tension [dyne/cm]		7.341
	Thermal Conductivity [W/m-K]		8.576e-002
	Bubble Point Pressure [kPa]		862.0
	Viscosity [cP]		0.1160
	Cv (Semi-Ideal) [kJ/kgmole-C]		130.8
	Mass Cv (Semi-Ideal) [kJ/kg-C]		2.560
	Cv [kJ/kgmole-C]		91.96
	Mass Cv [kJ/kg-C]		1.799
	Cv (Ent. Method) [kJ/kgmole-C]		82.03
	Mass Cv (Ent. Method) [kJ/kg-C]		1.605
	Cp/Cv (Ent. Method)		1.696
	Reid VP at 37.8 C [kPa]		812.2
	True VP at 37.8 C [kPa]		837.1
	Liq. Vol. Flow - Sum(Std. Cond) [m3/h]		0.5502
	Viscosity Index		-42.12

Property Correlation Controls

Preference Option: Active

L'échangeur de chaleur dans le cas du GPL nécessite une puissance de $1,862 \cdot 10^4$ kJ/h.

Tableau. IV.23. Puissance de l'échangeur, le fluide réfrigérant est GPL

E-100		
Duty	1.862e+004	kJ/h
Tube Inlet Temperature	60.00	C
Tube Outlet Temperature	37.51	C
Shell Inlet Temperature	15.00	C
Shell Outlet Temperature	39.00	C

IV.7. Le choix entre les trois réfrigérants

D'après l'étude bibliographique que nous avons réalisée sur les trois fluides réfrigérants : le propane, le butane et le GPL, et après simulation de la technique de refroidissement du gaz par le simulateur HYSYS on constate que le propane est le plus flexible pour choisir comme réfrigérant au niveau du traitement du gaz naturel dans les raffineries et dans le transport de gaz gras à plusieurs critères :

Techniquement : la puissance de l'échangeur dans le cas du propane ($1,531 \cdot 10^4$ kJ/h) est la plus faible ($1,695 \cdot 10^4$ kJ/h cas du butane et $1,862 \cdot 10^4$ kJ/h cas du GPL). Donc le processus nécessite moins d'énergie dans le cas du propane, le propane se transforme de l'état liquide à l'état vapeur facilement ce qui permet d'exploiter l'énergie latente de vaporisation ainsi que la circulation du propane gazeux après le refroidissement est plus facile et rapide.

Economiquement : la production mondiale de propane est 195,3 millions de tonnes en 2016 très élevée par rapport au GPL et au Butane, et le propane venant de deux origines les hydrocarbures et la biomasse (bio propane) ; en plus le coût compétitif moins cher que les autres produits et la simplicité d'obtention et transporter peut-être entreposer, transporté et utilisé presque n'importe où dans le monde. Sa durée de conservation est infinie, ce qui signifie qu'il ne subit aucune détérioration au fil du temps en Algérie et mondialement et dans le secteur environnemental ses qualités environnementales sont reconnues propre et non toxique, il brûle sans résidu; son empreinte écologique est plus faible que plusieurs autres types de combustibles; ne contenant pas de plomb et peu de soufre, il n'entraîne pas de pluie acide; et comme il émet moins de gaz à effet de serre, il participe à garder notre atmosphère plus saine et plus respirable indépendamment des facteurs extérieurs et de la température est suffisamment sûr pour être stocké sous terre. Le propane est non polluant et il génère le moins d'émissions de gaz à effet de serre, le propane se trouve en abondance et dispose d'une infrastructure en place afin d'assurer son transport, de même que de réservoirs pour l'entreposer et de points de détail pour le distribuer et la température d'inflammation du propane est plus élevée que beaucoup d'autres combustibles, il est donc beaucoup plus sécuritaire.

Conclusion

Conclusion

Le gaz naturel est l'une des sources d'énergie les plus importantes et les plus largement utilisées. L'utilisation du gaz naturel ne se fait pas directement après son extraction des gisements, car le gaz naturel nécessite de nombreuses purifications et traitements pour pouvoir être transporté, commercialisé et utilisé d'une manière bénéfique et sécurisé. L'une des méthodes les plus importantes de traitement du gaz est de le refroidir pour séparer la phase liquide et récupérer de nombreux matériaux énergétiques de grande valeur, tels que le propane, le butane et le condensat.

Dans les industries pétrochimiques, plusieurs méthodes de refroidissement sont utilisées, comme l'expendeur et la vanne Joule-Thomson, ainsi que certains fluides comme l'air, l'eau et le propane ...en utilisant des échangeurs de chaleur.

Dans notre étude, nous avons comparé le propane, le butane et le GPL lorsqu'ils sont utilisés comme fluides pour refroidir le gaz naturel, en utilisant le programme de simulation HYSYS. Nous avons atteint les résultats suivants:

- Le propane est le plus flexible pour choisir comme réfrigérant au niveau du traitement du gaz naturel dans les raffineries et dans le transport de gaz grâce à plusieurs critères :
- Techniquement : la puissance de l'échangeur dans le cas du propane ($1,531 \cdot 10^4$ kJ/h) est la plus moins ($1,695 \cdot 10^4$ kJ/h cas du butane et $1,862 \cdot 10^4$ kJ/h cas du GPL). Donc le processus nécessite moins d'énergie dans le cas du propane.
- Le propane se transforme de l'état liquide à l'état vapeur facilement lors du refroidissement ce que permet d'exploiter l'énergie latente de vaporisation.

Bien que le propane utilisé dans le processus de refroidissement soit le meilleur, le butane ou le GPL pourrait être utilisé en l'absence de propane et avec de légers changements dans les conditions opératoires telles que la pression et le débit ...

Une telle étude ouvre les perspectives pour de futures études d'autres fluides utilisables dans les procédés de refroidissement dans l'industries pétrochimiques, ou pour étudier les mêmes fluides, mais dans des conditions de pression et de température différentes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Fayçal KERMAOUI mémoire ; IAP ; récupération des gaz torchés dans la section BOG ; Soutenue le 24/06/2019.
- [2] Nadir Boukhadera mémoire ; IAP ; étude de performance de la colonne de séparation.
- [3] <http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/espace-decouverte/les-cles-pour-comprendre/les-sources-d-energie/le-gaz-naturel>; 11/07/2020
- [4] <http://r0.unctad.org/infocomm/francais/gaz/marche.htm>; 11/07/2020
- [5] : www.connaissance-des-energies.org/fiches-pedagogiques ; 17/07/2020
- [6] <https://dspace.univ-adrar.edu.dz/comite-francais-du-butane-et-du-propane>, les gaz butane et propane ; 19/07/2020.
- [7] <http://bibfac.univ-tlemcen.dz/procedes-de-petrochimie-Belov>; 02/08/2020.
- [8] Associated Petroleum Gas in Russia: Reasons for Non-utilization (PDF). FNI Report 13/2010.
- [9] Dominique Richon ; Etude des fluides frigorigènes Mesures et Modélisation ; Thèse de doctorat ; Ecole de Mine de Paris ; 2003.
- [10] https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide_frigorigene; 14/08/2020.
- [11] MOUNI NASSEREDINE, Simulation et optimisation des paramètres technologiques de l'unité de fonctionnement des GPL à Houad Berkaoui : Génie des procédés: Boumerdes, université BOUGARA.
- [12] www.siraga.com. Historique des GPL ; 18/08/2020.
- [13] Alegria : Balances for 2014, Agence internationale de l'énergie, 16 octobre 2016.
- [14] Dalil Youssouf, GPL techniques et problématiques\raffinerie de SBAA(ADRAR) : Mémoire de projet fin d'étude: Génie des procédés: OURGLA, université KASDIMERBAH OURGLA: 2012.
- [15] Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail ; site web www.cchst.ca, (Février 2010).
- [16] Comité français du butane et du propane, les gaz Butane Propane, site web www.cfbp.fr, (Mai 2010).
- [17] www.lpg-apps.org, LPG Exceptional Energy, 10/03/2017.
- [18] F. Detlef, Drive test, atelier présenté au Clean Energy Seminar, Sacramento (2002).
- [19] K. Otto, Global LPG Market Outlook, Purvin&Gertz Inc, LPGasexceptionalenergy Journal, Edition of International Systems and Communications Limited (ISC) & the World LP Gas Association (WLPGA), (September 2009).
- [20] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Propane>, 25/08/2020.
- [21] <http://www.propane-bellgaz.ca/la-difference-entre-le-propane-liquide-et-le-propane-vapeur>, 16/08/2013.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [22][https://www.csst.qc.ca/fiche complète pour propane](https://www.csst.qc.ca/fiche%20compl%C3%AAte%20pour%20propane), 28/08/2020.
- [23][https://www.cfbp.fr/energie butane propane/caractéristiques générales](https://www.cfbp.fr/energie%20butane%20propane/caract%C3%A9ristiques%20g%C3%A9n%C3%A9rales), 28/08/2020.
- [24]<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/propane-market>
- [25][https://selectra.info/propane guides citernes consommation](https://selectra.info/propane%20guides%20citernes%20consommation), 01/09/2020.
- [26]<https://particuliers.engie.fr/gaz-naturel>,01/09/2020.
- [27][https://www.picbleu.fr/les caractéristiques et spécifications du gaz butane et propane](https://www.picbleu.fr/les%20caract%C3%A9ristiques%20et%20sp%C3%A9cifications%20du%20gaz%20butane%20et%20propane), 02/09/2020.
- [28][http://www.vitogaz.com/generalites gaz et utilisation gaz butane](http://www.vitogaz.com/generalites%20gaz%20et%20utilisation%20gaz%20butane), 02/09/2020.
- [29][https://www.agence-france-electricite.fr/bouteille de gaz butane/différence butane-propane](https://www.agence-france-electricite.fr/bouteille%20de%20gaz%20butane/diff%C3%A9rence%20butane-propane), 02/09/2020.
- [30]<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis-butane-market>, 03/09/2020.
- [31]<https://www.killmybill.be/fr/gaz-naturel-avantages-inconvenients>, 03/09/2020.
- [32]<https://www.euro-petrole.com/28/08/2020>.
- [33] G. F. Hundy, A.R.Trott, T. C. Welch., Refrigeration and Air Conditioning. 4ème Edition.
- [34][https://fr.wikipedia.org/Institut International du Froid](https://fr.wikipedia.org/Institut%20International%20du%20Froid). aperçu sur l'histoire de la production du Froid, 27/08/2020.
- [35]www.sonatrach.com/ 04/09/2020.
- [36]Ibrahim Dinçer, Mehmet Kanoglu. Refrigeration Systems and Applications. 2010.Secnde Edition.
- [37]<https://www.batirama.com/article/utiliser-l-eau-comme-fluide-refrigerant-pourquoi-pas>, 04/09/2020.
- [38] Varga Viktoria « distillation extractive discontinue dans une colonne de rectification et dans une colonne inverse » thèse en cotutelle, 2006.
- [39] Mohamed Seghir Zahira ; Calcul technologique et simulation du procédé de rectification des gaz (Arzew) ; Mémoire présenté en vue de l'obtention du DIPLOME DE MAGISTER ; université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem ;2010/2011.

Résumé :

Mots clés : gaz naturel, propane, butane, GPL, réfrigérant

Le gaz naturel est l'une des sources d'énergie les plus importantes et les plus utilisées, mais son utilisation nécessite des traitements après extraction des gisements, ces traitements passent par plusieurs étapes dont la plus importante est le refroidissement.

Notre étude est une étude comparative entre trois fluides utilisables pour le refroidissement du gaz naturel: le propane, le butane et le gaz de pétrole liquéfié (GPL).

A titre de comparaison, nous avons utilisé le logiciel de simulation HY SYS et conclu que le propane est le meilleur parmi les trois fluides étudiés, avec que les deux autres fluides peuvent être utilisés, mais avec quelques légers choix dans les conditions opératoires.

Keywords: natural gas, propane, butane, LPG, refrigerant

Natural gas is one of the most important and widely used sources of energy, but its use requires treatments after extraction of the deposits, these treatments go through several stages, the most important of which is cooling.

Our study is a comparative study between three fluids that can be used for cooling natural gas: propane, butane and liquefied petroleum gas (LPG).

For comparison, we used the HY SYS simulation software and concluded that propane is the best among the three fluids studied, with that the other two fluids can be used, but with some slight choices under the operating conditions.

الكلمات المفتاحية: الغاز الطبيعي، بروبان، بيوتان، غاز البترول المسال، مبرد
يعد الغاز الطبيعي من أهم مصادر الطاقة وأوسعها استعمالاً، إلا أن استعماله يتطلب معالجته بعد
الاستخراج من الحقول، حيث أن هذه المعالجة تمر بعدة مراحل من أهمها التبريد.
إن دراستنا هذه هي دراسة مقارنة بين ثلاث موائع يمكن استعمالها في تبريد الغاز الطبيعي: البروبان
البيوتان وغاز البترول المسال.

من أجل المقارنة استعملنا برنامج المحاكاة (HYSYS) وخلصنا إلى أن البروبان يعد الأفضل من بين
الموائع الثلاثة المدروسة إلا أنه يمكن استعمال المائعين الآخرين لكن مع بعض التخييرات الطفيفة في
شروط العمل.