



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CENTRE UNIVERSITAIRE AHMED BEN YAHYA  
EL WANCHARISSI TISSEMSILT  
INSTITUT DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE



Visa du chef de département des  
Sciences et Technologies

Signature : ..... .....

Date : .....

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en  
« Génie du raffinage »

**Optimisation de la régénération de tamis moléculaires de la  
section déshydratation du complexe GP1/Z**

Encadreur : Mme Mokhtar Djamila

Signature : ..... .....

Date : .....

**Réalisé par :**

Habani ouardia

Adda houria

**Membres du jury :**

Dr. M BIDAOUI	MCA	(Président)	CENTRE UNIVERSITE DE TISSEMSILT
Mr. M LOUCIF	MAA	(Examineur)	CENTRE UNIVERSITE DE TISSEMSILT
Mme. L Karai	MAA	(examineur)	CENTRE UNIVERSITE DE TISSEMSILT
Mme.Dj MOKHTAR	MAA	(Encadreur)	CENTRE UNIVERSITE DE TISSEMSILT

## ***Remerciement***

*En premier lieu, nous tenons à remercier le DIEU le tout puissant, pour nous avoir donné la force d'accomplir ce travail.*

*Nous tenons à remercier vivement notre encadreur, qui nous a aidé à réaliser ce modeste travail, mes amis qui m'ont aidé de proche ou de loin,*

*Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont contribués à la réussite de ce travail.*

## ***Dédicace***

*Avant tout c'est grâce à dieu que nous sommes arrivées là.*

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :*

*A nos très chers parents et nos très chères grandes mères, qui nous ont toujours été présents à nos côtés pour nous soutenir et nous conseiller*

*\* A nos tantes, A nos oncles, A tous nos sœurs, et frères*

*\* A tous les membres de la famille grande et petite*

*\* A tous Ceux qui nous connaissent de près ou de loin sans cité leurs noms, sans oublier nos enseignants et nos camarades de la promotion de 2<sup>eme</sup> master génie de Raffinage*

*Sans oublier notre encadreur du mémoire M<sup>me</sup> Mokhtar Djamila.*

*Nous dédions ce travail à tous ceux qui nous ont aidés pour l'obtention de ce diplôme sans aucune exception*

*Habani ouardia*

*Adda houria*



## Résumé

La présence de l'eau dans le GPL peut causer des problèmes dans le traitement et aussi dans le transport, pour éviter ces problèmes, on applique plusieurs types de déshydratation.

Pour éviter ces multitudes de problèmes nous faisons sécher le GPL à l'aide de différents procédés par exemple : procédé déshydratation, ce dernier est basée sur différentes technologies de traitement, tels que, la déshydratation par adsorption en utilise les tamis moléculaires.

Dans ce travail, nous étudions l'optimisation de la régénération des tamis moléculaire de la section déshydratation de GPL à partir l'optimisation du temps de cycle de la section déshydratation de GPL et la masse du tamis moléculaire pour avoir une meilleure exploitation des tamis et l'augmentation de la durée d'utilisation de ce dernier.

**Mot clés :** GPL, déshydratation, tamis moléculaire, déshydrateur, hydrates

## Summary:

The presence of water in the GPL can cause problems in the treatment and also in transport, to avoid his problems one applies several types of dehydration order to avoid these, many problems, we dry LPG using deferent processes for example :Precedes for, dehydration the latter passed on deferent processing technologies, such as, dehydration adsorption bay molecular sieves,

In this work we study the optimization of the regeneration of the molecular sieves of the LPG dehydration section by optimizing the cycle time of the LPG dewatering section and the mass of the molecular sieves to obtain a better exploitation of the sieves and the increase the duration of use of these

**Key words:** LPG, dehydration, molecular sieve, dehydrator

## ملخص

وجود الماء في غاز البترول المميع يسبب عدة مشاكل أثناء عملية المعالجة كذلك أثناء النقل ،ولاجل تجنب هذه المشاكل نطبق عدة أنواع لتجفيفه

لتجنب هذه المشاكل العديدة نقوم بتجفيف غاز البترول المميع باستخدام عمليات مختلفة على سبيل المثال طريقة الامتزاز التي تعتمد على تقنيات معالجة مختلفة ،مثل الجفاف بواسطة المناخل الجزيئية

في هذا العمل ندرس تحسين تجديد المناخل الجزيئية لقسم التجفيف لغاز البترول المسال من خلال تحسين وقت دورة الزمن على مستوى وحدة تجفيف الغاز وكتلة المنخل الجزيئي للحصول على استغلال أفضل للمناخل وزيادة مدة استخدامها.

**الكلمات المفتاحية:** غاز البترول المسال،الجفاف،المنخل الجزيئي المجفف، الهيدرات

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Structure de butane ( $C_4H_{10}$ ) et propane ( $C_3H_8$ ) .....	5
<b>Figure I.2</b> : Origine du GPL.....	6
<b>Figure I.3</b> : principales transformations de propane.....	9
<b>Figure I.4</b> : principales transformations de butane.....	10
<b>Figure I.5</b> : les différentes utilisations de GPL.....	11
<b>Figure I.6</b> : Evolution de la production du GPL aux champs.....	15.
<b>Figure I.7</b> Schéma du procédé GPL.....	19
<b>Figure II.1</b> évolution de la concentration de l'adsorbat fluide au cours de l'adsorption.....	26
<b>Figure II.2:</b> La courbe depercée.....	27
<b>Figure II.3:</b> Profil de Température de régénération.....	35
<b>Figure II .4</b> : Section déshydratations.....	36
<b>Figure III.1:</b> La variation de la teneur en eau dans la charge durant des mois de janvier et de février 2017.....	40
<b>FigureIV.1:</b> Le temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau.....	74
<b>FigureIV.2:</b> le nombre de régénération par an en fonction de la teneur en eau.....	74
<b>Figure IV.3:</b> Le temps de réchauffage en fonction de la teneur en eau.....	75
<b>Figure IV.4:</b> Quantité de GN utilisée pendant une régénération en fonction de la teneur en eau pour la deuxième solution.....	75

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1:</b> Composition molaire du GPL.....	5
<b>Tableau I.2 :</b> Les spécifications du propane et du butane commercial du GPL.....	8
<b>Tableau I.3:</b> production nationale du GPL.....	14
<b>Tableau II.1 :</b> les configurations de lit pour le séchage de l'air sur tamis....	30
<b>Tableau II.2</b> conditions opératoires de chaque étape du cycle de régénération .....	33
<b>Tableau III.1 :</b> La fiche technique du tamis moléculaire.....	42
<b>Tableau III.2 :</b> composition de la charge du GPL.....	46
<b>Tableau III.3:</b> propriétés de GN utilisé pour la régénération .....	51
<b>Tableau III.4 :</b> Représentation des données de réchauffage du tamis .....	55
<b>Tableau III.5:</b> comparaison entre les valeurs de design et les valeurs calculées pour vérifier la validité de la méthode.....	60
<b>Tableau IV.1 :</b> La variation du temps d'adsorption en fonction de teneur d'eau pour un temps de régénération fixé. ....	74
<b>Tableau IV.2 :</b> La variation du temps de régénération en fonction de teneur d'eau pour un temps d'adsorption fixé.....	75
<b>Tableau IV.3:</b> Gain annuel du complexe.....	81

## Liste des abréviations

GPL :gaz de pétrole liquéfié.

GN: gaz Natural.

NO: indice d'octane.

RON: indice d'octane recherché.

MON : indice d'octane moteur.

PC : pouvoir calorifique.

TVR : tension de vapeur.

ASTMD: American Society for Testing and Materials.

Mm Hg : millimètre mercure..

GPL<sub>c</sub> : Gaz de pétrole carburant.

CO<sub>2</sub> : dioxyde de Carbone.

Km. : Kilomètre.

MT : million tonne.

Ppm : partie par million.

E-1001 : Aéroréfrigérant.

V-1002: séparateur.

ZTM : la zone de transfert de masse (ft).

Y<sub>in</sub>: la teneur en eau dans la charge de GPL.

Q<sub>tamis</sub>: La chaleur nécessaire au réchauffage du tamis.

Q<sub>acier</sub>: La chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier.

Q<sub>des</sub>: La chaleur nécessaire à la désorption de l'eau fixée sur le tamis (BTU).

ΔH : La chaleur spécifique de désorption de l'eau (BTU/ Lb).

Mt: La masse totale du tamis moléculaire (Lb).

C<sub>p</sub>: La capacité calorifique du tamis (BTU/ Lb. °F).

T : La température moyenne du lit en fin de réchauffage (°F).

T<sub>ads</sub>: La température d'adsorption (°F).

M<sub>c</sub> : La masse totale de l'acier (Lb).

T<sub>e</sub>, T<sub>s</sub> : La température d'entrée et sortie.

(1/ε) : L'efficacité thermique de four.

M<sub>g</sub>: Le débit du gaz).



$\Delta H_{(T_e - T_{ads})}$  : La différence de l'enthalpie du gaz (BTU / Nm<sup>3</sup>).

$T_r$  : Le temps de chauffage (hr).

$H_{f/cycle}$ : la chaleur fournie par le four par cycle (BTU/hr).

$T_{ads}$  : le temps d'adsorption (hr).

$M_{réf}$ : Le débit du gaz de refroidissement (Lb/ hr).

$Q_{réf}$ : la chaleur soutirée au système. (BTU/ hr).

$\Delta P/L$ : la perte de charge par unité de longueur (psi / ft).

$\mu$  : la viscosité du GN (Cp).

$U$  : la vitesse superficielle (ft / min).

$P$  : la masse volumique du GN (Lb/ ft<sup>3</sup>).

$X_E$  : Teneur en eau à l'entrée du sécheur : = 100 ppm.

$X_s$  : Teneur en eau à la sortie du sécheur.

$D_{min}$ : Diamètre minimum du lit de tamis (ft)

$Q$  : Débit volumique de la charge (ft<sup>3</sup> / hr).

$G$  : Vitesse massique de l'écoulement de fluide (Lb /ft<sup>2</sup>.hr).

$C$  : Constante relative aux tamis moléculaire.

$D_L$ : le diamètre du lit.

$Y_{in}$  : la teneur en eau dans la charge de GPL,

$\mu_1$ : la viscosité du GN (Cp).

$Z$  : coefficient de compressibilité.

$A$  et  $B$ : des constantes relatives aux dimensions des particules du tamis.

$N$ : la valence du cation  $M$ ,

$X$  et  $y$  : des nombres entiers.

$W$ : le nombre de molécules d'eau par maille.

## SOMMAIRE

Remerciement.....	II
Dédicace.....	III
Résumé.....	V
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux .....	VII
Liste des abréviations.....	VIII
Introduction générale .....	1
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE GPL ET PRESENTATION DU COMPLEXE GPL1-Z .....	3
I- A /Généralité sur GPL.....	4
I- A -1 : Introduction.....	4
I- A -2 : Définition de GPL.....	4
I- A -3 : Composition de GPL.....	5
I- A -4 : Origine.....	5
I- A-5 : Caractéristiques et les propriétés de GPL.....	6
I-A-6 : Utilisation de GPL .....	8
I- A-7 : Les avantage et inconvénients technique de GPL [17 .....	12
I- A-8 : Risque lies au GPL.....	13
I- A-9: Production de GPL.....	14
I –B-DESCRIPTION DU COMPLEXE GP1/Z.....	16
I- B -1 : INTRODUCTION.....	16

I-B-2 : Présentation du complexe GP1 /Z « JUMBO » : .....	16
I-B-3 : LES INSTALLATIONS DU COMPLEXE GP 1Z .....	17
I-B-3-1 : Les installations de stockage d'alimentation.....	<b>18</b>
I- B-3-2 : Les installations de production .....	18
I- B-3-2-A : Section de déshydratation .....	<b>18</b>
I- B-3-2-B : Section de séparation de GPL .....	<b>18</b>
I-3-2-C : Section de Réfrigération .....	<b>19</b>
I-3-2-D : Section d'Huile Chaude .....	<b>19</b>
I-3-3 : les installations de Stockage des Produits Finis.....	<b>19</b>
I-3-4 : Les installations de chargements : .....	20
Conclusion .....	22
<b>CHAPITRE II : MODE DE DESYDRATATION ETTAMIS MOLECULAIR .....</b>	<b>23</b>
II-1 : Introduction : .....	24
II-2 : Les modes de déshydratation : .....	24
II-2-1 : Inhibition par injection d'inhibiteur de formation d'hydrates.....	24
II-2-2 : Déshydratation par absorption dans un liquide .....	25
II-2-3 : Adsorption sur un agent desséchant solide activé .....	25
II-2-3-1 : Généralité : .....	<b>25</b>
II-2-3-2 : description du procédé d'adsorption .....	<b>25</b>
II-2-3-3 : La zone de transfert de masse ZTM :.....	<b>26</b>
II-2-3-4 : Principaux adsorbant .....	<b>28</b>

II-3 : Tamis moléculaires : .....	29
II-3-1 : généralité .....	29
II-4 : Adsorption dynamique : .....	30
II-5 : Effet des variables de conception du lit : .....	30
II-5 -1 : Vitesse et diamètre du lit : .....	30
II-5-2 :Teneur en adsorbat de l'effluent : .....	31
II-6 : Les hydrate .....	31
II-6- 1 : Définition .....	31
II-6-2 : Structure des hydrates : .....	31
II-6 -3 : Les facteurs de formation d'hydrates : .....	31
II-7 : Section de déshydratation .....	32
II-7-1 : But de section déshydratation .....	32
II-7-2 : Description de la section de déshydratation.....	33
II -7-3 : Cycle de régénération .....	33
II-7-3-1- Drainage .....	<b>34</b>
II-7-3 -2 : Dépressurisations .....	<b>34</b>
II-7 -3-3 : Chauffage .....	<b>34</b>
II-7-3-4 : Refroidissement .....	<b>35</b>
II-7-3-5 : Remis sous pression .....	<b>36</b>
II-7-3-6 : Remplissage en liquide .....	<b>36</b>
CHAPITRE III : PRESENTATION DE PROBLEME ET LA METHODE DE CALCUL .....	38

III-1 : introduction : .....	40
III-2 : Interprétation de graphe : .....	41
III-3 : La méthode de calcul : .....	41
III-4 : Constitution d'un déshydrateur de charge .....	42
III-5 : Théorie de calcul .....	43
III-5-1 : bilan énergétique .....	43
III-5-2 : bilan de matière de la régénération .....	45
III-5-3 : Calcul de la chute de pression.....	45
III-6 : Etude de la validité e la méthode de calcul .....	46
III-6-1 : Introduction .....	46
III-6-2 : DIMENSIONNEMENT D'UN DESHYDRATEUR .....	47
III-6-2-1 : Calcul de la quantité d'eau adsorbée .....	<b>47</b>
III-6-2 -2 : calcul du bilan thermique .....	<b>50</b>
III-6-2-3 : Bilan de matière de la régénération .....	<b>56</b>
III-6-2-4 : Récapitulation des résultats .....	<b>60</b>
CHAPITRE IV : ETUDE DES SOLUTIONS ECONOMIQUES .....	61
IV-1 : Etude de la première solution .....	61
IV-1 -1 : Bilan de matière .....	61
IV-1-2 : Bilanthermique .....	63
IV-1-3 :bilan de matière de la régénération .....	64
IV-1-4 :Calcul des pertes de charges .....	65

IV-1 -5 :Recapitulation des résultats .....	66
IV-2 : Etude de la deuxième solution: .....	68
IV-3 : Interprétation et choix de la solution optimale : .....	71
IV-4 : Comparaison entre les deux solutions optimales:.....	72
IV-5 : Etude économique des résultats de la solution optimale.....	77
IV-5- 1 : GAIN EN GAZ NATUREL .....	77
IV-5-2 : GAIN SUR LA VIE DU TAMIS MOLECULAIRE .....	78
IV-6 : Récapitulation des résultats.....	79
Références bibliographiques .....	82
Les annexes .....	87

# **INTRODUCTION GENERALE**

## Introduction générale

L'Algérie possède des richesses naturelles et des réserves en hydrocarbures qui lui permettent de posséder à une large gamme de produits liés aux gisements de pétrole et gaz.

Vu la richesse de l'Algérie en gaz et en pétrole, l'économie nationale dépend essentiellement sur l'industrie des hydrocarbures grâce à la richesse pétrolière et gazière.

Le gaz pétrole liquéfié (GPL) est occupé une place très importante dans le marché mondial grâce à ces propriétés énergétiques et écologiques [1].

De nos jours, la consommation du GPL augmente de manière significative, ce dernier représente une source importante d'énergie considérant son taux bas de pollution comparé à celui des autres combustibles classiques. Il peut être facilement condensé, stocké et utilisé, ce qui fait de lui une énergie idéale pour une large gamme d'applications [2].

En raison de la demande croissante du GPL sur le marché national et international chaque pays développe ses propres moyens pour la mise en place d'un plan de développement afin de prévoir des augmentations substantielles de production. Dans ce cadre, SONATRACH dispose déjà d'importantes installations de production, de transport et de séparation des GPL permettant leur valorisation et leur commercialisation aussi bien sur le marché local et international [3].

Quand le GPL est à l'état de liquide, la présence d'eau abîme et détruit les canalisations, bloque les détendeurs lorsque le givre (glace) se forme. Pour éviter ces multitudes de problèmes nous faisons sécher le GPL à l'aide de différents procédés de traitement par exemple : procédé de déshydratation ce dernier basé sur différentes technologies de traitement, tels que, la déshydratation, adsorption par tamis moléculaires [4].

L'objectif de notre travail est l'optimisation de la régénération des tamis moléculaires de la section de déshydratation de GPL pour cela on étudie la méthode de calcul pour l'optimisation des cycles d'adsorption et régénération dans le but de prolonger la durée de vie des tamis moléculaires.

Notre démarche de travail contient quatre chapitres :

Le premier chapitre porte : généralités sur les GPL, et description de complexe GPL/Z1

Le deuxième chapitre est consacré : à la présentation théorique des modes de déshydratation, tamis moléculaire, des hydrates et les déshydratants les plus recommandés



dans les procédés de traitement des GPL et petite description de la section de déshydratation du GPL,

Le troisième chapitre est consacré à l'étude pratique basée sur la présentation du problème et de la méthode du calcul.

Enfin, le dernier chapitre porte une étude de solutions économiques.

Nous terminerons ce document par une conclusion dans laquelle les résultats trouvés sont récapitulés, et un suivie de quelques recommandations.

**CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE  
GPL ET PRESENTATION DU  
COMPLEXE GPL1-Z**

## I- A /Généralité sur GPL

### I- A -1 : Introduction

L'Algérie est l'un des plus gros producteurs exportateurs de gaz pétrole liquéfié dans le monde, d'une priorité des plans et de la politique énergétique du SONATRACH, et l'amélioration de ce produit.

L'appellation « Gaz de Pétrole Liquéfiés » ou GPL (LPG en anglais) peut qualifier deux gaz à l'état liquide : le propane  $C_3H_8$  et le butane  $C_4H_{10}$ , ce sont tous les deux des hydrocarbures saturés (paraffiniques) qui sont composés de liaisons simples d'atomes de carbone et d'hydrogène.

Dans le monde on trouve que les deux tiers environ des GPL sont produits à partir des usines de traitement gaz naturel (60% des ressources mondiales) ; et un tiers est issue des raffineries de pétrole brut (40% des ressources mondiales). Le GPL peut être utilisé dans une large gamme vu par le transport et le stockage facile en plus des caractéristiques des gaz de pétrole liquéfié [5].

### I- A -2 : Définition de GPL [6]

Le gaz de pétrole liquéfié est un mélange d'hydrocarbures de pétrole constitué majoritairement de butane, de propane, un peu traces de méthane, d'éthane et de propane. À température ambiante et pression atmosphérique, les GPL sont à l'état gazeux. Ayant la propriété de passer immédiatement 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.

La propriété de transformation de GPL à l'état gazeuse et à l'état liquide qui permettent de stocker dans un volume réduit (**250 litres** de GPL gazeux égale à un litre de GPL liquide).

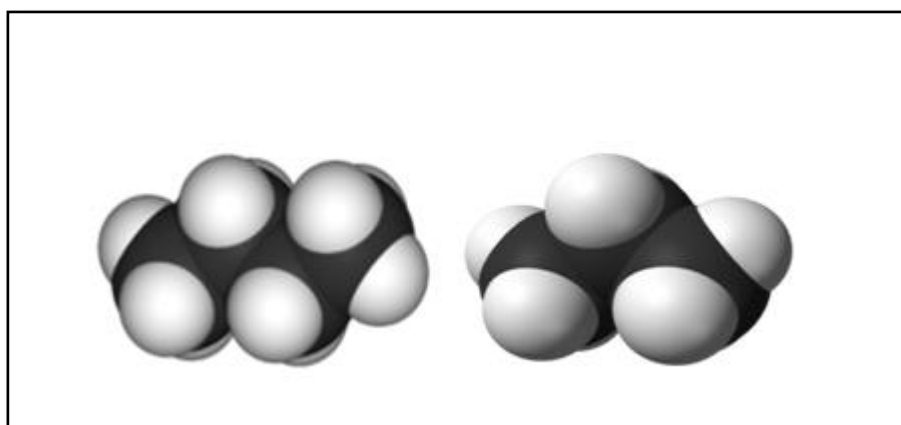
Afin de faciliter le transport, le stockage et la commercialisation, le GPL doit être liquéfié à faible pression (**3 à 4 bars**) et une température très basse. Il se gazéifie au moment de son utilisation.

### I- A -3 : Composition de GPL

La composition molaire du gaz du pétrole liquéfié est variable selon leur source, les normes et ces utilisations dans différents pays :

Composants	% molaire	Formule chimique
Ethane	1,12	$C_2H_6$
Propane	60,95	$C_3H_8$
Iso butane	15,46	$i-C_4H_{10}$
Normal butane	22,14	$C_4H_{10}$
Iso pentane	0,01	$i-C_5H_{12}$

**Tableau I-1 : Composition molaire du GPL [6].**



**Figure I .1 : Structure de butane ( $C_4H_{10}$ ) et propane ( $C_3H_8$ ).**

### I- A -4 : Origine

Le GPL est extrait à partir de diverse source qui peut être :

- ✓ A partir Des raffineries de pétrole brut ; soit à travers la distillation de pétrole brut (le butane et le propane constituent entre 2 et 3 % de l'ensemble des produits obtenus ; ils constituent les coupes les plus légères issues de cette opération) ; Soit lors du cracking ou du reforming des produits en vue de produire des essences
- ✓ A travers la séparation de l'essence du gaz naturel (GN) qui a pour but de séparer et Recueillir les condensats (propane, butane, essences légers).
- ✓ Lors de la récupération directe des gaz séparés du brut dans les champs de production (gaz associés au pétrole). Pour obtenir les produits condensables (propane. Éthane)

- ✓ Par liquéfaction du gaz naturel (comme sous-produit), les gaz C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> dont la température de liquéfaction est de -169°C. (GP2Z – GL1K) [7].

**Figure I.2 : Origine du GPL [8].**



**Figure I.2 : Origine du GPL [8].**

### **I- A-5 : Caractéristiques et les propriétés de GPL**

**a) Odeur et couleur :** que ce soit à l'état liquide ou bien gazeuse, Le GPL est incolore et pratiquement inodore, pour des raisons de sécurité on ajoute une certaine odeur particulière au moyen de substances appropriées (mercaptans). Pour la détection des fuites.

**b) Indice d'octane (NO) :** Le GPL est caractérisé par un indice d'octane recherché (RON) naturellement élevé atteignant aisément la valeur de 98. Par ailleurs, son indice d'octane moteur (MON) est un peu plus élevé que celui des essences classiques [9].

**c) Densité :** le GPL est plus lourd que l'air, Aux conditions normales de température et pression sa densité diminue avec l'augmentation de la température, (0.51 pour propane et 0.58 pour butane)

**d) La corrosion :** généralement Le GPL est corrosif par le cuivre, l'alliage de cuivre ou d'aluminium et non corrosif vis-à-vis l'acier [9].

**e) Explosibilité et inflammabilité :** Le GPL est un gaz explosif lorsqu'il se mélange avec l'air ou l'oxygène. GPL s'enflamme facilement en cas de fuite parce que son point d'éclair est très bas, et le minimum inflammable de GPL est également très basse.

**f) Toxicité physiologique :** le GPL devient légèrement narcotique lorsqu'il est inhalé en grande quantité [9]

**g) Impuretés :** le GPL produit au niveau des différents champs doit répondre aux spécifications suivantes :

- Teneur en gaz sec inférieur ou égale à 3 % mol
- Teneur en condensat inférieur ou égale à 0.4 % mol

**e) Pouvoir calorifique des GPL(PC) :** c'est la propriété la plus intéressante étant que le GPL est traditionnellement utilisé pour les besoins domestiques. Le pouvoir calorifique du GPL est élevé, il est égal à 12.200 Kcal/Nm<sup>3</sup> pour le propane et 11.800 Kcal/Nm<sup>3</sup> pour le butane

**f) Température d'ébullition :** à la pression atmosphérique sont de - 6°C pour le butane - 42°C pour le propane et - 25°C pour le GPL [9].

**g) Propriétés lubrifiantes :** le GPL n'a aucune propriété de lubrification, ce qui doit être pris en considération lors de la conception des équipements pour GPL (pompe et compresseur).

**e) Tension de vapeur :** C'est la pression pour laquelle il y a équilibre entre la phase gazeuse et la phase liquide du produit. Exprimée en bar, elle varie de façon importante avec la température. Plus la température augmente plus la pression augmente. Le GPL a TVR à 20<sup>0</sup>C :

- Le propane a une pression d'environ 8 bars.
- Le butane a une pression d'environ 2 bars [10].

**f) La masse volumique :**

- La masse Volumique G.P.L. à l'état gazeux :

Air = 1,2 g/l

Propane = 1,8 g/l

Butane = 2,4 g/l

Les G.P.L en phase gazeuse sont deux fois plus lourds que l'air.

- La masse Volumique G.P.L. à l'état liquide

Eau = 1 kg/l

Propane = 0, 51 kg/l

Butane = 0, 58 kg/l

Le G.P.L. en phase liquide est deux fois plus léger que l'eau [11]

**g) Spécifications du propane et du butane commercial [12].**

Les spécifications du propane et butane commercial sont données dans le tableau suivant :

Caractéristiques	BUTANE	PROPANE
Masse volumique	Egale ou supérieure à 0,559 kg/l à 15°C	Egale ou supérieure à 0,502 kg/l à 15°C
Poids moléculaire (g/mol)	58,123	44,096
Point d'ébullition (1,013 bar) °C	- 0,5	- 42,1
Température critique (°C)	152	96,6
Pression critique (bar)	37,96	42,5
Facteur de compressibilité (z) à 1,013 bar et 15 °C	0,9625	1,0193
Chaleur spécifique à pression constante (Cp) à 1 bar et 25 °C (kJ/mole. °K)	0,096	0,075
Chaleur spécifique à pression constante (Cp) à 1 bar et 25 °C (kJ/mole. °K)	0,096	0,075
Point de fusion (°C)	-138	-187,7
Température d'auto-inflammation (°C)	365	470
Chaleur latente de vaporisation	80,165	94,98

**Tableau I.2 : Les spécifications du propane et du butane commercial du GPL**

### I-A-6 : Utilisation de GPL

En ce qui concerne la facilité de stockage et de transport, le GPL est utilisé dans de nombreux domaines tels que la combustion, la pétrochimie, le chauffage, l'agriculture ... certains de ses utilisations peuvent être résumés ci-dessus :

#### ✓ Source de combustible

Ils sont utilisés dans la vie domestique comme source de combustible par exemple : la Cuisine, production d'eau chaude, chauffage et en plus dans la vie d'artisanat livré par les distributeurs sous forme liquide, en bouteilles ou en vrac [13].

Pour cela les appareils (ménagers) de cuisson utilisés actuellement sont conçus de manière pour s'adapter à l'utilisation de GPL. Grâce aux facteurs essentielles d'une plus grande flexibilité,

les aspirations de la clientèle et la recherche du rapport prix /qualité ces appareille ont été développée [14].

✓ **GPL dans la climatisation :**

Il est utilisé comme fluide caloporteur en raison de ces caractéristiques thermiques importantes [1] pour la construction des réfrigérateurs et des climatiseurs (moyenne capacité), grâce à sa détente d'absorbe la chaleur et de créer le froid [14].

✓ **GPL dans la pétrochimie :**

GPL sont consommés comme produit de base pétrochimique (production de l'éthylène qui est un produit phare de la pétrochimie,) d'environ 18% [14], pour de but d'obtenir des produits finaux ou des produits semi finaux pour les autres industries chimiques [15]. La demande totale pétrochimique de GPL enregistre un taux de croissance de l'ordre 10% [14].

Parmi les principaux produits peuvent être obtenus à partir de la transformation des GPL, propane, butane et isobutane [15].

➤ **Propane**

Après l'oxydation du propane, on obtient Acétaldéhyde, formaldéhyde, acide acétique et acétone. Lors de la pyrolyse du propane il se forme l'éthylène et le propylène.

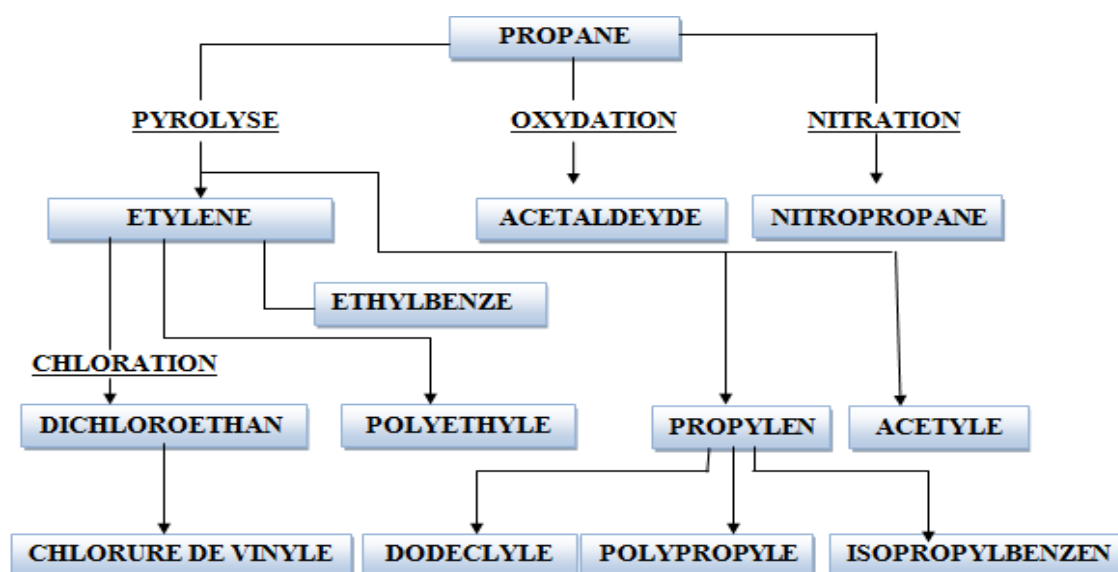


Figure I.3 : Principales transformation de propane [16].



### ➤ Butane :

A base de butane, de nombreux produits peuvent être obtenus comme : éthylène, propylène, diverse butylène ou bien acétylène et butadiène, le n'butane s'oxyde en donnant l'acétaldéhyde, l'acide acétique le formaldéhyde et acétone, on obtient les nitro butane-1et-2 après nitration de butane, et isobutane issu lors de L'isomérisation du butane.

On obtient le butadiène qui est utilisé dans la synthèse de polymères (Fabrication de plastique, Caoutchouc) en éliminant l'hydrogène du butane (La déshydrogénation catalytique du butane) [11].

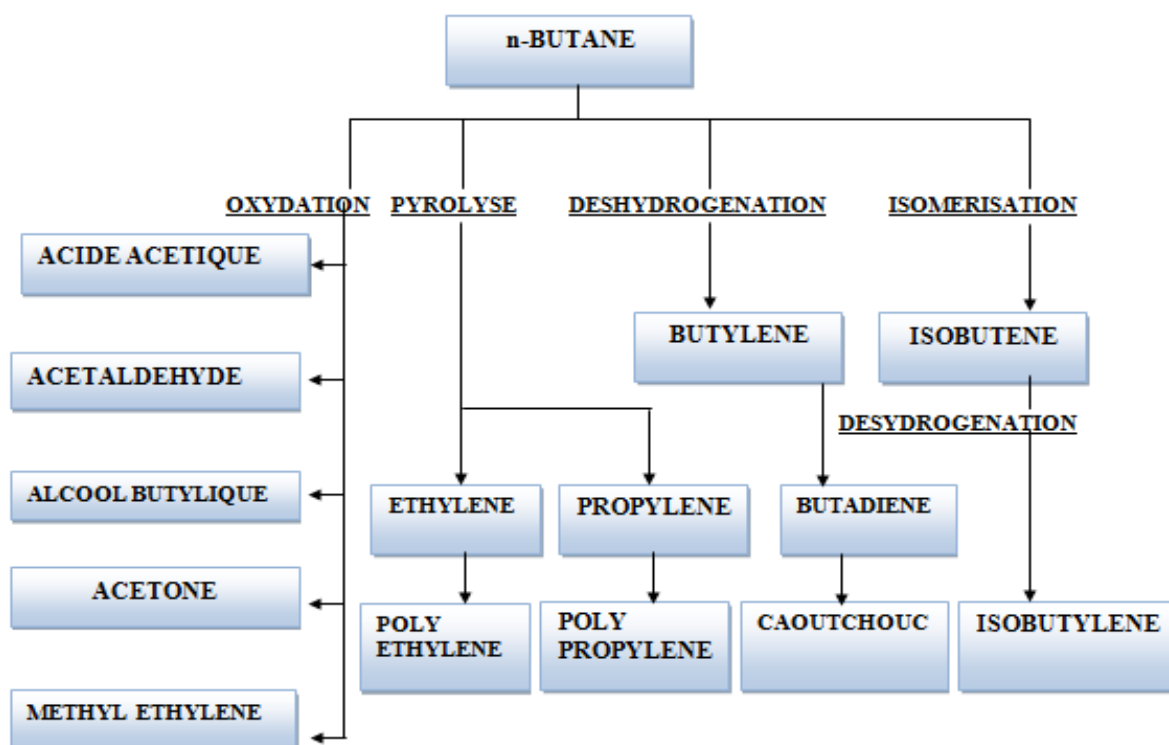


Figure I.4 : Principale transformation de n- butane [16].

### ➤ Isobutane

L'isobutane introduit dans un grand nombre alkylat qui produit dans la préparation des supers carburants à indice d'octane élevée. Il est considéré comme agent d'alkylation très efficace. L'iso butylène peut être obtenu par élimination de l'hydrogène de iso butane c.-à-d.- dire la déshydrogénation, il est également considéré comme une matière première dans la synthèse du caoutchouc butyle et du poly-butylène [15].

### ✓ GPL pour la production d'électricité :

Il est utilisé pour la génération d'électricité pourrait être important si les conditions actuelles sont de nature économique favorable, les marchés ciblés à cet effet, et qui sont attractive pour le GPL [15].

Techniquement, c'est la solution privilège GPL dans la production de l'électricité car il nous permet d'atteindre des rendements très élevés. Écologique parce qu'il est un combustible propre et Stratégique du point de vue diversification et garantie d'approvisionnement (Tant du point de vue économique qu'écologique)[8].

#### ✓ **GPL comme carburant :**

En plus de ses utilisations mentionnées précédemment Les GPL sont également utilisés comme carburant bon et efficace appelé GPL pour les véhicules, les bateaux de plaisance, les montgolfières qu'ils alimentent en air chaud, les chariots élévateurs. ... ; en raison de son maintien des performances du véhicule et de la réduction de l'érosion des moteurs a l'instar des autre carburant. Les autres carburants examinés n'apportent guère d'avantages comparés à ces derniers.

L'intérêt majeur du GPL carburant réside dans ses très faibles émissions de polluants par rapport des carburants les plus courants, essence et gazole. Il permet ainsi de limiter l'impact sur l'environnement et la santé humaine tout en réduisant aussi à limiter les émissions de gaz à effet de serre, Et il est aussi économique [8].

L'utilisation du GPL en Algérie reste très faible puisque seulement 120.000 véhicules ont été convertie au Gaz de pétrole liquéfié [6].

En Algérie, le GPLC est adopté sous le nom commercial « SIRGAZ ». [8]



**Figure I.5 : les utilisations de GPL.**

#### ✓ **Dans le secteur agro-alimentaire :**

L'utilisation du GPL dans ce secteur sera orientée vers l'aviculture, et certaines cultures sous-serre, le niveau de consommation prévu est relativement faible (40.000 tonnes/an) pour le court terme, il est attendu une évolution plus significative à moyen et long terme particulièrement par l'introduction dans le domaine d'élevage [6].

Les GPL peuvent jouer un rôle essentiel dans le développement de l'agriculture.

✓ **Utilisations industrielles et artisanales**

Le propane intervient dans de nombreux travaux de fabrication, manuels ou mécaniques. Il convient aussi bien aux grands ensembles de production d'un automatisme poussé qu'aux installations les plus modestes.

Exemples :

- Climatisation et refroidissement à l'échelle industrielle.
- Production des carburants.
- Centrale électrique : combustible pour la génération électrique [8].
- Industrie chimique : Chauffage de bacs d'acide, Fabrication de produits insecticides.
- Matières plastiques : Travail au chalumeau, Fabrication de caoutchouc synthétique [8]

### **I- A-7 : Les avantages et inconvénients technique de GPL [17]**

➤ **Les avantages :**

Les gaz butane et propane, les GPL sont considérés comme l'une énergie exceptionnelle en raison de ces origines, de ces caractéristiques et de ces applications, qui y sont distinguées et utilise. En outre ils sont d'énergie moins polluants, faiblement émettrice de CO<sub>2</sub>, performante et novatrice, il offre de nombreux avantages aux les consommateurs et aux différents secteurs professionnels et l'environnementaux, parce qu'ils permettent aussi d'assurer et de contribuer, sans délai, à un modèle énergétique durable, compétitif et plus sûr.

- ✓ L'homogénéité du mélange air-GPL est une meilleure régularité du couple moteur au haut régime), les reprises se font plus souples. L'utilisation de GPL comme carburant rend le fonctionnement du moteur est plus silencieuse et réduite les vibrations contrairement aux carburants classiques, et dure de vie de moteur de véhicule plus long, 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 des GPLC est de l'ordre de **15 à 20 %** par rapport aux carburants traditionnels.
- ✓ L'utilisation de GPL carburant réduit Les émissions en oxyde de carbone, en particulier dans en circulation urbaine.
- ✓ Les gaz d'échappements sont exempts de poussières, de plomb, de soufre, Tétra éthyle et monoxyde de carbone.
- ✓ Les GPL carburant est un résoudre aux problèmes de pollution dans les villes.
- ✓ Les émissions en oxyde de carbone sont réduites principalement en circulation urbaine.
- ✓ Indice octane élevé supérieur à celui de l'essence. (Donc plus de rendement) [17].
- **Les Inconvénients**
- ✓ Probabilité de continuité des fuites et d'inflammation du mélange après à une collision
- ✓ 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 [17].

### **I- A-8 : Risque lies au GPL**

- ✓ Le stockage de GPL à l'état liquide sous pression peut provoquer un grand volume de gaz inflammable par évaporation lors d'une fuite
- ✓ La limite inférieure d'inflammabilité du gaz approximativement à 2% du volume du gaz dans l'air. Un petit volume de gaz dans l'air peut créer un mélange inflammable lorsqu'il est en contact avec un élément chaud ou une étincelle s'éloigne du point de fuite.
- ✓ Evaporation de GPL peut causer des brûlures sévères, donc il doit porter des vêtements de protection (gants, lunettes) [18].
- ✓ Ne jamais remplir en GPL des réservoirs à plus de 85 % (15% du réservoir est réservé pour la dilatation) [19].
- ✓ Il à une viscosité faible, ce qui le rend un fluide présentant beaucoup de fuites, donc il faut éviter au maximum les assemblages non soudés ;
- ✓ Purger les canalisations de liquide après dépotage afin d'éviter les risques de rupture des réservoirs s'ils sont sur- remplis [20].

- ✓ Le GPL peut présenter un risque d'incendie dès qu'une fuite se produit ou dès que le gaz s'échappe dans l'atmosphère.
- ✓ Leur vapeur est plus lourde que l'air, ce qui provoque son accumulation dans les points les plus bas, donc il faut éviter les cavités, aérer et ventiler les endroits pollués [5].

## I- A-9: Production de GPL

### I- A-9-1 : La production nationale du GPL

L'industrie du GPL est très importante en l'Algérie, pays pétrolier et gazier. Sa production a suivi une croissance soutenue en raison de l'intérêt manifeste des pays industrialisés et intéressés par cette forme d'énergie idéale et propre pour la protection de l'environnement.

L'industrie Algérienne du GPL a subi de profonds changements, ces dernières années, notamment en matière de production, d'exploitation et dans les activités de transport maritime. Le programme de développement des ressources gazières a été lancé au début des années 90 qui fait bénéficier aujourd'hui des disponibilités importantes du GPL.

Depuis la mise en exploitation du champ gazier de Hamra en 1996, la production du GPL en Algérie a connu un développement rapide.

Le niveau de l'offre national du GPL est de l'ordre de 5,5 millions de tonnes en 1996, et plus de 7,3 millions de tonnes en 1998, et environ 9 millions de tonnes en 2001, et de 12,5 millions de tonnes en 2006 lorsque les projets développés sont été mis en service.

Cette offre provenant de trois sources différentes : [21]

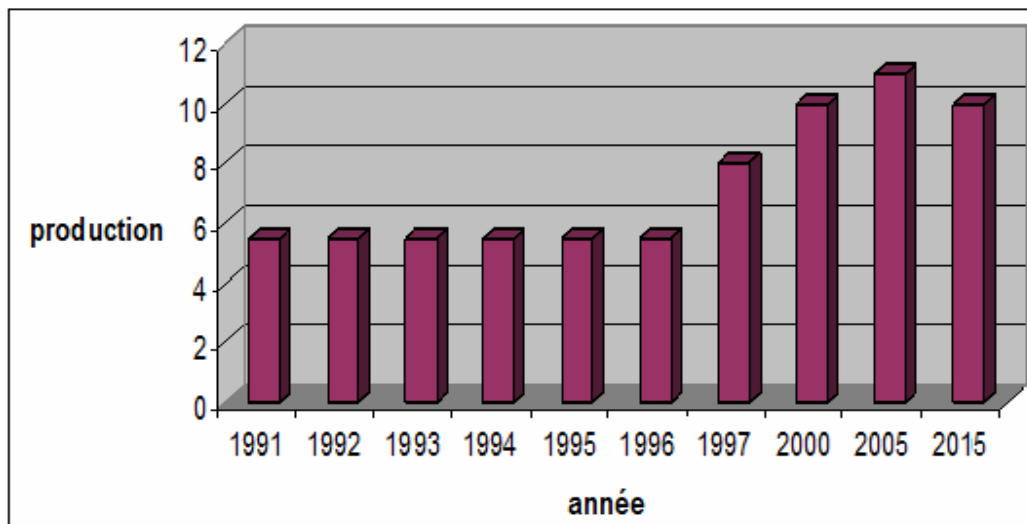
✓ 10% obtenus à la suite du raffinage du pétrole brut aux raffineries de Skikda, Arzew, Alger. La production moyenne annuelle de ces raffineries est de l'ordre de **530.000 tonnes** réparties dans le tableau suivant :

	SKIKDA	ARZEW	ALGER
GPL	340.000 tonnes	100.000 tonnes	90.000 tonnes
Butane	83%	74%	93%

**Tableau I.3: production nationale du GPL.**

- ✓ 11% sont obtenus à résulter de la liquéfaction du gaz naturel aux complexes de liquéfaction de Sonatrach GL2Z (405.000 tonnes), GL1K. (170.000 tonnes).

Après la séparation du gaz et le traitement du pétrole brut est produit 79% des gisements d'hydrocarbures soit 4,35 millions de tonnes [22].



**Figure I.6 : Evolution de la production du GPL aux champs [21]**

#### I-A-9-2 : La production mondiale du GPL [23]

Il existe deux sources de GPL : le pourcentage de récupération du propane et du butane dans les champs de pétrole et gaz naturel représente **60%** des ressources. La production sur champs revêt une grande importance dans tous les pays et en particulier :

- 1- Aux Etats-Unis ou une longue tradition d'utilisation importante existe. La production Et la consommation sont équilibrées.
- 2- Au Moyen- Orient, le premier exportateur de GPL dans le monde, la production de gaz de pétrole liquéfié a considérablement développée à la fin des années **70** lorsque le prix de l'énergie a augmenté, ce qui a permis de récupérer le propane et le butane. Au paravent ces produits étaient brûlés avec le gaz associé.
- 3- En Afrique du Nord et tout particulier en Algérie, le GPL est surtout extrait d'une à partir de gaz naturel dans les unités de liquéfaction.

La production des raffineries supplémentaire, le complément. Le propane et le butane sont récupérés à partir de distillation du pétrole brut et par craquage des coupes pétroliers lourdes résultant de ce dernier procède, il est assuré dans la plupart des unités de liquéfaction et de conversion. Le propane et le butane sont également considères comme des produits commerciaux ne sont pas des produits purs mais se combinent, parce que la séparation

complète des coupes serait aussi coûteuse et elle est inutile car la plupart des utilisations acceptent des mélanges[23].

## **I –B-DESCRIPTION DU COMPLEXE GP1/Z**

### **I- B -1 : INTRODUCTION**

Le complexe de Production GPL dénommé GP1Z ou " **JUMBO GPL** " de l'Entreprise Nationale **SONATRACH** est le dernier né des Ensembles Industriels de la zone d'Arzew.

Il est situé entre la Centrale Thermique Mers El Hadjadj à l'Est et les Complexes de GNL à l'Ouest [24].

#### **I-B-2 : Présentation du complexe GP1 /Z « JUMBO » :**

Le «. **JUMBO GPL** " s'étend sur une surface de **120hectares** sur la bande de terre comprise entre la Route National **11** et le Bord de la Mer Méditerranée.

Le Complexe a pour mission de produire du Butane ; Propane et du mélange Butane / Propane à partir du GPL provenant du grand Sud Algérien : Complexe Hassi Messaoud, Hassi R'Mel, Ain Amenas....etc.

La Capacité annuelle de production de l'Usine est de **10,8millions de Tonne par an**. Par sa situation géographique proche du marché et par ses capacités de production, le **GP 1Z** fait occuper une place de choix à la **SONATRACH** dans le marché International des GPL.

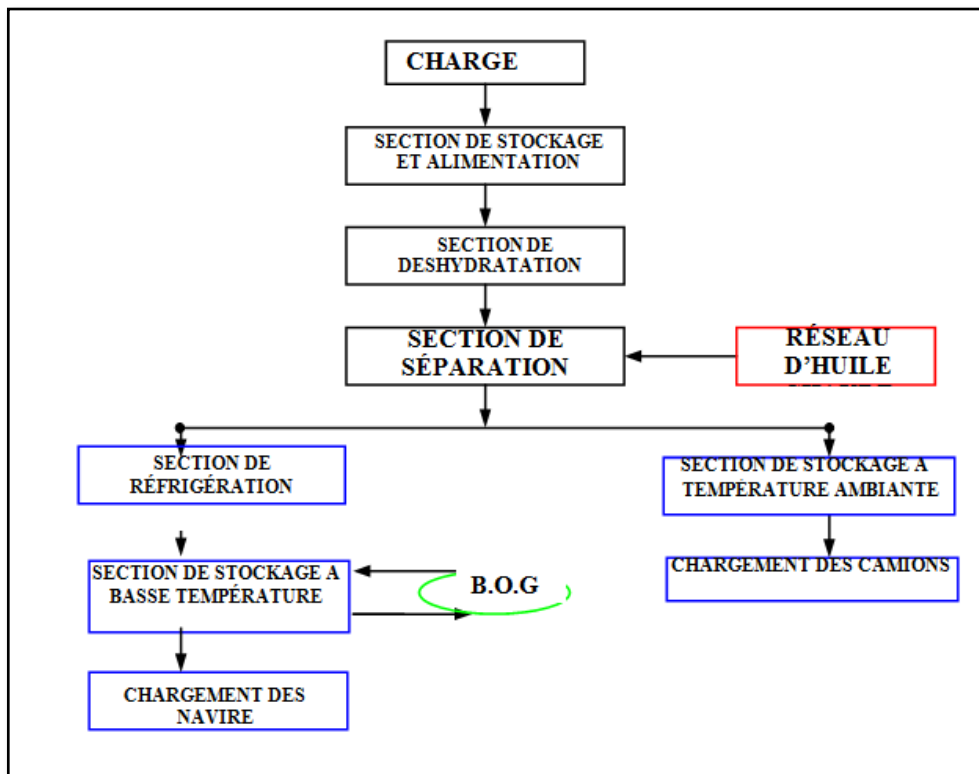


Figure I.7 : Schéma du procédé GPL

### I-B-3 : LES INSTALLATIONS DU COMPLEXE GP 1Z

Le Complexe **GP1Z** est constitué de plusieurs Installations qui sont comme suites :

- Les installations de stockage d'alimentation.
- Les installations de Production **GPL**.
- Les installations de Stockage des Produits Finis.
- Les installations de Chargement.
- Les installations d'Utilité [24] .



### **I-B-3-1 : Les installations de stockage d'alimentation**

Ces Installations se composent de vingt-deux sphères qui stockent temporairement la charge, et ont une capacité globale de 22000 m<sup>3</sup>, et de 1000 m<sup>3</sup> chacune. Les vingt-deux sphères sont réparties en quatre groupes comportant chacun quatre sphères et quatorze pompes d'alimentations plus un nouveau groupe qui comporte six sphères : dont trois groupes pour la phase I et un seul groupe identique pour la phase II, et un seul groupe identique pour la phase III [24].

### **I- B-3-2 : Les installations de production [24]**

Ces installations comprennent neuf (09) trains de production dont trois nouvellement installés {phase III), et chaque train est composé des sections suivantes :

#### **I- B-3-2-A : Section de déshydratation : [24, 26]**

Cette Section permet d'éliminer l'eau contenue dans le GPL d'alimentation en utilisant des Tamis moléculaires qui adsorbent les molécules d'eau afin d'éviter tout givrage dans la Section de réfrigération.

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

#### **I- B-3-2-B : Section de séparation de GPL :**

Cette section a pour but de séparer le GPL brut en produits commerciaux (propane (C<sub>3</sub>) et butane (C<sub>4</sub>) éventuellement C<sub>5</sub>), avec un taux de récupération T<sub>r</sub> maximum :

$$T_r = \frac{\text{C}_3 \text{ et C}_4 \text{ produit (commercialisé)}}{\text{C}_3 \text{ et C}_4 \text{ contenant dans la charge}}$$

La composition du GPL brut est le paramètre primaire qui détermine le fonctionnement global de la section séparation

La charge passe tout d'abord par le Fractionnateur qui sépare le produit de tête (le propane et l'éthane) et le produit de fond (le butane et le pentane).

#### **I- B-3-2-B -a/Le Fractionnateur :**

La séparation du propane et de butane dans le Fractionnateur est l'opération essentielle pour réaliser le taux de récupération voulu de chaque produit.

- La température d'entrée du Fractionnateur est de 71°C.
- La pression à l'intérieur de la colonne est en moyenne de 20 Kg/cm<sup>2</sup>.

**I- B-3-2-B-b/Le déethaniseur :**

Cette colonne de fractionnement est mise en service lorsque le rapport  $C_2 / (C_2+C_3)$  dans la charge est supérieur ou égal à 4.8 % (molaire), elle traitera le produit de tête du Fractionnateur.

L'alimentation se fait normalement sous forme de liquide sous-refroidi à 50°C.

La pression à l'intérieur de la colonne est de 22 Kg/cm<sup>2</sup>

**I- B-3-2-B-c/ Le dépentaniseur :**

Le dépentaniseur qui traitera le produit de fond sera mis en marche, lorsque le rapport  $C_5 / (C_5 + C_4)$  est supérieur ou égal à 1,75 %.

- La température d'alimentation est de 60°C.
- La pression d'alimentation est de 7 Kg/cm<sup>2</sup>.

Notons qu'il n'existe qu'un seul dépentaniseur pour tous les trains.

**I-3-2-C : Section de Réfrigération : [24]**

Cette section est conçue pour réfrigérer le propane et le butane commercial produit dans la section séparation, les réfrigère jusqu'aux basses températures correspondant au point de saturation liquide et les dirige vers les bacs de stockage à basse température -

Les produits propane et butane sont réfrigérés à travers trois (03) échangeurs suivant un cycle fermé utilisant une boucle de réfrigération à propane.

**I-3-2-D : Section d'Huile Chaude**

La section du fluide caloporteur est utilisée comme source de chaleur pour les rebouilleurs des colonnes de fractionnement et le pré chauffeur final de la charge.

Le four du fluide caloporteur fournit la chaleur nécessaire au gaz de régénération destiné à la section de déshydratation.

- La température d'entrée de l'huile dans le four est de 130°C.
- La température de sortie de l'huile du four est de 180°C.

**I-3-3 : les installations de Stockage des Produits Finis : [25]**

Elles comprennent Deux Sections :

**I-3-3-A : Section de Stockage des Produits :**

Cette section assure le stockage des produits finis. Elle comprend : huit bacs de stockage à basse température dont :

- Quatre pour le propane à  $T = -42\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

- Quatre pour le butane à  $T = -7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La capacité de chaque bac est de  $70000\text{ m}^3$ .

Cinq sphères de stockage à température ambiante dont :

- Une pour le propane à  $P = 3.8-18\text{ Kg/cm}^2$ .

- Trois pour le butane à  $P = 0.5 - 6.5\text{ Kg/cm}^2$ .

- Une pour le pentane à  $P = 0.1 - 1.3\text{ Kg/cm}^2$

la capacité de chaque sphère est de  $500\text{ m}^3$ .

### **I-3-3-B : Section de Récupération des Gaz Evaporés (Boil ofGas) :**

Le but de cette récupération est la liquéfaction des gaz d'évaporation pour les renvoyer dans les systèmes de stockage.

Ces gaz d'évaporation proviennent des différentes capacités de l'usine (ex. les bacs de stockage et l'évaporation des gaz contenus dans les citernes, des navires au moment de leur chargement).

### **I-3-4 : Les installations de chargements :**

Les produits stockés sont expédiés vers les acheteurs par deux façons différentes.

Expédition par navires : cela concerne les produits à basse température (marché extérieur).

Expédition par camions : destinée au marché national et concerne les produits à température ambiante [26].

### **I-3-4 -A : Section de Chargement de Bateaux à Basse Températures**

Deux systèmes de chargements sont respectivement installés au bout des jetées

$D_1$  et  $M_6$ , le débit de chargement est le suivant :

Propane ..... Max.  $10.000\text{ m}^3/\text{hr}$ .

Poste  $D_1$  .....  $4.000\text{ m}^3/\text{hr}$ .

Poste  $M_6$ .....  $10.000\text{ m}^3/\text{hr}$ .

Butane ..... max.  $10\ 000\text{ m}^3$

**I-3-4-B : Section de Chargement de Camions à Température Ambiante**

Dans cette Zone s'effectue le Chargement du Butane et du Propane à Température ambiante à partir de quatre (04) Sphères.

Les Sphères sont alimentées par les Sections de séparation.

Les utilités sont tout produit autre que les matières premières et les produits Finis qui participent activement à leur fabrication (énergie électrique, production de vapeur, d'air comprimé, d'eau distillé, azote, méthanol .....etc.).

## Conclusion

Le GPL a aussi des avantages pour l'environnement telle que les émissions faibles de teneur en soufre, il caractérise aussi la facilité de transport et de stockage.

Le GPL est une source d'énergie propre, économique, et immédiatement disponible par tous qui peut être utilisé pratiquement n'importe où, en émettant 35% moins de CO<sub>2</sub> que le charbon et 12% en moins que le naphta .il n'émet aussi presque aucun carbone [22].

Il est nécessaire de faire fonctionner les unités de production et traitements du GPL, nous avons la capacité de rendement maximal en raison de son importance pour le développement de notre pays et aussi éviter toute perte de notre richesse nationale [19].

Finalement, on peut conclure que le GPL peut être l'énergie de l'avenir car il peut être utilisé dans tous les secteurs tertiaires et industriels en tant que combustible, dans la pétrochimie en tant qu'intermédiaire, dans les secteurs du transport comme combustible et source de production d'électricité.

**CHAPITRE II : MODE DE DESYDRATATION  
ETTAMIS MOLECULAIR**

## II-1 : Introduction :

Pour éviter l'obturation des conduits de transport ou des installations de traitement des GPL, il doit être utilisé la méthode suivante : La déshydratation GPL., cette méthode visant à réduire la teneur en eau (humidité) pour éviter la formation des hydrates [27].

## II-2 : Les modes de déshydratation :

Les procédés de déshydratation du GPL peuvent être divisés en trois catégories :

- 1- Inhibition par injection d'inhibiteur de formation d'hydrates.
- 2- Déshydratation par absorption dans un liquide.
- 3- Adsorption sur un agent desséchant solide activé

### II-2-1 : Inhibition par injection d'inhibiteur de formation d'hydrates

On utilise les méthodes suivantes, pour empêcher la formation des hydrates :

#### A- Injection de glycol :

Peut-être inhibée la formation des hydrates pendant le refroidissement par injection de :

- Le glycol liquide.
- L'éthylène glycol (E.G)
- Le tri-éthylène -glycol (T.E.G).
- Le di-éthylène glycol (D.E.G).

Ce dernier est le plus utilisé, parce que son coût est faible et du fait qu'il est le moins soluble dans les hydrocarbures liquides.

Le glycol absorbe l'eau, empêchant d'atteindre les conditions dans lesquelles les hydrates d'hydrocarbures solides peuvent se former.

#### B- Injection de méthanol :

Pour empêcher la formation d'hydrates, le méthanol doit être injecté dans un courant gazeux

Mais des injections intermittentes de méthanol sont fréquentes et n'entraînent qu'une légère formation d'hydrates [28].

## II-2-2 : Déshydratation par absorption dans un liquide

Le liquide absorbant doit être disponible selon une variété de conditions, pour pouvoir être utilisé pour la déshydratation, c'est à dire:

- Grande affinité pour l'eau.
- Absence de caractère corrosif (moindre coût).
- Stabilité pendant la régénération.
- Facilité de régénération.
- Faible pression de vapeur à la température de contact.
- Déshydratation faible et tendance à former une mousse et une faible viscosité

En effet, Le di-éthylène glycol (DEG) et le tri-éthylène glycol (TEG) sont les deux composés organiques qui répondent d'une manière satisfaisante à toutes ces exigences [29].

## II-2-3 : Adsorption sur un agent desséchant solide activé

### II-2-3-1 : Généralité :

L'adsorption fait partie des opérations physiques de séparation des mélanges elle se manifeste, lorsqu'on met en contact un fluide et un solide, par une différence de composition entre la phase adsorbée au voisinage immédiat du solide, et la phase fluide.

L'étude des équilibres d'adsorption permet de connaître le degré maximal de séparation susceptible d'être obtenu dans des conditions thermodynamiques données.

La vitesse avec laquelle on s'approche de l'état d'équilibre relève de l'étude de la cinétique de l'adsorption ; celle-ci dépend de la vitesse avec laquelle les constituants du mélange à séparer diffusent dans l'adsorbant et dans le fluide et, par suite, des conditions thermodynamiques dans lesquelles s'effectue le contact. Elle aboutit à la détermination de l'efficacité d'un appareillage [28].

### II-2-3-2 : description du procédé d'adsorption

L'adsorption est un transfert de matière d'une phase gazeuse à une phase solide appelé dessiccant contrairement à l'absorption. Lorsque les molécules contenues dans un courant de fluide sont amenées en contact avec une surface solide, elles vont être maintenues à la surface par des forces qui dépendent de la nature chimique et physique à la fois du solide et des molécules gazeuses [29].

Les molécules, ions ou atomes formant la surface d'un solide sont soumis à des forces dissymétriques qui se traduisent par un champ de forces attractives. Ce champ a une portée limitée à des distances de l'ordre de grandeur des dimensions des atomes (quelques Å°).



Il est tout de même suffisant pour attirer les molécules de gaz (ou de liquide) situées au voisinage immédiat l'interface. Ce sont des forces qui provoquent la fixation des molécules à la surface.

L'adsorption d'un fluide par un solide se manifeste donc par l'existence, à l'interface solide fluide d'une couche où la répartition des molécules est différente de celle régnant au sein du fluide.

Si on plonge un adsorbant dans un fluide, la composition de ce dernier varie plus au moins vite jusqu'à atteindre une valeur d'équilibre

L'adsorption est un processus spontané toujours exothermique.

Suivant la grandeur des énergies mises en jeu, le phénomène d'adsorption présente des caractéristiques qui permettront de le classer soit dans la catégorie de l'adsorption physique soit dans l'adsorption chimique [30].

### II-2-3-3 : La zone de transfert de masse ZTM :

A l'intérieur de la colonne d'adsorption contenant du tamis moléculaire, la quantité de matière pouvant être adsorbée du fluide porteur au lit de tamis moléculaire, s'effectue au sein d'une zone appelée : zone de transfert de masse.

Par définition, cette zone est la partie du lit dans laquelle la teneur en adsorbat diminue de la concentration initiale (à l'entrée) à la concentration finale (à la sortie).

La zone de transfert de masse est influencée par :

- ✓ La vitesse superficielle du fluide à traiter
- ✓ La concentration de l'adsorbat dans la charge
- ✓ Pureté attendue de la charge (présence de molécules concurrentes) [36].

La zone de transfert de masse subit une variation, les couches de l'adsorbant se saturent, ceci s'accompagne d'un déplacement de la ZMT jusqu'à atteindre la sortie de la colonne

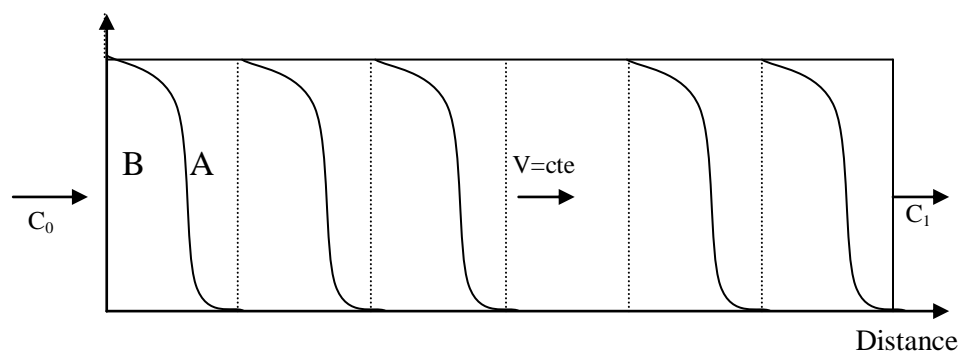


Figure II-1 : Evolution de la concentration de l'adsorbat (fluide) au cours de l'adsorption.

A l'instant où l'eau apparaît dans la charge à la sortie de la section de déshydratation s'appelle temps de rupture et il s'obtient quand le rapport  $C_1/C_0 = 5\%$ .

Si la charge continue son passage à travers le lit, on arrive à un instant où la concentration de l'eau dans l'effluent est presque égale à celle contenue dans la charge ( $C_1/C_0 = 95\%$ ), c'est temps de saturation.

L'importance de la zone de transfert de matière dépend principalement :

✓ De la cinétique de l'adsorption, de l'adsorbat.

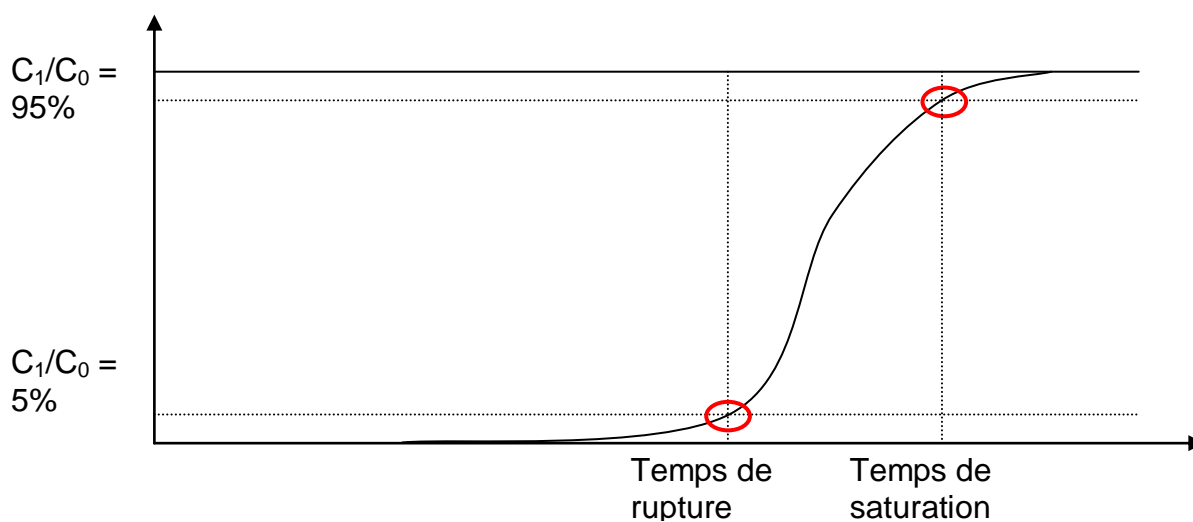
Des caractéristiques thermodynamiques du fluide vecteur.

✓ De la vitesse linéaire superficielle.

✓ Des types, de la forme et de granulométrie du tamis moléculaires.

✓ Des concentrations  $C_0$  et  $C_s$  [27].

La zone de transfert de masse est égale à 1/3 de la zone de saturation, il est également courant d'ajouter 0.3 à 0.6 m de desséchant au fond du lit qui agissent comme sécurité pour éviter de faire sortir le point de percée du lit. (Voir figure II-2).



**Figure II-2 : La courbe de percée.**

Dans la pratique on limite le temps du cycle d'adsorption quand  $t_{\text{cycle}} = t_{\text{rupture}}$

La Z.M.T est une fonction de :

- La nature de l'adsorbant.
- Du débit d'alimentation.
- La nature ou de la composition du mélange à traiter.
- De la saturation relative du mélange en adsorbat.

### II-2-3-4 : Principaux adsorbant

La majorité d'adsorbants industriels sont capables d'adsorber les gaz ou les fluides organiques ou inorganiques mais leurs caractéristiques d'adsorption rendent chacune plus ou moins spécifique à une application particulière.

Dans l'industrie de traitement de gaz, il existe différent type d'adsorbants à savoir :

- \* **Les selica gel ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )** : C'est un produit dur, granulaire, très poreuses et disponible dans le commerce sous forme de poudre ou des grains de taille déférentes. [31] Il est amorphe et fortement poreux ; les pores ayant un diamètre moyen de  $40\text{Å}$ . Il a la capacité d'adsorption d'eau la plus élevée ( $40 \text{ kg H}_2\text{O}/100 \text{ kg selica gel}$ ) ; Il permet d'avoir un point de rosée de  $-60^\circ\text{c}$ , utilisé généralement pour la déshydratation de l'air [32].
- \* **Les charbons actifs** : Ils sont préparés à partir des matières organiques , Sont caractérisé par une porosité importante pour adsorber les hydrocarbures paraffinés et les produits organiques, Utilisé généralement pour l'adsorption des matières organiques contenues dans les eaux usées[31]et la récupérations des solvants, peut être préparé à partir des coquilles de noix et le charbon, Les charbons actifs sont disponibles sous formes de granules ou poudre ,Et ils sont régénérés à une température qui ne doit pas dépasser les  $150^\circ\text{c}$  [32].
- \* **Les alumines actives ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )** : sont obtenues par déshydratation thermique du tri hydrate d'alumine. Comme les gels de silice, ils Commercialisées sous forme de poudre granulée, Utilisé comme déshydratants pour les gaz et les liquides [8].et ils sont capable de réduire la teneur en eau d'un fluide à environ point de rosée de  $-75^\circ\text{c}$  ( $1\text{ppm v H}_2\text{O}$ ), Par conséquent ses capacités de séchage extraordinaires sont similaires à celles de la silice et inférieur à celle de l'alumine activée [32].
- \* **Les tamis moléculaires** : Ce sont des cristaux de zéolithe synthétique de métal aluminosilicate [31], ils Cristallisent de telle manière qu'ils forment une structure moléculaire poreuse dont les diamètres des pores sont parfaitement définis.

Un tamis moléculaire est capable d'adsorber environ 10 % de son poids en eau, et leur régénération exige une température très élevée environ a  $200^\circ\text{C}$  par un passage du gaz sec [32], ils utilisent largement dans le domaine de déshydratation du gaz naturel [31].

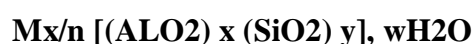
## II-3 : Tamis moléculaires :

### II-3-1 : généralité

Les tamis moléculaires diffèrent des agents adsorbants traditionnels principalement par leur aptitude à adsorber des petites molécules tout en excluant de grandes molécules, si bien que des séparations peuvent être effectuées sur les différences de taille des molécules (voir l'annexe 4 et 7) [33].

Les tamis moléculaires sont des adsorbants uniques et intéressants qui sont disponibles.

Les tamis moléculaires sont des aluminosilicates de métaux hydrates cristallins offrant un certain nombre de propriétés inhabituelles. Leur formule chimique générale est :



N étant la valence du cation M, x et y des nombres entiers avec y/x égal ou supérieur à 1 et w le nombre de molécules d'eau par maille [27].

Les types commerciaux importants de tamis moléculaires sont faits de matière synthétique mais leur structure est relativement similaire à certains minéraux naturels pour être classifiés comme zéolites. Bien que les structures cristallines de certains tamis moléculaires soient quelques peu différentes, (deux types, A et X), sont les plus importants voire Annexe2, leur importance autant qu'agents adsorbants commerciaux vient du fait que dans chacun d'eux, les cristaux contiennent des cavités d'interconnexion de dimensions uniformes, séparées par des ouvertures plus étroites, ou pores uniformes.

Les tamis moléculaires sont également caractérisés par leur capacité d'adsorption relativement élevée aux faibles concentrations du matériau adsorbé, et ont une affinité élevée pour les composés de type polaire et non saturé [29].

Les tamis moléculaires sont des zéolites synthétiques ou silico aluminates métalliques à structure cristalline tridimensionnelle poreuse [33], constitués par assemblage de tétraèdres.

Les tétraèdres sont formés par quatre atomes d'oxygène occupant les sommets et entourant soit un atome de silicium ou d'aluminium placé au centre.

Les tamis moléculaires sont des produits cristallisés dont la dimension des pores est rigoureusement définie et homogène dans toute la masse. Du fait de cette homogénéité, le phénomène d'adsorption n'intervient que si les molécules d'adsorbât sont suffisamment petites, et de forme convenable pour pénétrer dans les pores d'où le nom de tamis moléculaire [29].

## II-4 : Adsorption dynamique :

L'adsorption est un phénomène de surface qui correspond à la fixation des molécules d'un fluide à la surface d'un solide. Les solides poreux, qui présentent une grande porosité interne et dont la surface développée de support est de l'ordre de plusieurs centaines de  $m^2/gr$  de par leur structure cristalline à pores de dimensions bien déterminées, ont une sélectivité d'adsorption maximale.

En adsorption dite dynamique, le lit granulaire de matériau adsorbant, placé dans une colonne d'adsorption ou adsorbent. Est percolé par le fluide vecteur contenant les molécules à séparer par adsorption [34].

## II-5 : Effet des variables de conception du lit :

L'adsorption est en fait un procédé cinétique, La zone de transfert de masse correspond à la longueur du lit nécessaire au phénomène d'adsorption, c'est-à-dire à la distance que doit parcourir une unité de fluide pour sa concentration d'eau d'entrée chute à essentiellement zéro, La longueur de cette zone est fonction de plusieurs facteurs [35].

### II-5 -1 : Vitesse et diamètre du lit :

Variation l'efficacité des lits en termes de longueur et de diamètre le lit court qui ont un grand diamètre moins plus efficace de lit long qui caractérise par de faible diamètre c'est dire que l'efficacité de lits augmente de diamètre décroissant En général, les lits longs et de faibles diamètres sont plus efficaces que les lits courts de grands diamètres.

Le tableau suivant donne trois configurations de lit pour le séchage de l'air sur tamis moléculaire. Bien que tous fonctionnent correctement, il convient de remarquer l'efficacité plus élevée des lits de petit diamètre [34].

Tamis moléculaire Lb	Capacité utile Adsorbé d'eau %	Diamètres du lit ft	Haut du lit ft	chute de P° PSI
8900	10	4.5	12.1	4.3
9610	9.3	6	7.4	0.9
10200	8.7	7	5.8	0.4

**Tableau II-1 : les trois configurations de lit pour le séchage de l'air sur tamis moléculaire.**

## II-5-2 Teneur en adsorbat de l'effluent :

Le désir de réduire la teneur en eau d l'effluent augmentait la longueur de la zone de transfert de masse ainsi la capacité utile du lit adsorbant dépendant également du teneur d'adsorption. Puisque la longueur de la zone de transfert de masse augmente lorsque l'on désire diminuer la concentration de l'effluent.

Une faible concentration en adsorbat se traduit par de faible capacité d'adsorption [34]

## II-6 : Les hydrate

### II-6- 1 : Définition

Un hydrate est une combinaison physique de l'eau et d'autres petites molécules de gaz (l'hydrocarbure) [27], produisant un solide qui a une apparence semblable à la glace, mais de structure différente de celle-ci ils sont donc formés à partir des hydrocarbures dissous dans la phase d'eau libre [29].

### II-6-2 : Structure des hydrates :

En présence d'un gaz léger, les molécules d'eau peuvent former une structure cristalline régulière comprenant des cavités ou cages, dans laquelle sont piégées les molécules de gaz.

Il y a deux structures cristallines pour les hydrates des GPL sont

- \* Les petites molécules des gaz ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$  et  $\text{H}_2\text{S}$ ) forment avec l'eau, un corps centré de structure cubique qui s'appelle (structure I).
- \* Les grandes molécules tell que ( $\text{C}_3\text{H}_8$  et  $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ ) forment la (structure II) avec 17 molécules d'eau pour une molécule de gaz qui ont le type d'un diamant [37].

### II-6 -3 : Les facteurs de formation d'hydrates :

Les risques de formation d'hydrates se situent à des endroits bien précis dans l'unité là où la formation d'hydrates est thermodynamiquement possible, les conditions qui probatoire la formation d'hydrates est :

#### a) facteurs primaires :

- Les hautes pressions
- Présence d'eau dans le gaz.
- Le gaz doit être à ou au-dessous de son point de Rosée.

- Les basses températures.

**b) facteurs secondaires :**

- Les hautes vitesses de circulation en créant une forte turbulence.
- Les fluctuations de pression.
- L'agitation.
- Présence de petits cristaux d'hydrates qui peuvent jouer un rôle de catalyseur de Réaction
- Un site physique pour la formation d'hydrates tels que : pipes, orifice [29].

**II-7 : Section de déshydratation**

La présence d'eau dans GPL entraîne nombreux problèmes pour l'exploitation, suivant les conditions de température et de pression qui régnent dans une installation ; la vapeur d'eau peut se condenser et provoquer ainsi la formation des hydrates, ou bien se solidifier ou favoriser la corrosion si le gaz contient des composants acides.

Il est nécessaire de réduire la teneur en eau du gaz de pétrole liquéfié pour éviter de tels problèmes grâce à des techniques de traitement appropriées.

La déshydratation du GPL est réalisée par divers types de processus tel que : absorption, adsorption etc. dans notre travail, Nous verrons le procédé de déshydratation par adsorption.

La section de déshydratation, dans l'industrie de traitement du GPL, permet d'éliminer l'eau contenue dans le GPL d'alimentation en utilisant des tamis moléculaires qui adsorbent les molécules d'eau afin d'éviter tout givrage dans la section de réfrigération et les conduits de transport ou des installations [30].

**II-7-1 : But de section déshydratation :**

Ce procédé très important utilisé en générale dans le traitement des gaz en amont de la partie séparation et réfrigération est considéré comme un prétraitement pour :

- ✓ Empêcher la corrosion des équipements en éliminant la vapeur d'eau du gaz surtout si le gaz de séparation contient du CO<sub>2</sub> car  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Acide carbonique}$  (qui n'existe qu'en solution sous forme ionique).
- ✓ Supprimer le risque d'arrivées de gouttelettes dans les rotors des compresseurs centrifuges.
- ✓ Réduire les pertes de charges dans les pipelines et amoindrir l'accumulation d'eau libre dans les points bas.

- ✓ Permettre les traitements en aval tel que dégazolinage et récupération des GPL
- ✓ Diminuer la charge de travail des sécheurs à tamis moléculaires en amont Des turbo-détendeurs.
- ✓ Pour éviter les problèmes de corrosion des réseaux de gaz lift ou gaz injection
- ✓ Diminution de pouvoir calorifique de gaz
- ✓ Eviter de solidification dans les procédés cryogéniques [38].

### II-7-2 : Description de la section de déshydratation

Le but de la section de déshydratation est de réduire la teneur d'eau dissoute dans le GPL en phase liquide de 100 ppm à 5 ppm en poids pour éviter ainsi les problèmes de formation de glace et de bouchons de givre dans les parties froides de l'installation (réfrigération).

La section de déshydratation comprend trois colonnes d'adsorption à tamis moléculaire et fonctionnant en parallèle à tout instant on a une colonne en service (en adsorption), l'autre en régénération tandis que la dernière en attente. Le GPL passe dans le sécheur du bas vers le haut, l'humidité est extraite lors du passage du GPL à travers le lit de tamis moléculaires pendant 36 heures, à l'expiration de ce temps, la colonne en réserve est mise en ligne, et la colonne qui était en service passe en régénération, à ce moment-là troisième colonne a achevé son cycle de régénération et passe en attente.

L'écoulement à travers la colonne, pendant l'adsorption, se fait du bas vers le haut. [20] dans la première colonne en traversant le lit absorbant de tamis moléculaires. Les tamis se trouvent donc hydratés, et cette colonne commencera son cycle de régénération [39].

Il faut aussi noter que la section de déshydratation de la charge peut travailler sur seulement deux adsorbants, si bien qu'une colonne peut être révisée, pendant que les deux autres assurent le séchage de la charge [9].

Le fonctionnement de la section déshydratation de l'alimentation est en continu, automatique et en séquence sous la commande d'un programmeur ; le contrôleur matriciel du cycle [12].

### II -7-3 : Cycle de régénération [2] :

Le cycle de régénération est composé de plusieurs séquences : drainage, dépressurisation, chauffage, refroidissement, pressurisation et remplissage.



	Temps (H)	P (bar) (Kg/cm <sup>2</sup> )	T (°C)
Drainage	1	20	30
Dépressurisation	0,5	4,5	30
Réchauffage	11	4,5	280
Refroidissement	5	4,5	12,7
Pressurisation	0,5	20	45
Remplissage	1	30	30

**Tableau II.2: conditions opératoires de chaque étape du cycle de régénération**

### II-7-3-1- Drainage (durée 1h)

Après la fermeture du vanne 2A, Dès que V-1001B est mis en ligne la séquence de régénération commence avec le drainage du GPL restant dans la colonne d'adsorption. Le GPL brut est évacué vers les réservoirs sphériques d'alimentation sous la pression du gaz naturel (20 kg/cm<sup>2</sup>) introduit en partie supérieur de la colonne.

Les vannes 3A et 4A s'ouvrent pour refouler le GPL vers les réservoirs sphériques d'alimentation, à l'état liquide. A ce moment, LS-1, un contact de niveau est mis en service.

Lorsque le niveau liquide atteint LS-1, la vanne 3A et puis la vanne 4A se ferment. L'opération de drainage est alors terminée et LS-1 est mis hors service.

Le temps prévu pour le drainage est d'environ une heure [2].

### II-7-3 -2 : Dépressurisations (durée 30mn)

Avant de pouvoir commencer la séquence de chauffage il devrait réduire la pression dans V-1001 A qui était de 20 kg/cm<sup>2</sup> Après l'achèvement complet de la colonne d'adsorption, il faut que cette pression soit réduite à 4,5 kg/cm<sup>2</sup>

La commande automatique chronologique ouvre d'abord la vanne 11 et suite la vanne 7A, c'est alors que les vannes 3A et 4A sont en mode fermée, PDS- et met le contact de la pression différentielle 2 en service. V-1001A est alors dépressurisé lentement vers le réseau de fuel gaz.

Lorsque PDS-2 signale un débit zéro, la vanne 11 se ferme automatiquement la vanne 7A reste ouverte. La pression dans la colonne est alors de 4,5 kg/cm<sup>3</sup> e, La dépressurisation demande environ une demi-heure.

### II-7 -3-3 : Chauffage (11 heures)

L'opération principale de la séquence de régénération est la séquence de chauffage

parce que l'eau adsorbée soit éliminée complètement des tamis moléculaires pendant cette opération.

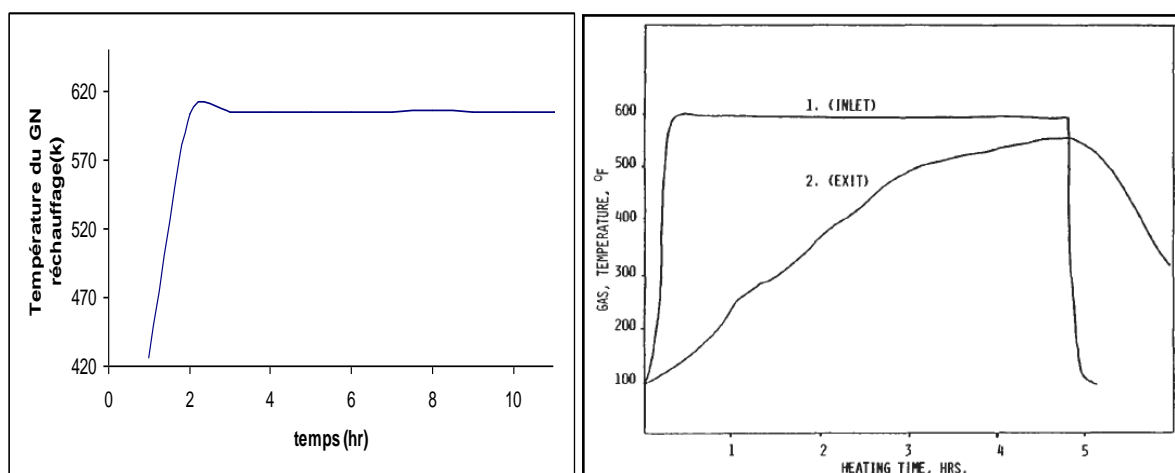
Le chauffage de lit du tamis moléculaire doit être du haut vers le bas, en se servant du gaz naturel chaud, qui a été chauffé à température 280°C dans le four de fluide caloporteur.

Pour démarrer la séquence de chauffage, on ouvre les vannes 8,6 et 10A. Le contrôleur du débit dans la canalisation du gaz chaud introduit un débit constant de gaz dans le lit, qui s'échauffe lentement, pour chasser l'eau entraînée.

L'aéroréfrigérant E-1001 est mis en service pour refroidir le gaz sortant du lit et pour condenser une partie de l'eau contenue dans le gaz. Le gaz refroidi entre dans le séparateur de drainage V-1002 où l'eau libre est séparée et s'écoule sous contrôle du niveau, vers les égouts des eaux huileuses.

Le gaz réfrigérant est passé en tête vers le réseau de fuel gaz. Le condensat d'hydrocarbure qui se forme éventuellement au-dessus du niveau de l'eau libre est envoyé sous contrôle de niveau vers le réseau de purge. Le gaz refroidi peut également être envoyé directement à la flamme, sous contrôle de pression.

La période de chauffage demande 11 heures, ensuite le cycle est arrêté par le programmeur et par TS-1 qui signale que le fond du lit a atteint sa température de régénération de 280°C.



**Figure II.3: Profil de Température de régénération [40].**

#### II-7-3-4 : Refroidissement (dure 5 heures)

Le refroidissement du lit se fait dans le sens inverse du chauffage, c'est-à-dire du fond vers le haut. Pour la séquence de refroidissement, on utilise le gaz naturel froid (12.7 °C).

Le processus de refroidissement est effectué après l'ouverture des vannes 5 et 9, et considérant que le TS-2 est mis en service. Les vannes 7A et 10A restent ouvertes après la séquence de

chauffage et E-1001 reste en service.

Par un régulateur de débit, le flux du gaz froid entrant dans le lit est maintenu, le refroidissement avoir besoin de 5 heures et sa fin est signalée par TS-2 qui indique que le dessus du lit s'est suffisamment refroidi (45 °C).

Pendant la séquence de refroidissement, Le gaz utilisé continue pour s'écouler vers le réseau de fuel gaz.

Après le refroidissement, les vannes du lit 9, 7A et 5 se ferment et TS2 est mis hors service.

#### **II-7-3-5 : Remis sous pression (durée 30 mn)**

V- 1001A doit être remis sous pression par du gaz naturel (20 kg/cm<sup>2</sup>.) Avant de pouvoir réintroduire du GPL liquide dans la colonne pour éviter une détente du GPL brut et ainsi une perte du produit.

Pour la remise sous pression, le gaz naturel doit être introduit dans la colonne à faible débit et sous haute pression. Les vannes 13 et 4A s'ouvrent automatiquement et PDS-3 est mis en service.

La pression augmente dans la colonne jusqu'au point de tarage de PDS-3. La vanne 4A se ferme alors et PDS-3 est mis hors service. La pression dans V-1001A atteint alors 20 kg/cm<sup>2</sup>.

L'opération de remise sous pression dure environ une demi-heure.

#### **II-7-3-6 : Remplissage en liquide**

Après la remise sous pression, le GPL liquide peut être réintroduit dans la colonne, sans risque de détente.

Au fur et à mesure que le GPL liquide remonte dans la colonne, le gaz est refoulé sous contrôle de pression en tête. Lorsque le niveau du liquide atteint LS-2, la vanne 12A se ferme. Cette opération demande environ une heure.

V-1001A a alors achevé le cycle de régénération et se trouve en réserve. La durée de disponibilité en réserve est normalement de 53 heures. La durée totale de la régénération est de 15 heures.

17 heures plus tard, le cycle d'adsorption de V-1001B est achevé et son cycle de régénération commence. V-1001C est mis en ligne et commence son cycle d'adsorption tandis que V-1001A reste en réserve [41].



**CHAPITRE III : PRESENTATION DE  
PROBLEME ET LA METHODE DE CALCUL**



### III-1 : introduction :

Dans notre étude nous allons traiter l'impact de la diminution de la teneur en eau du GPL sur les paramètres de fonctionnement de la section de déshydratation de charge.

Le design de la déshydratation de charge du complexe GP1/Z a été conçu pour une teneur en eau dissoute dans la charge GPL égale à 100 ppm, mais on a maintenant remarqué que cette teneur n'atteignait pas la valeur de 1 conception pour laquelle le sécheur était réfère à la manipulation de la charge provenant du sud. Avant d'arriver au sécheur ; ceci est dû au prétraitement de la charge

En effet, le temps d'adsorption a été déterminé à 36 heures et celui de la régénération à 19 heures pour une concentration en eau qui atteint à 100ppm. Mais il est maintenant observé que les concentrations actuelles d'eau dans les charges GPL sont réduites à des valeurs pouvant atteindre moins de 25ppm de cela signifie le tamis n'est pas totalement utilisé.

Nous avons vu que le problème est continué et permanent après le contrôle de la teneur en eau dans la charge GPL à l'entrée du déshydrateur a été effectué sur une durée d'un mois suivant la courbe ci-dessous et ceci conduit à de considérables pertes économiques vu que le lit d'adsorption travaille au-dessous de sa capacité d'adsorption.

Dans le but d'optimiser le fonctionnement de la section de déshydratation de charge, l'objet de notre travail consiste à effectuer une étude en prenant en considération les différentes concentrations en eau.

C'est pourquoi on a commencé par la recherche des solutions possibles à notre problème cette recherche nous permet d'étudier les deux solutions qui sont les suivantes :

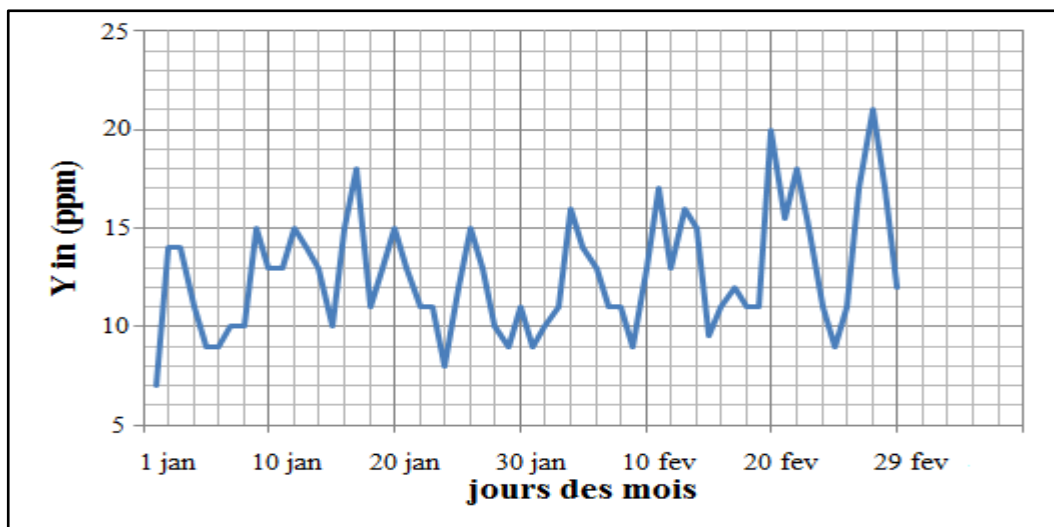
1. la prolongation du temps d'adsorption.
2. la réduction du temps de régénération
3. la réduction de la masse du tamis moléculaire

En se basant sur le dimensionnement du déshydrateur de charge et calcul du bilan massique et énergétique.

On choisit la solution qui nous fournit la plus grand d'économiser de l'énergie et de préserver la durée de vie du desséchant sans effectuer la capacité de production et la qualité du produit final.

Il a été remarqué qu'il va y avoir moins de dépôt de coke sur la surface du tamis ; Grâce à la réduction du nombre de cycles de chauffage. Par conséquent la durée de vie du desséchant augment suite à cette diminution par ce qu'il va être moins exposé aux contraintes des séquences : dépressurisation, pressurisation, chauffage, refroidissement.

La variation de la teneur en eau dans la charge durant des mois de janvier et de février 2017. (Voir figure III-1)



**Figure III-1 : La variation de la teneur en eau dans la charge durant**

**Des mois de janvier et de février 2017.**

### III-2 : Interprétation de graphe :

On a fait un bulletin d'analyse de la teneur en eau dans la charge GPL à l'entrée du sécheur, D'après les relevés qu'on a effectués, on a fait le suivi pendant deux mois « figure (III, 1)» **donc** la concentration de la charge en eau ne dépasse pas les 22 ppm qui est une teneur inférieure à la valeur de la conception (design) qui estimée (100 ppm).

En raison du bien fonctionnement du dessiccant au-dessous de sa capacité d'adsorption? il en résulte des pertes d'énergies importantes.

### III-3 : La méthode de calcul :

Le but de cette partie de travail est d'optimiser le fonctionnement de la section déshydratation de charge, en déterminant le temps d'adsorption nécessaire a l'adsorption afin de faire passer l'adsorbant au point de saturation et en fonction du contenu d'eau dans la charge ; tout en essayant d'améliorer les paramètres de fonctionnement du cycle de chauffage.

Pour cela, la partie calcul comprend :

- Un bilan thermique.
- Un bilan de matière.



Les parties essentielles de notre travail sont Les bilans thermiques et matière sont, où on va évaluer la quantité de chaleur et le débit de GN nécessaires à la régénération du sécheur.

Avant chaque action (application), nous nous vérifions la fiabilité de la méthode adoptée par la suite dans un sous-titre « Validation de méthode » où les calculs seront faits pour un déshydrater de charge fonctionnant selon le design.

### III-4 : Constitution d'un déshydrateur de charge : [25], [7]

Le tamis moléculaire est La partie essentielle d'une colonne de déshydratation qui est l'agent adsorbant. Et une couche de billes en céramique (alumine) de 150 mm d'épaisseur avec une couche similaire au-dessus qui présentent un support.

En général pour supporter le tamis moléculaire. On utilise des treillis métalliques, des grilles et des tiges sont utilisées

La fiche technique du tamis moléculaire et représenté sur le (Tableau III-1) : [25]

<b>Diamètre nominal des pores</b>	4°A
<b>Diamètre des particules</b>	3.2 mm
<b>Densité tassée</b>	640 kg / m <sup>3</sup>
<b>Chaleur de désorption de l'eau</b>	1800 BTU / Lb d'eau
<b>Teneur en eau résiduelle</b>	2%
<b>Capacité en eau à l'équilibre</b>	22%
<b>Capacité calorifique</b>	0.22 k cal / kg °C

**Tableau (III-1) : La fiche technique du tamis moléculaire.**

#### **Les conditions opératoires d'adsorption / désorption : (cas réel) [25]**

- Durée d'adsorption : 36 heures.
- Durée de régénération : 19 heures.

Réchauffage = 11 heures.

Refroidissement = 5 heures.

**Température d'entrée du gaz de régénération : [25]**

Réchauffage T = 280°C.

Refroidissement T= 12.7°C.

**III-5 : Théorie de calcul [42].**

**III-5-1 : bilan énergétique**

**5.1.1 Calcul de la quantité totale de chaleur nécessaire à la régénération**

La quantité de chaleur nécessaire à la régénération est :

$$Q_{\text{totale}} = Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{acier}} + Q_{\text{des}} + Q_{\text{pertes}} \dots\dots\dots(1)$$

$Q_{\text{tamis}}$  : La chaleur nécessaire au réchauffage du tamis de la température d'adsorption à la température de désorption (BTU).

$Q_{\text{acier}}$  : La chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier de la température d'adsorption

$Q_{\text{des}}$  : La chaleur nécessaire à la désorption de l'eau fixée sur le tamis (BTU).

$Q_{\text{pertes}}$  : Considérées comme étant égales à 10% de la somme ( $Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{acier}} + Q_{\text{des}}$ ) (BTU).

**III-5-1-2 : Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption de l'eau  $Q_{\text{des}}$**

On calcul la chaleur de désorption de l'eau par la formule suivante :

$$Q_{\text{des}} = M_{\text{ads}} * \Delta H \dots\dots\dots (2)$$

$\Delta H$  : La chaleur spécifique de désorption de l'eau (BTU/ Lb).

**III-5-1-3 : Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis moléculaires  $Q_{\text{tamis}}$**

$$Q_{\text{tamis}} = m_t * C_{p_t} * (T - T_{\text{ads}}) \dots\dots\dots(3)$$

$M_t$  : La masse totale du tamis moléculaire (Lb).

$C_{p_t}$  : La capacité calorifique du tamis (BTU/ Lb. °F).

$T$  : La température moyenne du lit en fin de réchauffage (°F).

$T_{\text{ads}}$  : La température d'adsorption (°F).

**III-5-1-4 : Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier  $Q_{\text{acier}}$**

$$Q_{\text{acier}} = mc * C_{p_c} * (T - T_{\text{ads}}) (4)$$

$C_{p_c}$  : La capacité calorifique de l'acier (BTU / Lb. °F).

**III-5-1-5 : Calcul des pertes de chaleur  $Q_{\text{perte}}$**

$$Q_{\text{pertes}} = 0.1 * (Q_{\text{des}} + Q_{\text{tami}} + Q_{\text{acier}}) \dots \dots \dots (5)$$

Pour pouvoir calculer les besoins en chaleur ( $Q_{\text{totale}}$ ), nous avons besoin de la température du lit en fin de chauffage «  $T$  » :

❖ **Calcul de la température du lit «  $T$  » [42]**

On peut l'obtenir par la relation suivante :

$$T = T_s - (T_e - T_s) / 2 \dots \dots \dots (6)$$

$T_e$  : La température d'entrée du gaz de régénération (°F).

$T_s$  : La température de sortie du gaz de régénération (°F).

**III-5-1-6 : Calcul de la chaleur  $H_f$  fournie par le four [44]**

$$H_f = Q_{\text{totale}} / (1/\epsilon) \dots \dots \dots (7)$$

$(1/\epsilon)$  : L'efficacité thermique de four.

**III-5-1-7 : Calcul du temps de réchauffage du tamis «  $t_r$  » [42]**

$$t_r = H_f / (\Delta H_{(T_i - T_e)} * M_g) \dots \dots (8)$$

$M_g$  : Le débit du gaz de chauffage ( $Nm^3 / hr$ ).

$\Delta H_{(T_e - T_{ads})}$  : La différence de l'enthalpie du gaz (BTU /  $Nm^3$ ).

$T_r$  : Le temps de chauffage (hr).

**III-5-1-8 : calculs de la chaleur fournie par le four par  $H_f$  / cycle**

$H_{f/cycle} = (3 * H_f * t_r) / c_{\text{cycle}}$  et on a cycle =  $3 * t_{ads}$  donc :

$$H_{f/cycle} = (H_f * t_r) / t_{ads} \dots \dots \dots (9)$$

$H_{f/cycle}$  : la chaleur fournie par le four par cycle (BTU/hr).

$T_{ads}$  : le temps d'adsorption (hr).

**III-5-1-9 : Calcul du temps de refroidissement du tamis «  $t_{ref}$  »**

$$T_{ref} = ((Q_{tamis} + Q_{acier}) / Q_{totale}) * t_r \dots (10)$$

**III-5-1-10 : Calcul de la chaleur soutirée au système  $Q_{ref}$**

$$Q_{ref} = (Q_{tamis} + Q_{acier}) / t_{ref} \dots (11)$$

**III-5-2 : bilan de matière de la régénération [42].**

Le débit du gaz de refroidissement est calculé comme suit :

$$M_{ref} = Q_{ref} / \Delta H_{(T_s - T_e)} \dots (12)$$

$\Delta H_{(T_s - T_e)}$  : La différence de l'enthalpie du gaz (BTU / Nm<sup>3</sup>) de refroidissement

$M_{ref}$  : Le débit du gaz de refroidissement (Lb/ hr).

$Q_{ref}$  : la chaleur soutirée au système. (BTU/ hr).

$T_E$  : la température d'entrée du gaz de refroidissement (°F).

Après les bilans thermiques et matières, il faudra s'assurer que le débit calculé n'engendrera pas une perte de charge trop importante et que l'écoulement est bien turbulent.

**III-5-3 : Calcul de la chute de pression [42]**

La perte de charge par unité de longueur est donnée par l'équation modifiée :

$$\Delta P/L = A * \mu * U + B * \rho_{GN} * U^2 \dots (13)$$

Où :

$\Delta P/L$  : la perte de charge par unité de longueur (psi / ft).

$\mu$  : la viscosité du GN (Cp).

$U$  : la vitesse superficielle (ft / min).

$\rho_{GN}$  : la masse volumique du GN (Lb/ ft<sup>3</sup>).

**A et B** : des constantes relatives aux dimensions des particules du tamis.

A = 0.0561, B = 0.0000889.

### III-5-4 : Calcul du nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est calculé par la formule suivante :

$$Re = (G * D_p) / \mu \dots\dots\dots(14)$$

Partie 2 :

### III-6 : Etude de la validité e la méthode de calcul

#### III-6-1 : Introduction

Nous nous assurons de la validité de la méthode adoptée ; Avant d'entamer nos calculs,

Pour cela, nous reprendrons le calcul d'un sécheur de la section déshydratation de la charge pour un taux de traitement égal à 100 %.

Nous reprendrons essentiellement le calcul de la quantité de chaleur nécessaire à la régénération ainsi que le débit approprié.

➤ **Propriété du GPL**

- ✓ Débit de traitement à 100% : Q = 239 m<sup>3</sup>/ hr= 8638.94 ft<sup>3</sup> / hr
- ✓ P =30.7 Kg / cm<sup>2</sup>
- ✓ T =25 °C.

COMPOSANT	M <sub>i</sub> (g/mole)	Y <sub>i</sub> (%molaire)	Y <sub>i</sub> * M <sub>i</sub>
C1	16	0.24	0.038
C2	30	1.92	0.576
C3	44	59.37	26.122
I-C <sub>4</sub>	58	13.68	7.934
N-C <sub>4</sub>	58	24.54	14.233
I-C <sub>5</sub>	72	0.20	0.144
N-C <sub>5</sub>	72	0.05	0.036

Tableau III.2 : composition de la charge du GPL.

Poids moléculaire d'un mélange (GPL) est donné par :

$$M_{GPL} = 49.083 \text{ Kg /Kmole}$$

$$M_{GPL} = \sum Y_i * M_i$$

- ✓ Teneur en eau à l'entrée du sécheur :  $X_E = 100 \text{ ppm}$ .
- ✓ Teneur en eau à la sortie du sécheur :  $X_S = 1 \text{ ppm}$ .
- ✓ Phase : liquide
- ✓ Solubilité de l'eau dans le GPL à  $T = 25^\circ\text{C}$  (voir Annexe en°2)
- ✓ Masse volumique du GPL :  $\rho_{GPL} = 33.09 \text{ Lb / ft}^3 = 530 \text{ Kg / m}^3$ .

### III-6-2 : DIMENSIONNEMENT D'UN DESHYDRATEUR [42]

#### III-6-2-1 : Calcul de la quantité d'eau adsorbée

##### ❖ Diamètre minimum du lit

On utilise la formule suivante, Pour le calcul du diamètre minimum du lit

$$D_{\min} = [(4 * (\rho_{GPL} * Q) / (\pi * G))]^{0.5} \dots\dots\dots (15)$$

$D_{\min}$  : Diamètre minimum du lit de tamis (ft).

$Q$  : Débit volumique de la charge ( $\text{ft}^3 / \text{hr}$ ).

$G$  : Vitesse massique de l'écoulement de fluide ( $\text{Lb / ft}^2 \cdot \text{hr}$ )

$P_{GPL}$  : Masse volumique de la charge ( $\text{Lb / ft}^3$ ).

Pour calculer la vitesse massique de l'écoulement il doit être utilise la formule suivante :

$$G = 3600 * (C * \rho_{\text{tamis}} * \rho_{GPL} * D_p)^{0.5} \dots\dots\dots (16)$$

$D_p$  : Diamètre moyen des particules du tamis (ft).

$P_{\text{tamis}}$  : Masse volumique du dessicant ( $\text{Lb / ft}^3$ )

$C$  : Constante relative aux tamis moléculaire ( $C = g * 0,03291925 = 1.06 \text{ft} / \text{sec}^2$ )

##### ❖ Débit d'eau adsorbée

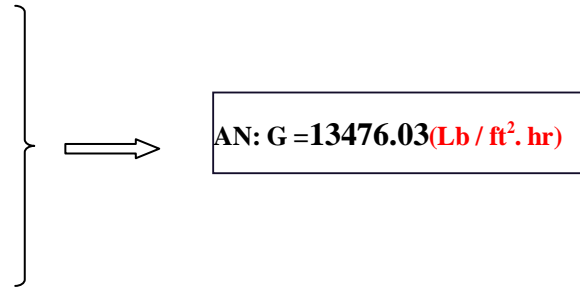
En appliquant les équations 16 et 15, on trouve :

$D_p = 0.01 \text{ ft.}$

$\rho_{\text{tamis}} = 640 \text{ kg / m}^3 = 39.95 \text{ Lb / ft}^3.$

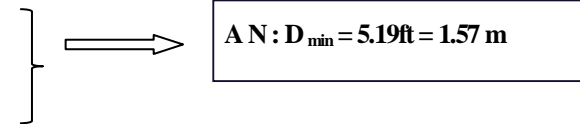
$\rho_{\text{GPL}} = 530 \text{ kg / m}^3 = 33.09 \text{ Lb / ft}^3.$

$g = 32.2 \text{ ft / sec}^2. C = 1.06 \text{ ft / sec}^2$



$G = 1.38 * 10^6 \text{ (Lb / ft}^2 \cdot \text{hr)}.$

$Q = 239 \text{ m}^3 / \text{hr} = 8638.94 \text{ ft}^3 / \text{hr}$



❖ **Hauteur totale du lit [42]**

La hauteur totale du lit est donnée par 1 'équation suivante

$$H_t = H_s + H_z \dots\dots\dots (17)$$

Avec:

$H_z$ : la longueur de la zone de transfert de masse (ft).

$H_s$ : la hauteur de la zone d'équilibre (ft).

❖ **Calcul de la vitesse actuelle d'écoulement de fluide ( $U_{act}$ ) [42]**

$$U_{act} = Q / S \text{ avec } S = (\pi * D_{min}^2) / 4 \dots\dots\dots (18)$$

$D_L$  : le diamètre du lit. ( $D_{min} = 1.57 \text{ m} = 5.19 \text{ ft}$ ).

$S = 21,14 \text{ ft}^2$

$U_{act} = 6.81 \text{ (ft / min)} = 408.65 \text{ (ft / hr)}$

❖ **Calcul le débit d'eau**

$$q_w = (4 * Y_{in} * Q * \rho_{GPL}) / (\pi * D_L^2). \dots\dots\dots (19)$$

$D_L$  : le diamètre du lit. ( $D_L = 2,1 \text{ m} = 6,89 \text{ ft}$ ).

$Q_w = 0.760 \text{ (Lb / ft}^2 \cdot \text{hr)}.$

❖ **Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse**

A : Constante pour les tamis moléculaires [A=225].

$$H_z = (A * q_w^{0.7895}) / (U_{act}^{0.5506} * R_s^{0.2646}) \dots \dots \dots (20)$$

**H<sub>z</sub> = 18.81inch = 1.54ft = 0.46m**

**Q<sub>w</sub>** : quantité d'eau dans le gaz par unité de surface du déshydrateur [lb/hr.ft<sup>2</sup>]

**R<sub>s</sub>**: Saturation relative du gaz d'entrée en % [100% pour notre cas].

**U<sub>act</sub>** : vitesse superficielle du gaz [ft/mn].

❖ **Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre**

$$H_s = H_t - H_z \dots \dots \dots (21)$$

**H<sub>s</sub> = 4.36ft = 1.34 m**

**H<sub>t</sub>** : la hauteur totale du lit (H<sub>t</sub> = 1.8m = 5.9ft).

**H<sub>z</sub>** : la hauteur de la zone de transfert de masse.

❖ **Estimation de la capacité d'adsorption à l'équilibre [42]**

La capacité d'adsorption est de 22 Lb d'eau / Lb de tamis moléculaire qui représente la saturation complète du tamis moléculaire. (Voir l'annexe 5).

$$X_s = (22 - X_1)$$

**X<sub>1</sub>**: la teneur en eau résiduelle,  $x_1 = 2.5\%$  en poids.

A cause des pertes de la capacité lors de l'adsorption engendrée par l'encrassement des pores ; de la destruction des cristaux ; de l'attaque chimique....Etc. il est convenable d'ajouter une quantité de tamis pour compenser l'effet de vieillissement.

Si l'on considère une perte de 5% par an de la capacité d'adsorption avec une durée de vie du tamis égale à trois ans, les pertes seront calculées ainsi :

Coefficient d'usure = 70 %

La capacité sera en fin de compte égale à :

$$X_s = (22 - X_1) * 0.7$$

Alors :

**X<sub>s</sub> = 15,38 Lb d'eau / 100 Lb adsorbant**

❖ **Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de desséchant (X)**



$$X = X_s * [1 - (C * (H_z / H_s))] \dots\dots\dots (22)$$

**X = 12.93 Lb d'eau / 100 Lb de desséchant**

C : une constante empirique qu'on prend généralement égale à 0.45 et qui dépend de la forme des particules de tamis moléculaire.

❖ **Estimation de la quantité d'eau adsorbée  $M_{ads}$**

$$M_{ads} = ((H_s - C * H_z)) * (X_s * D_L^2 * \rho_{tamis}) / 127.38 \quad (23)$$

**$M_{ads} = 0.839 \cdot 10^3 \text{ Lb}$**

❖ **Calcul du temps d'adsorption**

$$t_{ads} = 0.01 * X * H_t * \rho_{tamis} / q_w$$

**$t_{ads} = 37 \text{ hr}$**

❖ **Détermination de l'efficacité d'adsorption :**

$$\text{Eff} = X / X_s$$

**EFF = 84.07**

**III-6-2 -2 : calcul du bilan thermique [42]**

❖ **Propriété du gaz de régénération [43]**

Composant	X <sub>i</sub> en mole	T <sub>ref</sub> (k)	T <sub>rec</sub> (k)	ΔH° (KJ/Kg)	M <sub>i</sub> (Kg/Kmole)	xi % en poids	ΔH°*Xi
C <sub>1</sub>	0,8386	285,85	553,15	698,30	16	0,72	500,69
C <sub>2</sub>	0,0743	285,85	553,15	599,60	30	0,12	71,42
C <sub>3</sub>	0,0186	285,85	553,15	586,64	44	0,04	25,66
iC <sub>4</sub>	0,0026	285,85	553,15	591,34	58	0,01	4,77
nC <sub>4</sub>	0,0008	285,85	553,15	592,58	58	0,00	1,47
iC <sub>5</sub>	0,004	285,85	553,15	585,59	72	0,02	9,01
nC <sub>5</sub>	0,0009	285,85	553,15	586,78	72	0,00	2,03
C <sub>6</sub>	0,0003	285,85	553,15	589,15	86	0,00	0,81
N <sub>2</sub>	0,0557	285,85	553,15	280,49	28	0,08	23,38
CO <sub>2</sub>	0,0024	285,85	553,15	253,63	44	0,01	1,43
He	0,0018	285,85	553,15	0,00	4	0,00	0,00
	1				18,71	1,00	640,66

Tableau III-3 : propriétés de GN utilisé pour la régénération cas réel

Poids moléculaire du GN :

$$M_{GN} = \sum Y_i * M_i$$

M<sub>GN</sub> = 18.71Kg / Kmole

- ❖ Le gaz naturel de Réchauffage  $\left\{ \begin{array}{l} T = 280 \text{ }^\circ\text{C} \quad P = 4.5 \text{ kg / cm}^2 \end{array} \right.$
- ❖ Le gaz naturel de Refroidissement:  $\left\{ \begin{array}{l} T = 12.7 \text{ }^\circ\text{C} \quad P = 4.5 \text{ kg / cm}^2 \end{array} \right.$

❖ Calcul de la masse volumique du GN dans les conditions normal

$$\rho_{GN} = (P * M_{GN}) / (Z * R * T)$$

$$\left. \begin{aligned}
 Z &= 1 \text{ (faible pression, } Z = 1 + (bP/RT)) \\
 M_{GN} &= 18.71 \text{ Kg / K mole.} \\
 T &= 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273.15 \text{ }^\circ\text{K.} \\
 P &= 1.01351 \text{ kg / cm}^2 = 1 \text{ atm.} \\
 R &= 0.08211 \text{ .atm / mole. }^\circ\text{K}
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \boxed{\rho_{GN} = 0.83 \text{ Kg / Nm}^3}$$

➤ Calcul de l'enthalpie de chauffage du gaz de 12.7°C à 280°C [44]

$$\begin{aligned}
 \Delta H &= A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 + FT^5 \\
 T &= T_{rech} - T_{ref}
 \end{aligned}$$

$\Delta H$  : l'enthalpie qui fournit par le four exprimée en (KJ / Kg), Tableau (1).

$T$ : le gradient de la température de chauffage du gaz de GN en (°K).

A, B, C, D, E, F : Constantes des compositions de GN de corrélation (voir l'annexe 6).

$$\Delta H = 640.66 \text{Kj / Kg} = 2.75 \cdot 10^2 \text{ BTU/Lb}$$

❖ Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage du tamis  $Q_{tamis}$

➤ Calcul de la masse du tamis  $m_t$

$$m_t = \frac{1}{4} * (\pi * D_L^2) * H_t * \rho_{tamis}$$

$$\left. \begin{aligned}
 D_L &= 2.1 \text{ m} = 6.89 \text{ ft} \\
 H_t &= 1.8 \text{ m} = 5.9 \text{ ft} \\
 \rho_{tamis} &= 640 \text{ kg/m}^3 = 39.95 \text{ Lb/ft}^3
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \boxed{m_t = 8783.687 \text{ Lb} = 3984.21 \text{ Kg}}$$

➤ Calcul de la température moyenne du lit en fin de chauffage [42]

$$\left. \begin{aligned}
 T_s &= 227 \text{ }^\circ\text{C} = 440.6 \text{ }^\circ\text{F} = 500 \text{ }^\circ\text{K} \text{ d'après} \\
 T_e &= 280 \text{ }^\circ\text{C} = 536 \text{ }^\circ\text{F} = 553 \text{ }^\circ\text{K. l'équation(6)} \\
 C_{p_t} &= 0.22 \text{ BTU/ Lb }^\circ\text{f}
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \boxed{T = 200.5 \text{ }^\circ\text{C} = 392.9 \text{ }^\circ\text{F} = 473.65 \text{ }^\circ\text{K}}$$

$m_t = 8783.687 \text{ Lb.}$ D'après

$Q_{\text{tamis}} = 6.1 \cdot 10^5 \text{ BTU}$

$T = 200.5 \text{ }^\circ\text{C} = 392.9 \text{ }^\circ\text{F} = 473.65 \text{ }^\circ\text{K}$  l'équation(3)

$T_{\text{ads}} = 25\text{C} = 77 \text{ F} = 298.15 \text{ K}$

❖ **Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage de l'acier**

❖ **Calcul du volume de l'acier (Vc) [42]**

$V_c = (S_{\text{ext}} - S_{\text{int}}) * L.$

**Avec :**

**V<sub>c</sub>** : Le volume total de l'acier (ft)

**S<sub>ext</sub>** : La surface externe de la paroi du sécheur (ft<sup>2</sup>).

**S<sub>int</sub>** : La surface interne de la paroi du sécheur (ft<sup>2</sup>)

**L** : La hauteur de la colonne (ft)

$V_c = (\pi/4) * [(d + (2 * E_p))^2 - d^2] * L.$

$V_c = \pi [E_p * (d + E_p)] * L$

**E<sub>p</sub>** : L'épaisseur de l'acier.  $E_p = 36.8 \text{ mm} = 0.12 \text{ ft}$

**d** : Le diamètre de l'acier.  $d = 2.1 \text{ m} = 6.98 \text{ ft}$

**L** : hauteur de la colonne :  $L = 4630 \text{ mm} = 15.19 \text{ ft}$

$V_c = 1.13 \text{ m}^3 = 40.12 \text{ ft}^3$

❖ **Calcul de la masse de l'acier m<sub>c</sub>**

$m_c = V_c * \rho_{\text{acier}}$

**ρ<sub>acier</sub>** : La masse volumique de l'acier (Lb / ft<sup>3</sup>)

$V_c = 40,39 \text{ ft}^3.$

$\rho_{\text{acier}} = 500 \text{ Lb / ft}^3$

$m_c = 2.02 \cdot 10^4 \text{ Lb}$

On doit ajouter la quantité d'acier relatif aux supports, aux pipes et aux brides estimées à 35%

(accessoires). Donc :

$$\left. \begin{array}{l} m_C = 2.7 \cdot 10^4 \text{Lb.} \\ C_{p_c} = 0.12 \text{ BTU / lb. } ^\circ\text{F.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{D'après:} \\ \text{L'équation (4)} \end{array} \Rightarrow \boxed{Q_{\text{acier}} = 1.03 \cdot 10^6 \text{ BTU}}$$

$C_{p_c}$  : La capacité calorifique de l'acier (BTU / lb. °F)[25].

❖ **Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption  $Q_{\text{des}}$**

$$\left. \begin{array}{l} \text{La quantité d'eau adsorbée } M_{\text{ads}} = 0.839 \cdot 10^3 \text{Lb.} \\ \text{La chaleur de désorption } \Delta H = 1800 \text{ BTU/Lb.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{D'après} \\ \text{L'équation (4)} \end{array} \Rightarrow \boxed{Q_{\text{des}} = 1.5 \cdot 10^6 \text{ BTU}}$$

❖ **Calcul des pertes de chaleur  $Q_{\text{perte}}$**

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\text{des}} = 1.5 \cdot 10^6 \text{ BTU.} \\ Q_{\text{acier}} = 1.03 \cdot 10^6 \text{ BTU.} \\ Q_{\text{tamis}} = 6.1 \cdot 10^5 \text{ BTU.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{D'après} \\ \text{L'équation (5) :} \end{array} \Rightarrow \boxed{Q_{\text{perte}} = 3.14 \cdot 10^5 \text{ BTU}}$$

❖ **Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération  $Q_{\text{totale}}$**

$$\text{D'après l'équation (1) :} \Rightarrow \boxed{Q_{\text{totale}} = 3.45 \cdot 10^6 \text{ BTU}}$$

❖ **Calcul de la chaleur fournie par le four pendant le réchauffage  $H_f$  [42]**

➤ **Calcul de l'efficacité thermique du four  $1/\epsilon$ [44]**

Efficacité thermique du four pendant le réchauffage :

$$\boxed{\epsilon = 2.25 + (0.03113 * T)}$$

$$\left. \begin{array}{l} T : \text{Temps de chauffage (hr).} \\ \text{D'après l'équation (7) : à partir le tableau (1) :} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{1/\epsilon = 0.38}$$

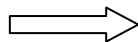
➤ **Calcul de l'énergie totale fournie par le four [44]**

On applique la loi suivant pour Calculer la chaleur totale fourni par le four lors de réchauffage  $H_f$  :

$$H_f = Q_{\text{totale}} / (1/\epsilon)$$

$$1/\epsilon = 0.38$$

$$Q_{\text{totale}} = 3.81 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$



$$H_f = 0.9 \cdot 10^7 \text{ BTU}$$

❖ Calcul du temps de réchauffage du tamis «  $t_r$  » [42]

Quantité de chaleur apportée par le GN : $H_f$ (BTU)	$1.08 \cdot 10^7$
Déférence de L'enthalpie ( $\Delta H_{(280-12.7)^\circ\text{C}}$ : BTU / Nm <sup>3</sup> )	1179,47
Masse volumique du $\rho_{\text{GN}}$ (Lb/ Nm <sup>3</sup> )	1,8298
Température finale ( $T_f$ : °F)	536
Température initiale ( $T_i$ : °F)	54,86

Tableau (III-4): Représentation des données de réchauffage du tamis.

Pour  $\Delta H$  en KJ/ Nm<sup>3</sup> :  $\Delta H = \Delta H (\text{KJ/Kg}) * \rho_{\text{GN}}$

$$\Delta H = 640.66 \text{ KJ / Kg.}$$

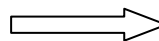
$$\rho_{\text{GN}} = 0.83 \text{ Kg/Nm}^3 = 1,83 \text{ Lb/Nm}^3.$$

$$\Delta H = 504,34 \text{ BTU/Nm}^3$$

$H_f = 0.9 \cdot 10^7$  BTU D'après

$\Delta H = 504,34 \text{ BTU/Nm}^3$ . L'équation (8)

$M_{\text{GN}} = 2000 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ .



$$t_r = 8.92 \text{ hr}$$

$H_f$ : La chaleur fournie par le four pour le GN exprimée en (BTU / Nm<sup>3</sup>).

$M_{\text{GN}}$ : Le débit volumique du GN sortant du four exprimé en (Nm<sup>3</sup>/hr).

$\Delta H_{(T_e - T_{\text{ads}})}$ : La différence de l'enthalpie du gaz (BTU / Nm<sup>3</sup>).

❖ Calcul de la chaleur fournie par le four par de  $H_f$  / cycle [42]

$$\left. \begin{array}{l} t_r = 8.92 \text{ hr.} \\ H_f = 0.9 \cdot 10^7 \text{ BTU.} \end{array} \right\} \text{D'après l'équation (9) : } \boxed{H_f / \text{cycle} = 2.16 \cdot 10^6 \text{ BTU / hr}}$$

$$t_{\text{ads}} = 37 \text{ hr.}$$

❖ Calcul du temps de refroidissement du tamis «  $t_{\text{ref}}$  »

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\text{totale}} = 3.45 \cdot 10^6 \text{ BTU.} \\ Q_{\text{acier}} = 1.03 \cdot 10^6 \text{ BTU.} \\ Q_{\text{tamis}} = 6.1 \cdot 10^5 \text{ BTU.} \end{array} \right\} \text{D'après l'équation (10)} \Rightarrow \boxed{t_{\text{ref}} = 4.2 \text{ hr}}$$

$t_r = 8.92 \text{ hr.}$

❖ Calcul de la chaleur soutirée au système  $Q_{\text{ref}}$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\text{acier}} = 1.03 \cdot 10^6 \text{ BTU.} \\ Q_{\text{tamis}} = 6.1 \cdot 10^5 \text{ BTU.} \\ t_{\text{ref}} = 4.2 \text{ hr.} \end{array} \right\} \text{D'après l'équation (11):} \Rightarrow \boxed{Q_{\text{ref}} = 3.9 \cdot 10^5 \text{ BTU / hr}}$$

III-6-2-3 : Bilan de matière de la régénération [42]

❖ Calcul du débit du gaz de refroidissement

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\text{ref}} = 3.9 \cdot 10^5 \text{ BTU / hr.} \\ \Delta H_{(T_s - T_e)} = 507,42 \text{ BTU / Nm}^3 \\ T_s = 227 \text{ }^\circ\text{C} = 440.6 \text{ }^\circ\text{F} = 500 \text{ }^\circ\text{K} \\ T_e = 12.7 \text{ }^\circ\text{C} = 54.86 \text{ }^\circ\text{F} = 285.7 \text{ }^\circ\text{K} \end{array} \right\} \text{D'après l'équation (12)} \Rightarrow \boxed{M_{\text{ref}} = 7.68 \cdot 10^2 \text{ Nm}^3 / \text{hr.}}$$

❖ Calcul des pertes de charges [42]

➤ Calcul de la perte de charge  $\Delta P / L_1$  pour le GN chaud

Le gaz naturel de Réchauffage est sous :

$$T = 280 \text{ }^\circ\text{C} \text{ et } P = 4.5 \text{ kg / cm}^2$$

➤ Calcul de la masse volumique du GN

$$\rho_{GN} = (P * M_{GN}) / (Z * R * T)$$

➤ Calcul du coefficient de compressibilité (Z) :

Le facteur de compressibilité est calculé par la formule suivante :

$$Z = 1.046 - (2.034 * 10^{-9}) * P + (4.571 * 10^{-8}) * P^2$$

Avec P est la pression du travail exprimé en Psia.

$$Z = 1.03 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Z=1.03

$M_{GN} = 18.71 \text{ Kg} / \text{K mole.}$ $T = 280 \text{ }^\circ\text{C} = 553 \text{ }^\circ\text{K.}$ $P = 4.5 \text{ kg} / \text{cm}^2 = 4.44 \text{ atm.}$ $R = 0.082 \text{ L. atm} / \text{mole. }^\circ\text{K.}$	}		$\rho_{GN} = 1.77 \text{ Kg} / \text{m}^3$
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	--------------------------------------------

➤ Calcul de la vitesse superficielle U<sub>1</sub> à travers le lit [42]

$$U_1 = M_g / (60 * S * \rho_{GN})$$

$S = (\pi * D^2) / 4 = 5.411 \text{ ft}^2 \text{ (Voir l'annexe 7)}$ $\rho_{GN} = 1.77 \text{ Kg} / \text{Nm}^3 = 0.11 \text{ Lb} / \text{ft}^3$ $M_g = 2000 \text{ Nm}^3 / \text{hr} = 3.68 * 10^3 \text{ Lb} / \text{hr}$	}		$U_1 = 103.09 \text{ ft} / \text{min.}$
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	-----------------------------------------

➤ Calcul de la viscosité duGN chaud μ<sub>1</sub>

• Calcul de la masse volumique du GN ρ<sub>GN</sub>[44]

Connaissant la densité relative d<sub>r</sub> et la pression de régénération :



$$\begin{aligned}
 &P = 4.5 \text{ kg / cm}^2 = 450 \text{ Kpas} \\
 &d_r = M_{GN} / M_{air} = 0.64. \quad \text{D'après} \\
 &T = 280 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &\mu_1 = 0.02 \\
 &A = 0,0561, B = 0,0000889 \\
 &C_p = 0.043 \text{ Lb /ft .hr} \quad . \text{ (Voir annexes 8).}
 \end{aligned}$$

.l'équation (13).

$\Delta P/L_1 = 0.22 \text{ psi / ft}$

❖ Calcul de  $Re_1$

$$\begin{aligned}
 &D_p = 0.01 \text{ ft.} \quad \text{D'après} \\
 &\mu_1 = 0.02 \text{ Cp} = 0.04 \text{ Lb /ft .hr} \\
 &G = M_g / S = 680.37 \text{ Lb/ ft}^2 \cdot \text{hr}
 \end{aligned}$$

.l'équation (14).

$Re_1 = 170.09$

❖ Calcul de la perte de charge  $\Delta P/L_2$  pour le GN froid[42]

➤ Détermination du coefficient de compressibilité (Z) [44], [43]

Le coefficient de compressibilité Z est une fonction de la température et la pression réduites, telle que :

$P_r = P/P_c \text{ et } T_r = T/ T_c$

$T_c, P_c$  : paramètres pseudo critiques.

$T_r, P_r$  : température et pression réduites.

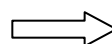
$$\begin{aligned}
 T_c &= \sum Y_i * T_{ci} \\
 P_c &= \sum y_i * P_{ci}
 \end{aligned}$$

$T_c = 194.3^\circ\text{K}$ .

$P_c = 45.12 \text{ atm}$

◆  $Z = f (Tr = 1.47 ; Pr = 0.1).$

On utilisant l'annexe (9 et 10), on trouve:



$$Z = 0.91$$

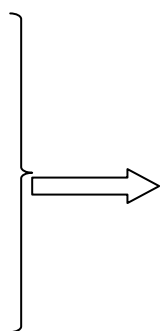
$$Z = 0.91$$

$$M_{GN} = 18.66 \text{ Kg / K mole.}$$

$$T = 12.7^\circ\text{C} = 285.7 \text{ }^\circ\text{K.}$$

$$P = 4.5 \text{ kg / cm}^2 = 4.44 \text{ atm.}$$

$$R = 0.082 \text{ l. atm / mole. }^\circ\text{K.}$$



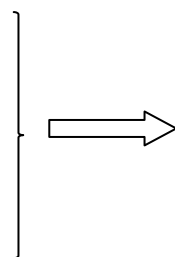
$$\rho_{GN} = 3.88 \text{ Kg / m}^3$$

❖ Calcul de la vitesse superficielle  $U_2$  à travers le lit [42]

$$S = (\pi * D^2) / 4 = 5.411 \text{ ft}^2$$

$$\rho_{GN} = 3.88 \text{ Kg / m}^3 = 0.24 \text{ Lb / ft}^3$$

$$M_g = M_{ref} = 760 \text{ Nm}^3 / \text{hr} = 1.4 \cdot 10^3 \text{ Lb / hr}$$



$$U_2 = 16.81 \text{ ft / min.}$$

$$U_2 = M_g / (60 * S * \rho_{GN})$$

❖ Calcul de la viscosité du GN froid  $\mu_2$  [42]

Connaissant la densité relative  $d_r$  et la pression de régénération

$$P = 4.5 \text{ kg / cm}^2 = 450 \text{ Kpas}$$

$$d_r = M_{GN} / M_{air} = 0.64$$

$$T = 12.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\mu_2 = 0.01 \text{ Cp} = 0.03 \text{ Lb / ft .hr. (Voir annexes 8).}$$



D'après l'équation (13).

$$\Delta P / L_2 = 1.7 \cdot 10^{-2} \text{ psi / ft}$$

❖ Calcul de  $R_{e2}$  [10]

$$D_p = 0.01 \text{ ft. (Voir annexes 7).}$$

$$\mu_2 = 0.01 \text{ Cp} = 0.03 \text{ Lb / ft.}$$

$$G = M_g / S = 241.56 \text{ lb / ft}^2 \cdot \text{hr}$$



D'après l'équation (14).

$$R_{e2} = 86.24$$

### III-6-2-4 : Récapitulation des résultats

Le tableau ci-après représente clairement la validité du méthode choisie.

Les valeurs calculées	Les valeurs de design
$D = 1.97 \text{ m}$	$D = 2.10 \text{ m}$
$M_t = 4652.75 \text{ Kg}$	$M_t = 4653 \text{ Kg}$
$H_t = 1.8 \text{ m}$	$H_t = 2.1 \text{ m}$
$H_f = 2.26 * 10^6 \text{ Kcal /hr}$	$0.15 * 10^6 < H_f < 3.3 * 10^6 \text{ Kcal /hr}$
$t_r = 8.92 \text{ hr}$	$t_r = 11 \text{ hr}$
$t_{ref} = 3.04 \text{ hr}$	$t_{ref} = 5 \text{ hr}$
$M_g = 2000 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ $M_{ref} = 760 \text{ Nm}^3/\text{hr}$	$1000 < \text{Débit} < 2500 \text{ Nm}^3/\text{hr}$
$\Delta P_1 / L = 0.22 \text{ psi /ft}$ $\Delta P_2 / L = 0.017 \text{ psi /ft}$	$0.01 < \Delta P / L < 0.25 \text{ psi /ft}$
$Re_1 = 170.09$ $Re_2 = 86.24$	$Re > 100$
$t_{ads} = 37 \text{ hr}$	$t_{ads} = 36 \text{ hr}$

**Tableau III-5 : comparaison entre les valeurs de design et les valeurs calculées pour vérifier la validité de la méthode**

Suite à la mise en œuvre de la méthode de calcul établie, il apparaît clairement que cette dernière est valable et justifiée, compte tenu des résultats obtenus.

En effet la perte de charge se trouve dans l'intervalle recommandé où on peut effectuer l'opération de régénération sans soulever le lit, ainsi que la quantité de chaleur fournie par le four.

Le régime d'écoulement est turbulent, donc il favorise un bon transfert de masse et une meilleure distribution du gaz à travers le sécheur.

Les marges du design cité étant respectées nous pouvons désormais passer à l'application de notre méthode de calcul dans le cas où la teneur en eau dans la charge est de l'ordre de 25 ppm qui est notre solution étudier.

**CHAPITRE IV : ETUDE DES SOLUTIONS  
ECONOMIQUES**

## IV-1 : Etude de la première solution : [42]

Dans le but d'augmenter la durée de vie et l'efficacité des tamis moléculaire ainsi optimiser le temps d'adsorption et la régénération, on procède au calcul du temps pour 25 ppm, et donc on propose d'étudier la première solution qui sert à augmenter le temps d'adsorption.

### IV-1 -1 : Bilan de matière

#### ❖ Calcul le débit d'eau

$$q_w = (4 * Y_{in} * Q * \rho_{GPL}) / (\pi * D_L)$$

$D_L$  : le diamètre du lit. ( $D_L = 2.1 \text{ m} = 6.89 \text{ ft}$ ).

$Y_{in}$  : La teneur en eau dans la charge à l'entrée du déshydrateur exprimée en ppm massique

$\rho_{GPL}$  : Masse volumique de la charge ( $\text{Lb}/\text{ft}^3$ )

$Q$  : Débit volumique de la charge ( $\text{ft}^3 / \text{hr}$ ).

$Y_{in}$  : la teneur en eau dans la charge de GPL,  $Y_{in} = 25 \text{ ppm}$

$$q_w = 0,19(\text{Lb}/\text{ft}^2 \cdot \text{hr}).$$

➤ Le débit d'eau remarqué est faible par rapport au débit d'eau calculé précédemment cela dû à la chute de la teneur d'eau dans la charge.

#### ❖ Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse [42]

$$H_z = (225 * q_w^{0.7895}) / (U_{act}^{0.5506} * R_s^{0.2646})$$

$q_w$ : le débit d'eau en  $\text{Lb}/\text{ft}^2 \cdot \text{hr}$ .

$U_{act}$ : la vitesse actuelle d'écoulement de fluide

$R_s$ : la teneur en eau dans la charge de GPL,  $R_s = 25 \text{ ppm}$

$$H_z = 11.7 \text{ inch} = 0.94 \text{ ft} = 0.28 \text{ m}$$

Un débit d'eau faible par rapport au débit d'eau calculé précédemment à cause de la chute de la teneur d'eau dans la charge

#### ❖ Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre

$$H_s = H_t - H_z$$

$H_s$  : la hauteur de la zone d'équilibre (ft)

$H_z$  : la longueur de la zone de transfert de masse (ft)

$H_t$  : la hauteur total du lit ( $H_t = 1.8 \text{ m} = 5.9 \text{ ft}$ ).

$$H_s = 4.96 \text{ ft} = 1.5 \text{ m}$$

Contrairement à la zone transfert la zone d'équilibre augmente puisque nous avons gardé la même hauteur de lit

❖ **Estimation de la quantité d'eau adsorbée  $M_{ads}$  :**[42]

$$M_{ads} = ((H_s - (C * H_z)) * (X_s * DL^2 * \rho_{tamis})) / 127.38$$

$X_s$  : la capacité d'adsorption à l'équilibre neuf à 25°C,  $X_s = 22 \%$  en poids (voir l'annexes 7).

$\rho_{tamis}$  : Masse volumique du tamis

C : Constante relative aux tamis moléculaire.

$$M_{ads} = 1189.7 \text{ Lb}$$

- C'est une quantité d'eau qui devrait être adsorbé par le sécheur mais puisque la section de déshydratation est assez ancienne elle n'a pas la même capacité d'adsorption qui nous oblige d'utiliser un Coefficient de correction  $C=0.45$ .

❖ **Calcul du temps d'adsorption**

$$t_{ads} = M_{ads} / (Y_{in} * Q * \rho_{GPL})$$

$$t_{ads} = 166.47 \text{ hr}$$

$Y_{in}$  : la teneur en eau dans la charge de GPL,

$\rho_{GPL}$  : Masse volumique de la charge (Lb/ ft<sup>3</sup>)

Q: Débit volumique de la charge (ft<sup>3</sup> / hr).

❖ **Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de desséchant (X)**

$$X = X_s * [1 - (C * (H_z / H_s))]$$

$X_s$  : la capacité d'adsorption à l'équilibre neuf à 25°C,

$$X = 20.12 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de desséchant}$$

❖ **Détermination de l'efficacité d'adsorption Eff**

$$\text{Eff} = X / X_s \quad \longrightarrow \quad \text{EFF} = 91.46$$

Ce qui est remarquable que la quantité d'eau réelle adsorbée a augmenté qui donne une bonne efficacité d'adsorption

#### IV-1-2 : Bilan thermique [42]

##### ❖ Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption $Q_{des}$

La quantité d'eau adsorbée  $M_{ads} = 1189,7 \text{Lb.}$

La chaleur de désorption  $\Delta H = 1800 \text{ BTU/Lb.}$  (Voir annexes 7).

D'après l'équation (7) :

$$Q_{des} = 2,14 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

##### ❖ Calcul des pertes de chaleur $Q_{perte}$

On estime les pertes par :  $Q_{perte} = 0.1 (Q_{acier} + Q_{des} + Q_{tamis})$

$$Q_{acier} = 1.03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 6.1 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$Q_{des} = 2.14 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

D'après l'équation (5) :

$$Q_{perte} = 3.7 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

##### ❖ Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération $Q_{totale}$ [42]

D'après l'équation (1) :  $Q_{totale} = Q_{perte} + Q_{acier} + Q_{des} + Q_{tamis}$

$$Q_{totale} = 4.1 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

##### ❖ Calcul de la chaleur fournie par le four $H_f$ [5]

$$H_f = Q_{totale} / (1/\varepsilon) \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{D'après l'équation (7)}$$

$$1/\varepsilon = 0.38$$

$$Q_{totale} = 4.110^6 \text{ BTU}$$

$$H_f = 1.07 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr}$$

##### ▪ Calcul du temps de réchauffage du tamis « $t_r$ »

D'après l'équation (8) :  $t_r = H_f / \Delta H \cdot M_{GN}$

$M_{GN}$ : La quantité de chaleur du GN sortant du four exprimé en ( $\text{Nm}^3/\text{hr}$ ).

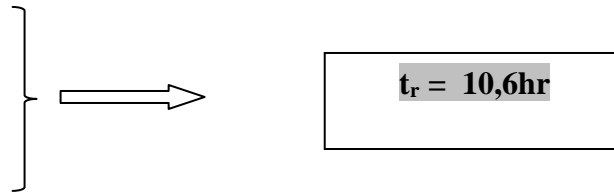
$\Delta H_{(T_e - T_{ads})}$ : La différence de l'enthalpie du gaz de réchauffage ( $\text{BTU} / \text{Nm}^3$ ) (Voir annexes

6).

$$H_f = 1.07 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr}$$

$$\Delta H_{(T_e - T_{ads})} = 504,42 \text{ BTU / Nm}^3$$

$$M_{GN} = 2000 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$



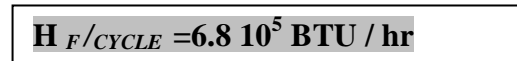
❖ **Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle  $H_{F/CYCLE}$  [42]**

$$t_r = 10,6 \text{ hr.}$$

D'après l'équation (9) :

$$H_f = 1.07 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr.}$$

$$t_{ads} = 166.47 \text{ hr.}$$



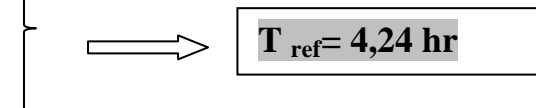
❖ **Calcul du temps de refroidissement du tamis «  $t_{ref}$  »**

D'après l'équation (10) :  $t_{ref} = ((Q_{tamis} + Q_{acier}) / Q_{totale}) * t_r$

$$Q_{totale} = 4.1 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{acier} = 1.03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 6.1 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$



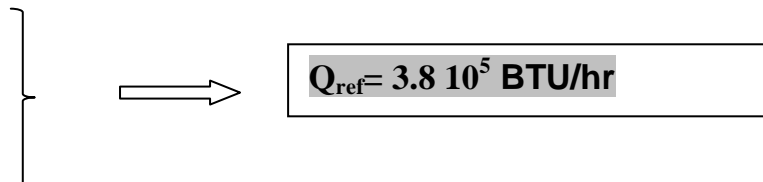
❖ **Calcul de la chaleur soutirée au système  $Q_{ref}$  [42]**

D'après l'équation (11) :

$$Q_{acier} = 1.03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 6.1 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$t_{ref} = 4,24 \text{ hr.}$$



**IV-1-3 : bilan de matière de la régénération**

❖ **Calcul du débit du gaz de refroidissement [42]**

D'après l'équation (12) :  $M_{ref} = Q_{ref} / \Delta H_{(T_s - T_e)}$

$M_{ref}$  : Le débit du gaz de refroidissement (Lb/ hr).

$Q_{ref}$  : la chaleur soutirée au système. (BTU/ hr).

$T_E$  : la température d'entrée du gaz de refroidissement (°F).

$\Delta H_{(T_s - T_e)}$  : La différence de l'enthalpie du gaz de refroidissement (BTU / Nm<sup>3</sup>).

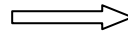


$$Q_{ref} = 3.8 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr.}$$

$$\Delta H_{(T_s - T_e)} = 504,3 \text{ BTU/Nm}^3.$$

$$T_s = 227 \text{ }^\circ\text{C} = 440,6 \text{ }^\circ\text{F} = 500 \text{ }^\circ\text{K.}$$

$$T_e = 12,7 \text{ }^\circ\text{C} = 54,86 \text{ }^\circ\text{F} = 285,7 \text{ }^\circ\text{K}$$



$$M_{ref} = 753,52 \text{ Nm}^3/\text{hr.}$$

**IV-1-4 : Calcul des pertes de charges**

➤ Calcul de la perte de charge  $\Delta P/L_1$  pour le GN chaud [42]

- Calcul de la vitesse superficielle  $U_1$  à travers le lit

$$U_1 = M_g / (60 * S * \rho_{GN})$$

$$S = (\pi * D^2) / 4 = 5,41 \text{ ft}^2.$$

$$\rho_{GN} = 1,77 \text{ Kg / m}^3 = 0,11 \text{ Lb / ft}^3.$$

$$M_g = 2000 \text{ Nm}^3 / \text{hr} = 3,68 \cdot 10^3 \text{ Lb / hr.}$$

$$U_1 = 5,5 \text{ ft/min}$$

- Calcul de la viscosité du GN chaud  $\mu_1$  [42]

Connaissant la densité relative  $d_r$  et la pression de régénération :

$$P = 450 \text{ Kpas} = 4,5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$d_r = M_{GN} / M_{air} = 0,64.$$

$$T = 280 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$\mu_1 = 0,02 \text{ Cp. (Annexe 8).}$$

D'après l'équation (13).

$$\Delta P/L_1 = 0,25 \text{ psi / ft.}$$

$$A = 0,0561, B = 0,0000889$$

➤ Calcul de  $Re_1$

$$D_p = 0,01 \text{ ft}$$

$$\mu_1 = 0,02 \text{ Cp} = 0,04 \text{ Lb / ft. hr. (Voir annexes 6).}$$

D'après l'équation (14).

$$Re_1 = 170,09$$

$$G = M_g / S = 680,37 \text{ Lb / ft}^2 \cdot \text{hr.}$$

➤ Calcul de la perte de charge  $\Delta P/L_2$  pour le GN froid [42]

▪ Calcul de la vitesse superficielle  $U_2$  à travers le lit

$$S = (\pi * D^2) / 4 = 5.411 \text{ ft}^2.$$

$$\rho_{GN} = 3.88 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 0.24 \text{ Lb} / \text{ft}^3.$$

$$M_g = M_{ref} = 709.25 \text{ Nm}^3/\text{hr} = 1.4 * 10^3 \text{ Lb} / \text{hr}.$$

$U_2 = 16.64 \text{ ft} / \text{mn}.$

$$U_2 = M_g / (60 * S * \rho_{GN}).$$

▪ Calcul de la viscosité du GN froid  $\mu_2$

Connaissant la densité relative  $d_r$  et la pression de régénération :

$$P = 450 \text{ Kpas}.$$

$$d_r = M_{GN} / M_{air} = 0.64$$

$$T = 12.7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\mu_2 = 0.01 C_p = 0.03 \text{ Lb} / \text{ft} \cdot \text{hr} \text{ (Voir annexes 6)}.$$

$\Delta P/L_2 = 0.017 \text{ psi} / \text{ft}.$

*D'après l'équation (13).*

➤ Calcul de  $R_{e2}$

$$D_p = 0.01 \text{ ft} \text{ (Voir annexes 7)}.$$

$$VIS_2 = 0.01 C_p = 0.03 \text{ Lb} / \text{ft} \cdot \text{hr}.$$

$$G = M_g / S = 258.73 \text{ lb} / \text{ft}^2 \cdot \text{hr}.$$

$R_{e2} = 86.24$

*D'après l'équation (14).*

**IV-1 -5 :Recapitulation des résultats**

D'après tous les résultats obtenus, on a réalisé le but de notre travail en modifiant le temps d'adsorption du déshydrateur de charge de 36 heures ( le temps de design ), au temps obtenu après les calculs qui correspond à 160 heures et 33 minutes.

Cette modification doit être suivie d'une petite variation de la durée de régénération de 10 heures et 59 minutes pour le réchauffage , 4 heures et 33 minutes pour le refroidissement .

Avec cette augmentation du temps d'adsorption il y'aura :

- Une diminution de nombre de cycles, par conséquent une augmentation de la durée de vie du tamis en évitant la régénération toute les 36h qui provoque souvent des

anomalies au niveau des grains constituent le tamis à force de réchauffage et refroidissement.

- Des pertes de charges pour le réchauffage et le refroidissement vérifient dans l'intervalle recommandé .
- Un régime d'écoulement turbulent favorise un bon transfert de masse , ainsi une bonne distribution des gaz à travers le lit .

### IV-2 : Etude de la deuxième solution:

Cette solution est basée sur l'optimisation des paramètres de la régénération sans modifier le cycle d'adsorption (36 hr).

On veut étudier l'impact du temps de chauffage sur la quantité de chaleur nécessaire à la régénération du sécheur est celle fournie par le four par cycle.

➤ **Calcul de débit d'eau:[42]**

$$q_w = \frac{4 * Y_{in} * Q * \rho_{GPL}}{\pi * D_L}$$

$$q_w = 0,19 \text{ ( Lb/ft}^2 \cdot \text{hr)}$$

$Y_{in}$  : la teneur en eau dans la charge de GPL  $Y_{in} = 25$  ppm

➤ **Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse : [42]**

$$H_Z = \frac{225 * q_w^{0.7895}}{U_{act}^{0.5506} * Y_{in}^{0.2646}}$$

$$H_Z \text{ 11,02inch} = 0,91\text{ft} = 0,27 \text{ m}$$

➤ **Estimation de la quantité d'eau adsorbée  $M_{ads}$ :**

$$M_{ads} = Y_{in} * Q_v * \rho_{gpl} * \theta$$

$$M_{ads} = 257,27\text{Lb}$$

$Y_{in}$ : Concentration de l'eau en ppm = 0,000025

$Q_v$ : Débit volumique du produit = 8675,09 (ft<sup>3</sup> / hr)

$\rho_{gpl}$ : Masse volumique de la charge = 33,09 (lb / ft<sup>3</sup>)

$\theta$  : le temps d'adsorption = 36 (hr)

➤ **Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre:**

$$H_s = H_t - H_z$$

$$H_s = 4.96\text{ft} = 1,52\text{m}$$

- Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant (X):

$$X = X_S * \left(1 - \frac{C * H_Z}{H_S}\right)$$

$$X = 20,12 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de dessicant}$$

- Détermination de l'efficacité d'adsorption:

$$EFF = \frac{X}{X_S}$$

$$EFF = 91.4$$

- Calcul du bilan thermique: [42]

- ❖ Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption  $Q_{des}$ :

La quantité d'eau adsorbée  $M_{ads} = 258,35\text{Lb}$ .

La chaleur de désorption  $\Delta H = 1800 \text{ BTU/Lb}$ .

D'après l'équation (III-2):

$$Q_{des} = 4,65 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

- ❖ Calcul des pertes de chaleur  $Q_{perte}$ :

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 6,1 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$Q_{des} = 4,65 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$\text{D'après l'équation (III-5): } Q_{perte} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

- ❖ Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération  $Q_{totale}$  : [42]

$$\text{D'après l'équation (III-1): } Q_{totale} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

- ❖ Calcul de la chaleur fournie par le four  $H_f$ : [44]

D'après l'équation (III-7):

$$1/\varepsilon = 0,38$$

$$Q_{totale} = 2,43 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

$$H_f = 6,05 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ **Calcul du temps de réchauffage du tamis «  $t_r$  » : [42]**

D'après l'équation (III-8):

$$H_f = 6,05 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

$$\Delta H(T_i - T_e) = 504,3 \text{ BTU/Nm}^3$$

$$M_{GN} = 2000 \text{ Nm}^3/\text{hr.}$$

$$t_r = 5.99 \text{ hr}$$

❖ **Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle  $H_{F/CYCLE}$  : [42]**

$$t_r = 5.99 \text{ hr.}$$

$$H_f = 6,05 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$t_{ads} = 36 \text{ hr.}$$

D'après l'équation (III-9):

$$H_{F/CYCLE} = 1,008 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ **Calcul du temps de refroidissement du tamis «  $t_{ref}$  » :**

D'après l'équation (III-10):

$$Q_{totale} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU. } t_{ref} = 4,27 \text{ hr}$$

$$Q_{tamis} = 6,1 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$t_r = 5.99 \text{ hr.}$$

❖ **Calcul de la chaleur soutirée au système  $Q_{ref}$  :**

D'après l'équation (III-11):

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 6,1 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$t_{ref} = 4,27 \text{ hr}$$

$$Q_{ref} = 3,84 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr}$$

➤ **Calcul du bilan de matière de la régénération: [42]**

▪ **Calcul du débit du gaz de refroidissement:**

D'après l'équation (III-12):

$$Q_{\text{ref}} = 3,9 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr.}$$

$$\Delta H_{(T_s - T_e)} = 507,42 \text{ BTU/Nm}^3.$$

$$T_s = 227 \text{ }^\circ\text{C} = 440,6 \text{ }^\circ\text{F} = 500 \text{ }^\circ\text{K.}$$

$$T_E = 12,7 \text{ }^\circ\text{C} = 54,86 \text{ }^\circ\text{F} = 285,7 \text{ }^\circ\text{K.}$$

$$M_{\text{ref}} = 761,59 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

➤ **Interprétation des résultats:**

Selon les résultats obtenus , il est clairement apparant que la durée de régénération est modifiée, une diminution du temps de chauffage jusqu'à 6 heures 8 minutes et une durée de 4 heures 24 minutes pour le refroidissement sans perturber la durée du cycle d'adsorption de 36 heures .

Cette modification présente une économie moins importante d'énergie fournie par le four par cycle de fonctionnement puisque la même quantité de gaz naturel que pour le cycle d'adsorption de 36 hr dépensée pour un cycle d'adsorption plus long .

Au cours de l'étape d'adsorption , les dessicant sont chargés d'humidité ceci se traduit à l'équilibre par un état de saturation , le dessicant saturé n'adsorbe plus une régénération doit succéder au chargement au cours de cette dernière l'humidité est éliminer par un chauffage ; et dans notre cas où le lit n'est pas totalement saturé le chauffage de la partie sèche du lit devient inutile et peut provoquer la dégradation du tamis et par conséquent diminution de son efficacité ; ce résultat est vérifiée quelque soit la teneur d'eau dans la charge .

**IV-3 : Interprétation et choix de la solution optimale :**

D'après tous les Résultats obtenus, On ne peut optimiser le fonctionnement de la Section de déshydratation de la charge, que par la réalisation de la solution optimale du problème posé qui est : l'augmentation du temps d'adsorption du sécheur.

Cette augmentation présente plus d'avantage pour le système, car elle réduira le nombre de cycles par mois, avec une diminution de nombre de régénération entraînant :

- ❖ Une diminution de gaz naturel consommé lors de la régénération de la séquence de refroidissement.
- ❖ Une diminution de la Chaleur fournie par le four pour la séquence de chauffage, Calculée à la base d'une saturation totale du lit, parce que si l'on chauffe un lit qui n'est que

partiellement rempli d'eau, l'énergie utilisée pour chauffer un tamis ne contenant pas d'eau est simplement perdue.

- ❖ Une augmentation de la durée de vie du tamis moléculaire.
- ❖ Une perte moins importante lors de la régénération du produit GPL piégé dans le tamis moléculaire.
- ❖ Augmentation de l'efficacité du tamis à cause de la diminution de la destruction des cristaux.

En plus pour la mise en œuvre de cette idée, aucun investissement n'est nécessaire.

#### **IV-4 : Comparaison entre les deux solutions optimales:**

##### **\* Première solution:**

En fixe le temps de régénération puis en varie le temps d'adsorption.

Les résultats représentés sur le tableau IV-1.



<b>Teneur en eau en ppm</b>	<b>100</b>	<b>80</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	<b>20</b>
<b>Temps d'adsorption</b>	<b>37</b>	<b>47,23</b>	<b>64,77</b>	<b>100,05</b>	<b>206,8</b>
<b>Temps de réchauffage</b>	8,92	10,82	10,92	11,03	11,18
<b>Nombre d'heures par ans</b>	8760	8760	8760	8760	8760
<b>Débit de réchauffage</b>	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Nombre de régénération par un an</b>	243	185	135	87	42
<b>Quantité de GN pour le réchauffage pendant une régénération</b>	21400	21640	21840	22060	22360
<b>Quantité de GN pour le réchauffage pendant un an</b>	5200200	4003400	2948400	1919220	939120
<b>Gain en GN par ans et par train en Nm<sup>3</sup></b>		<b>1196800</b>	<b>2251800</b>	<b>3280980</b>	<b>4261080</b>

**Tableau IV-1: La variation du temps d'adsorption en fonction de teneur d'eau pour un temps de régénération fixé.**

**\* Deuxième solution:**

En fixe le temps de d'adsorption puis en varie le temps régénération.

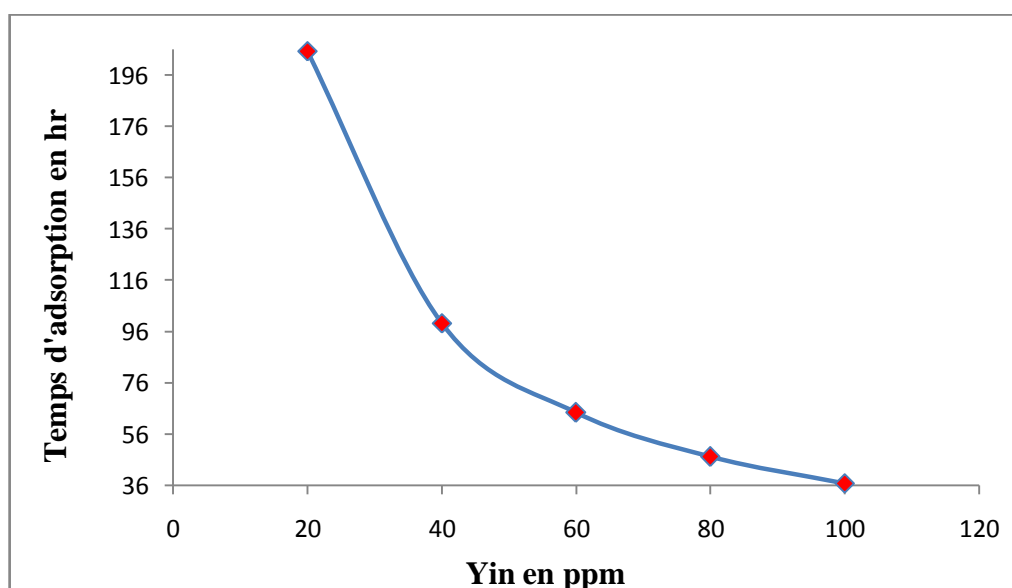
Les résultats représentés sur le tableau IV-2

<b>Teneur en eau en ppm</b>	<b>100</b>	<b>80</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	<b>20</b>
<b>Temps d'adsorption (hr)</b>	36	36	36	36	36
<b>Temps de réchauffage (hr)</b>	<b>11</b>	<b>8,86</b>	<b>7,73</b>	<b>6,64</b>	<b>5,57</b>
<b>Nombre d'heures par an</b>	8760	8760	8760	8760	8760
<b>Débit de réchauffage (m<sup>3</sup>/hr)</b>	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Nombre de régénération par un an</b>	243	243	243	243	243
<b>Quantité de GN pour le réchauffage pendant une régénération (m<sup>3</sup>)</b>	22000	17720	15 460	13 280	11 140
<b>Quantité de GN pour le réchauffage pendant un an</b>	5346000	4305960	3756780	3227040	2707020
<b>Gain en quantité de GN par ans et par train en Nm<sup>3</sup></b>		<b>1040040</b>	<b>1589220</b>	<b>2118960</b>	<b>2638980</b>

**Tableau IV-2: La variation du temps de régénération en fonction de teneur d'eau pour un temps d'adsorption fixé.**

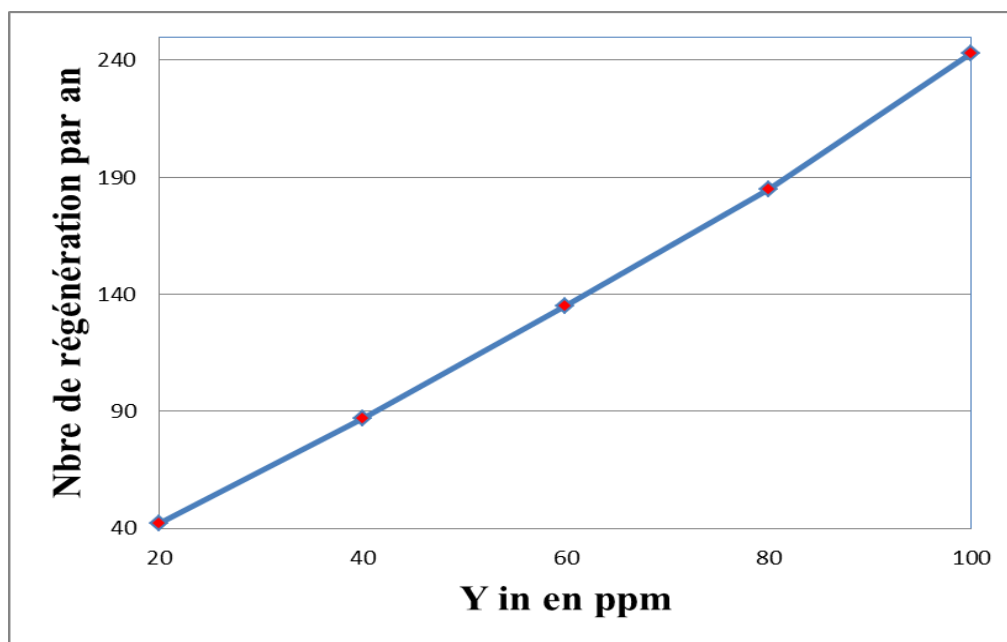
**Représentation graphique des avantages de solution optimale:**

**A- Prolongation du temps d'adsorption:**



**Figure IV-1: Le temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau.**

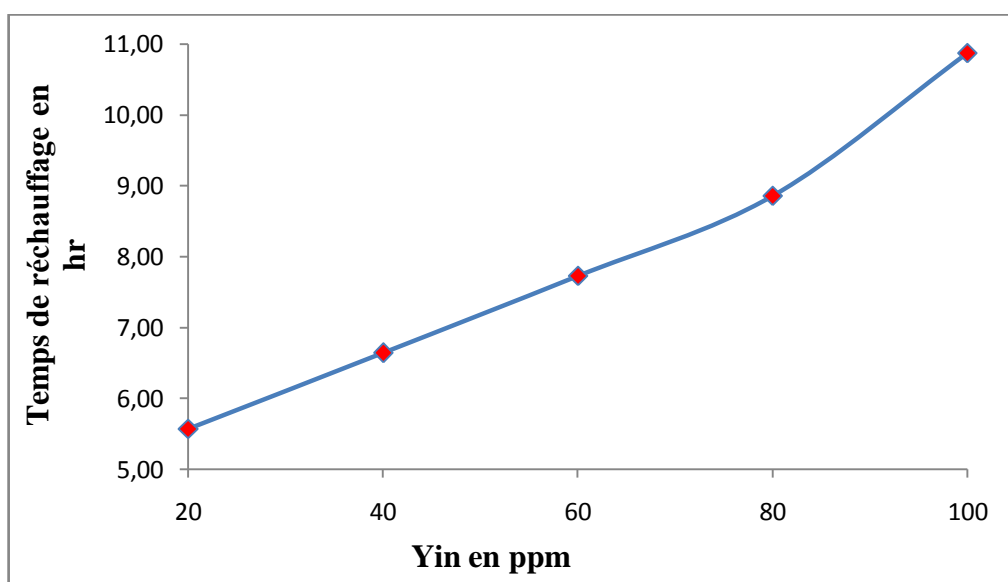
Nous remarquons que le temps d'adsorption augmente avec la diminution de la teneur en eau dans la charge GPL .



**Figure IV-2: le nombre de régénération par an en fonction de la teneur en eau.**

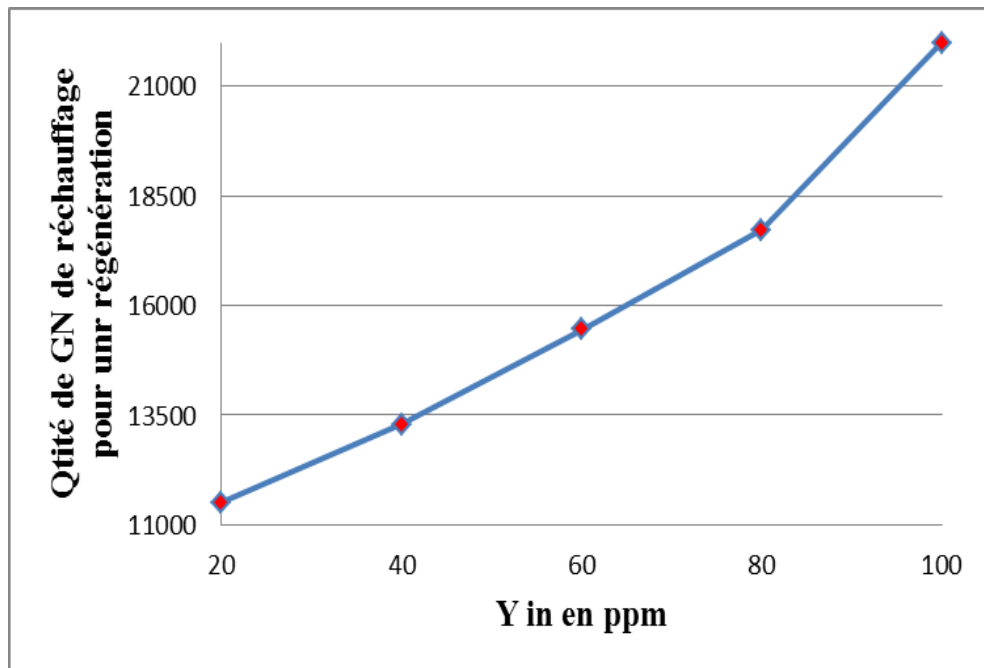
Nous remarquons que le nombre de régénération diminue proportionnellement avec la teneur en eau dans la charge GPL.

**B- Modification du temps de régénération:**



**Figure IV-3: Le temps de réchauffage en fonction de la teneur en eau.**

Nous remarquons que le temps de réchauffage diminue proportionnellement avec la teneur en eau dans la charge GPL.



**Figure IV-4: Quantité de GN utilisée pendant une régénération en fonction de la teneur en eau pour la deuxième solution.**

Nous remarquons que la quantité du GN utilisée diminue proportionnellement en fonction de la teneur en eau dans le GPL.

Pour mettre en valeur notre étude de côté régénération des tapis moléculaire et surtout économique, nous avons trouvé intéressant de la finaliser par un calcul traduisant les gains qui peut bénéficier le complexe GP1 /Z par la mise en exploitation de ces résul

## IV-5 : Etude économique des résultats de la solution optimale :

### IV-5- 1 : GAIN EN GAZ NATUREL

Pour un cycle d'adsorption de 160heures (pour une teneur maximale en eau à l'entrée du déshydrateur de charge égale à 25 ppm et une teneur à la sortie de l'ordre de 1 ppm on a trouvé que le temps d'adsorption s'élève à 164hr et quelques minutes) est détaillé ci-dessous

- Le nombre de cycle /mois = nombre d'heures par mois / durée d'un cycle  
=  $720 / 164 = 5$  cycles.

- Le débit horaire de GN durant

Le chauffage :  $2000 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$

Le refroidissement :  $760 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$ .

- Le nombre de cycle actuel =  $720 / 36 = 20$  cycles.
- Le nombre de cycle gagnés par mois pour un train = ( nombre de cycle actuel - le nombre de cycle proposé)  
=  $20 - 5 = 15$  cycle
- (10,7 heures de réchauffage et 4,53 heures de refroidissement).
- *Calcul de la quantité GN de chauffage*
- Le gain en GN chaud pour un train par mois =  $15 * 10.7 * 2000 = 321000 \text{ Nm}^3 / \text{mois}$
- Et pour 9 trains =  $321000 * 9 = 2889000 \text{ Nm}^3 / \text{mois}$
- *Calcul de la quantité GN de Refroidissement*
- Le gain en GN froid pour un train par mois =  $15 * 4.53 * 760 = 51642 \text{ Nm}^3 / \text{mois}$
- Et pour 9 trains =  $51642 * 9 = 464778 \text{ Nm}^3 / \text{mois}$

$$1.069 \text{ Nm}^3 = 1 \text{ Contra m}^3 / \text{mois}$$

- Calcul économique

- Prix unitaire du GN:  $10^3 \text{ C contra m}^3 = 1341.39 \text{ DA}$

- Le gain en GN pour 9 trains par mois (sur la base d'un prix unitaire de 1380.29 DA pour 1 Nm<sup>3</sup>. soit 1.255 DA pour Nm<sup>3</sup> / hr)

Le GN de chauffage :  $1.255 * 2889000 = 3.6 * 10^6 \text{ DA}$ .

Le GN de refroidissement :  $1.255 * 464778 = 0.53 * 10^6 \text{ DA}$ .

La moitié de la quantité du GN de régénération est récupérée au niveau du four. Ainsi le gain réel mensuel pour un train sera :

$$= \frac{1}{2} * (3.6 + 0.58) * 10^6 = 2.08 * 10^6 \text{ DA}$$

- Le gain réel annuel pour 9 trains par an =  $12 * 0.09 * 10^6$   
= 25.08 106 DA.

#### **IV-5-2 : GAIN SUR LA VIE DU TAMIS MOLECULAIRE**

- La quantité totale de tamis moléculaire d'un déshydrateur est de 4 653 kg
  - Le prix du tamis est de 275.88 DA/kg.
  - Un déshydrateur revient 1 283 670 DA ( $4653 * 275.88$ ).
  - La durée de vie actuelle du tamis moléculaire est de 3 ans
  - Le changement des tamis de la phase I se fait tous les 9 ans du fait qu'il Ya 3 déshydrateur par train.
  - Le changement des tamis de la phase II se fait tout les 6 ans du fait qu'il ya 2 déshydrateur par train.
  - Le changement des tamis de la phase III se fait tous les 9 ans du fait qu'il ya 3 déshydrateurs par train.
  - Le coût de L'opération de changement du tamis moléculaire d'un déshydrateur chaque année revient :
    - Pour la phase I 142 630 DA ( $1\ 283\ 670/9$ ).
    - Pour la phase II 213 945 DA ( $1\ 283\ 670/6$ ).
    - Pour la phase III 142 630 DA ( $1\ 283\ 670/9$ ).

- Avec un cycle d'adsorption de 183 heures (164heure adsorption et 19 heures de régénération) la durée de vie du sécheur dans la phase I et la phase III devient :

$$183 \times 9 / 55 = 29.9 \text{ ans} \approx 30 \text{ ans}$$

- le tamis moléculaire de la phase I avec le nouveau cycle reviendrait à 64183.5 DA (1 283 670 /20). soit un gain annuel de 99841 DA (142 630- 42789).

- la durée de vie du sécheur dans la phase II devient :

$$183 \times 6 / 55 = 19.9 \text{ ans} \approx 20 \text{ ans}$$

- le tamis moléculaire de la phase III avec le nouveau cycle reviendrait à 42789 DA (1 283 670 /30) soit un gain annuel de 99841 DA (142 630- 42789).

- Un gain annuel total pour le complexe de 2695707 DA

$$[(99841 \times 12) + (149761.5 \times 4) + (99841 \times 9)].$$

#### **IV-6 : Récapitulation des résultats**

Le tableau ci-après représente le gain annuel qui peut, le complexe GP1/Z, l'économiser s'il applique la solution proposée.

	<b>Cycle calculé</b>
<b>Gain réel en GN annuel pour 9 trains par an en DA</b>	<b>25.08 106</b>
<b>Gain en vie des tamis annuel total pour le complexe en DA</b>	<b>2.69 10<sup>6</sup></b>

**TableauIV-3 : Gain annuel du complexe**

# **CONCLUSION GENERALE**



## Conclusion générale

Il est nécessaire de rappeler qu'actuellement les sources d'énergie ont une considérable part dans notre économie nationale, ceci suppose que toute perte d'énergie quel que soit sa nature et sa dimension peut avoir un impact direct sur les coûts d'exploitation et les produits finis.

Les préoccupations au niveau du complexe GP1/Z étant de ramener la teneur en eau dans l'alimentation d'une valeur maximale de 100 ppm à 1 ppm dans la section de déshydratation. Il nous a paru indispensable lors de notre stage d'étudier ce problème en vue d'optimiser les paramètres de fonctionnement de la section déshydratation de charge.

Un temps plus grand d'adsorption entraîne un gain en énergie puisque la même quantité de gaz naturel que pour le cycle d'adsorption actuel sera dépensée pour un cycle plus long.

En plus du gain obtenu en GN, un gain supplémentaire sera réalisé :

- ❖ la durée de vie du tamis va être plus longue du fait que le vieillissement du tamis est dû surtout au dépôt de coke à haute température.

Avec l'augmentation du temps d'adsorption de 36h à 16h, le nombre de régénération serait moindre donc le tamis sera moins exposé à hautes de températures lors de la séquence de chauffage.

- ❖ La durée de vie du matériel sera plus longue du fait qu'avec un nombre de cycles moins important, le matériel sera exposé à moins de contraintes de

Pression et de contraintes de température (réchauffage et refroidissement).

- ❖ La durée de vie de la robinetterie comme les séquences sont gérées par les ouvertures et fermetures des vannes.

Cette optimisation nous permet d'économisée une quantité annuelle de GN de  $(4.02 \cdot 10^7 \text{ Nm}^3)$  qui se traduit par une valeur de  $(25.08 \cdot 10^6 \text{ DA})$ .

Et un gain annuel de valeur de  $2,69 \cdot 10^6 \text{ DA}$  pour les tamis moléculaires.

**Références bibliographiques**

- [1] P .Wuithier ; raffinage et génie chimique ; tome I, Edition Technip ; 1972
- [2]Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Licence thème : Traitement de GPL au niveau de GP1/Z, Réalisés par : Bourahla Aziz, Chenini Hocine, Kaouba Abdelkader, Mecheter Mouloud Université 20 août 1955, Skikda ,2015/2016
- [3] mémoire de fin étude pour l'obtention diplôme d'ingénieur spécialité de GNL, présente par : M laribi Bou Abdellah nadir et M boukhedratarek, thème : Etude de performance de la colonne de fractionnement au niveau des complexe GPL /1, école Boumerdes
- [4] mémoire de fin études pour obtenir le diplôme de master, Thème : Etude et optimisation de la section de déshydratation du complexe gazier d'Ohanet, Présenté Par : GABOUSSA Ali & GASMI Abdelkrim & MORSLI Siradj 40 P, Université kasdimerbah Ouargla.
- [5] mémoire présente par : BENDAAS Okba et OUKACHA Cylia, thème : Optimisation des paramètres de fonctionnement du déethaniseur (C-701) et du débutaniseur (C-702) de la section de fractionnement du gaz à l'UTG de Guellala
- [6] mémoire fin d'étude présenté par benlagha Ahmed et setti Amine, thème : optimisation du paramètre opératoires relatifs à la section stabilisation en vue de récupérer le maximum de produits finis (GPL, condensat)
- [6] Pétrole, Raffinage et Génie Chimique., Pierre WUITHIER, Edition Technip 1972.
- [7] J. P. Wauquier, procédés de séparation, Tome II, Edition Technique, 1998
- [8] mémoire Présenté par : Hocini Nour El Houda, thème : étude d'un système de vaporisation du GPL au niveau de l'unité GPL-2/CIS-HMD
- [9] ROBERT, C. REID, J. M. PRAUSNITZ ET THOMAS K, SHERWOOD, the Properties of Gases and Liquids, Third Edition.
- [10]Site web [www.cfbp.fr](http://www.cfbp.fr)
- [11] Mémoire présenté par Abdeljalil Anissa Ikram Djelti Mohammed à Optimisation de la distribution des bouteilles en gaz butane (B13) : Cas de l'entreprise Naftal GPL Tlemcen
- [12] Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Spécialisé en GNL Option Process thème : Estimations de la consommation énergétique et les pertes aux niveaux des deux complexes

GP1/Z et GP2/Z d'Arzew Présenté par : Mr. AMARA Khaled - Mr. CHERIFI Mahfoud, Octobre 2010

[13] site web, [www.one-ne.ge.ea](http://www.one-ne.ge.ea), (Mai2010) L'office nationale canadienne de l'énergie 2005

[14] Mémoire présentée par : MEDJOU DJ Ahmed Belkacem et BERRABAH Toufik, thème : optimisation des paramètres de marche de la section de fractionnement de L'UTG de GUELLALA, Univ. Ouargla

[15] Mémoire présenté par MOUNI nasseredine thème : Simulation et optimisation des paramètres technologiques de l'unité de fractionnement des GPL à haouderkaoui. Génie des procédés : Boumerdes, université BOUGARA (2013).

[16] Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Spécialisé en GNL Option : Process, thème : Vérification de la flexibilité des fours 401/6201/C/D au niveau du complexe GP2/Z Présentés par : SLIMANI ABD EL KADER. TEHAMI MUSTAFA.

[17] Mémoire de fin d'étude Présenté par : CHEBLI Laid et ABBASSI Youcef thème : calcul des paramètres de fonctionnement du dépropaniseur (unité (38), traitement de GPL "module III a HASSI R'MEL Génie des procédés : BISKRA, université MOUHAMMED KHIDAR : 2012

[18] Mémoire présent par M<sup>me</sup>Yahla Fatima Zohra née Berrais et Hamdi Noureddine, thème : Optimisation de la déshydratation (prolongation de la séquence de régénération

[19] Mémoire présentée en vue de l'obtention du diplôme de master Optimisation des paramètres de fonctionnement du turbo-expander de l'unité GPL2 (CIS-DP-HMD) présentée par : MELLOUKI AMINA Promotion : juin 2018

[20] Bouhoriera, M Etudes des pertes du GPL au niveau du débutaniseur de l'unité GPL/CIS/HMD. Mémoire de fin d'étude : Génie des procédés. Université d'Ouargla, 75p (2004).

[21] mémoire présentée par : MEDJOU DJ Ahmed Belkacem et BERRABAH Toufik, thème : optimisation des paramètres de marche de la section de fractionnement de L'UTG de GUELLALA, Univ. Ouargla

[22] Association européenne des gaz de pétrole liquéfié, site web : [www.aegpl.eu](http://www.aegpl.eu), (Mai2010)

[23] mémoire Présenté par : ZERNIZ Brahim : thème : optimisation des paramètres de fonctionnement d'un débutaniseur, p88

[24]. Manuel opératoire ; process : volume 1 et 2. Document GP1-Z

[25]. Catalogue mécanique ; manuel : volume 1. Document GP1-Z

[26]. Catalogue Mécanique ; process 3 : volume 1. IHI GP-1Z.

[27] Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister, l'option traitement du GPL et du gaz par HAFANI MUSTAFA, thème problèmes rencontrés dans le séchage du gaz naturel

[28]. DATA BOOK Déshydratation and treating. Section 15,9<sup>ème</sup> Edition, Revu (1974 - 1976).

[29] mémoire : Présenté par : HADJ MOHAMMED Loukmane, DJAMEL Ahmed, Thème dimensionnement déshydratations de gaz de l'unité de GPL 2 hassi-Messaoud : calculs et vérification

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

[30]. Polycopé I.A.P “ propane liquide déshydratation usine moléculaire Sévie”

[31] mémoire: étude de l'effet de changement du diamètre des tamis moléculaires sur le système de séchage (unité GLA/HBK).

[32] Mémoire : étude de la déshydratation dans l'unité de GPL/CIS/HMD recalcul de la quantité des tamis moléculaire université Ouargla 2008.

[33] MEMOIRE Présenté par Mme BELARBI KHEIRA LAMIA En vue de l'Obtention du Diplôme de Magister Thème : recyclage des matériaux de l'industrie pétrolière : cas des tamis moléculaires

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN, MOHAMED BOUDIAF

[34] Grace ; les tamis moléculaire Caractéristiques et Applications Western Germany ; Juin 1980 .

[35] DATA BOOK; Engineering.

[36] Hassan E. Alfadala, G. V. Rex Reklaitis, M, proceedings of the 1st annual Gas Processing symposium, (2009).

[37] mémoire : Présenté Par : Berretima El Hadj Belkacem Aribi Lakhdar Thème la déshydratation du gaz Techniques et Problèmes UNIVERSITE KASDI MARBAH OUARGLA, 2012 /2013

[38]. Le process de la déshydratation du Gaz Manuel de formation Cours Exp-Pr-Pr130 Révision

[39]Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Spécialisé en GNL Option : Process, étude du problème du mauvais refroidissement de l'échangeur E-0034 de la section BOG propane (COMPEXE GP1/Z) Présenté par : Mr. FAREZ Ali et Mr. SENINA Mohamed

[40]Mémoires vue de l'obtention du diplôme de Licence. Présente par ; BourahlaAziz, Chenini Hocine, Kaouba Abdelkader et Mecheter Mouloud, thème : Traitement de GPL au niveau de GP1/Z Université 20 août 1955 – Skikda

[41] Mémoire de fin étude pour l'obtention du diplôme de master option : ingénierie biomoléculaire, thème optimisation de fonctionnement du complexe GP1 /Z Présente par M<sup>elle</sup> Chadli khalida et M. hamadouche Djamel université d'Oran

[42]. UTHVEN D. M; Principles of Adsorption and Adsorption Process John Wiley et sons, new York.

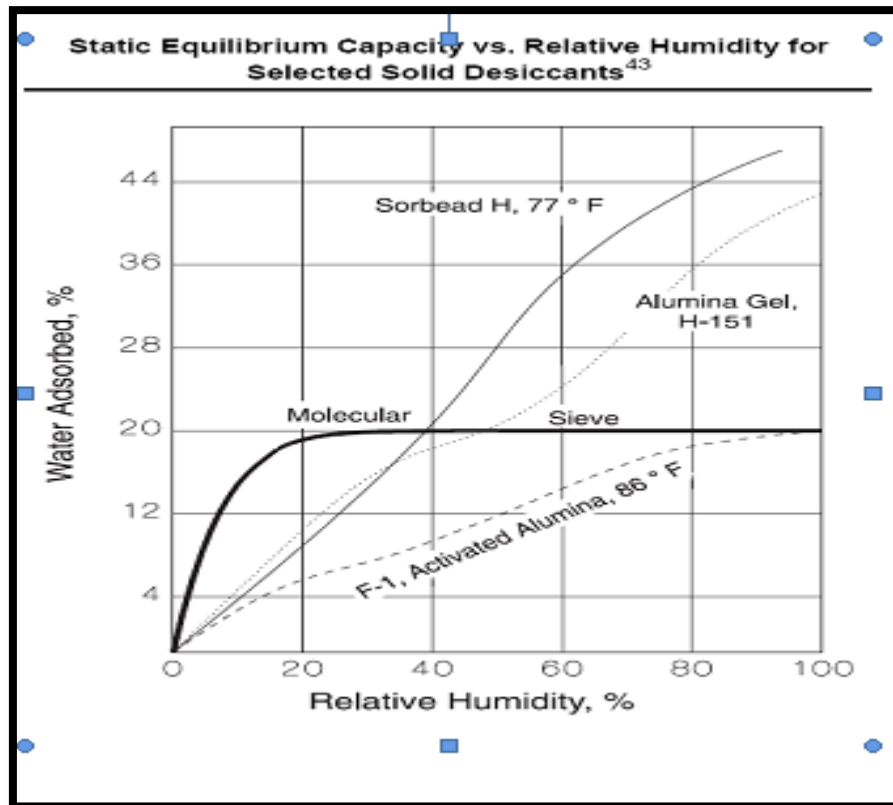
[43]. Sherwood; Proprieties of Gaz and Liquids.

[44]. Formation perfectionnement d'ingénieur.

# ANNEXES

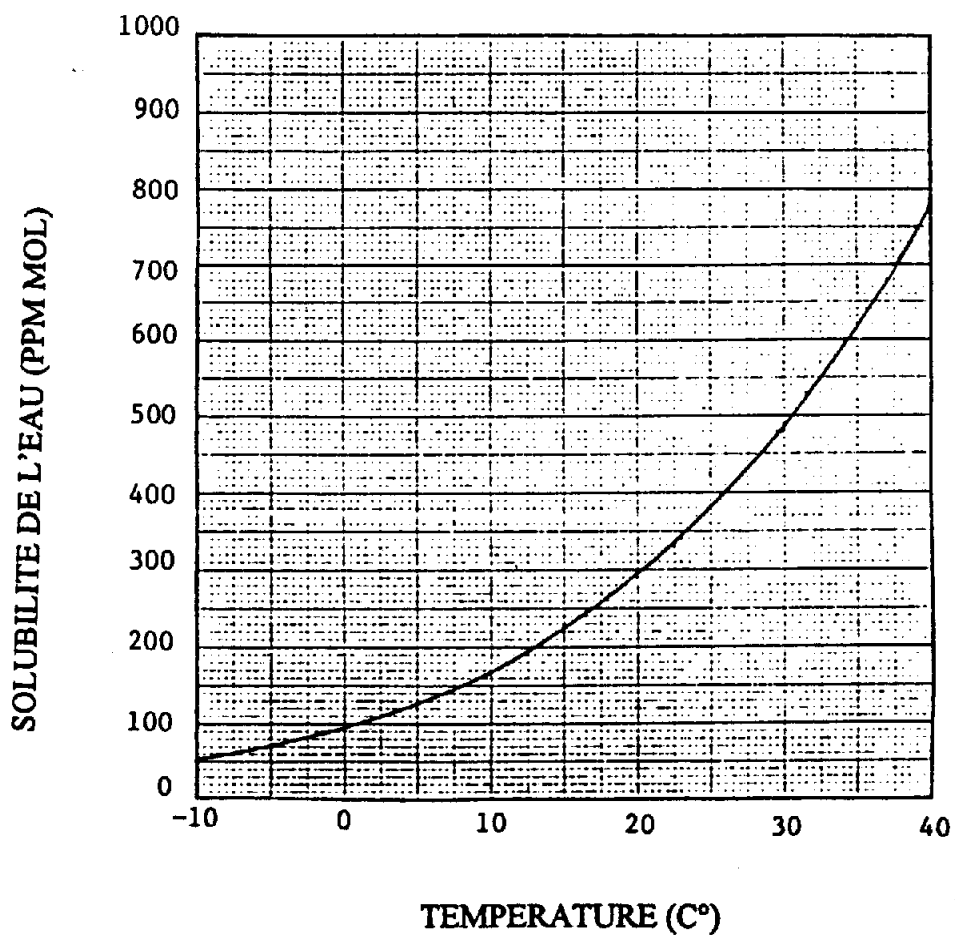
## Les annexes

Annexe 1 :



**SOLUBILITE DE L'EAU DANS LA CHARGE DE GPL**

- Note 1. Calcul selon la procédure API  
2. Source de charge = 13 (moyenne)

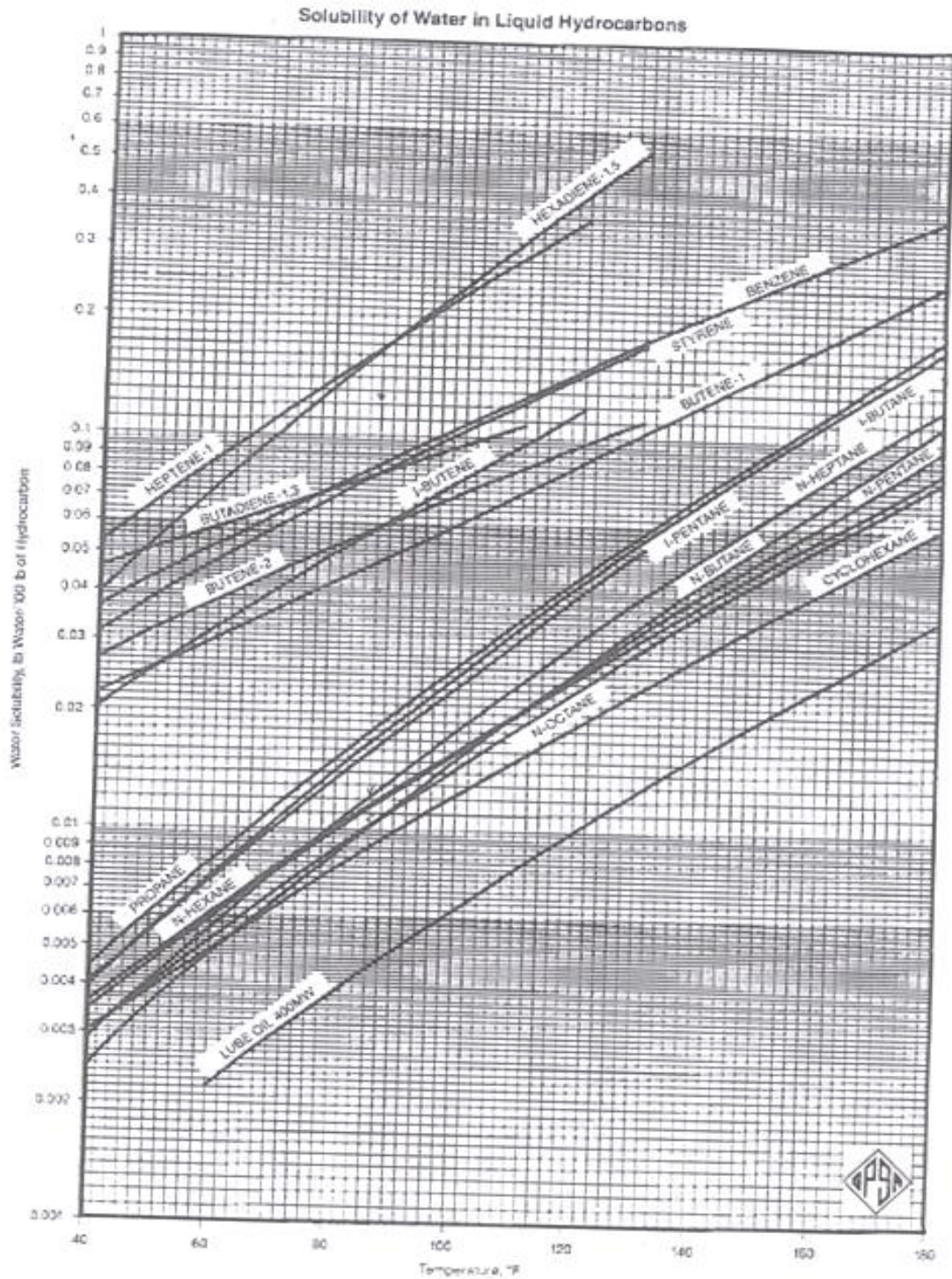


Annexe 02

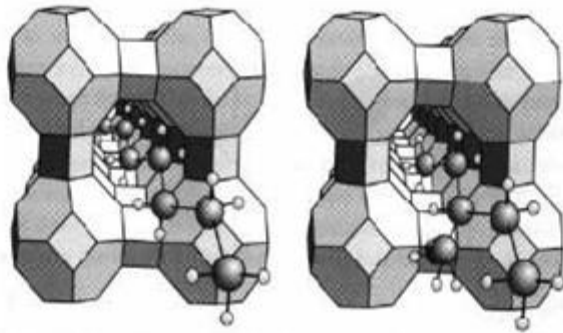


## Annexe 03 :

## La solubilité de l'eau dans les hydrocarbures liquide

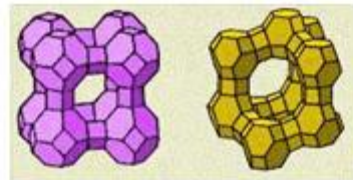


## Annexe 04 :

**Tamis moléculaires**

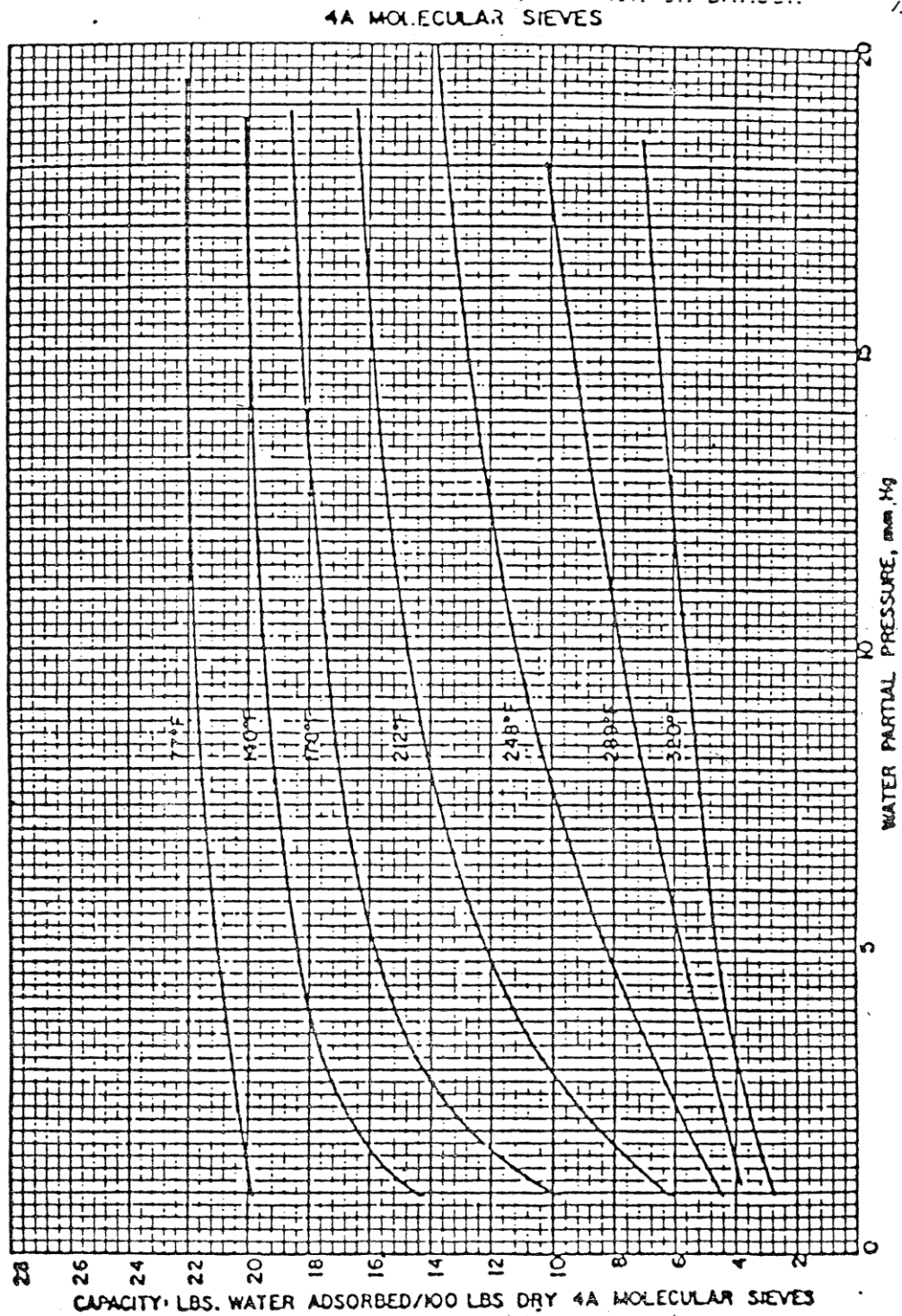
Structure de zéolithe de type A

Structure de zéolithe de type X



ANNEXE 5

Capacité d'adsorption de l'eau en fonction de température



## ANNEXE 6

Coefficient de l'équation d'enthalpie  $H^\circ$ 

Tableau 2.1 - Coefficients des équations du pouvoir calorifique, de l'enthalpie et de l'entropie des mélanges de gaz parfaits.

No. CPT	Composant	A	B	C x 10 <sup>3</sup>	D x 10 <sup>6</sup>	E x 10 <sup>9</sup>	F x 10 <sup>9</sup>	G	Intervalle °C
<i>Non-Hydrocarbonés</i>									
1	Oxygène	-2,283574	0,952440	-0,281140	0,655223	-0,452316	1,087744	2,080310	-175 to 1200
2	Hydrogène	28,671997	13,396156	2,960131	-3,980744	2,661667	-6,099863	-11,801371	-175 to 1200
3	Eau	-5,729915	1,915007	-0,395741	0,876232	-0,495086	1,038613	0,702815	-175 to 1200
4	Sulfure d'hydrogène	-1,437049	0,998865	-0,184315	0,557087	-0,317734	0,636644	1,394812	-175 to 1200
5	Azote	-2,172507	1,068490	-0,134096	0,215569	-0,078632	0,069850	1,805409	-175 to 1200
6	Ammoniac	-2,202606	2,010317	-0,650061	2,373264	-1,597595	3,761739	0,990447	-175 to 1200
7	Carbone	9,572700	-0,199901	1,535456	0,267516	-0,811532	2,726889	1,687611	-175 to 1200
8	Monoxyde de carbone	-2,269176	1,074015	-0,172664	0,302237	-0,137533	0,200365	2,018445	-175 to 1200
9	Dioxyde de carbone	11,113744	0,479107	0,762159	-0,359392	0,084744	-0,057752	2,719180	-175 to 1200
10	Dioxyde de soufre	3,243188	0,461650	0,248915	0,120900	-0,188780	0,568232	2,086924	-175 to 1200
<i>Paraffines</i>									
11	Méthane	-16,228549	2,393594	-2,218007	5,740220	-3,727905	8,549685	-0,339779	-175 to 1200
12	Éthane	-0,049334	1,108992	-0,188512	3,965580	-3,140209	8,008187	1,995889	-175 to 1200
13	Propane	-1,717565	0,722648	0,708716	2,923895	-2,615071	7,000545	2,289659	-175 to 1200
14	n-Butane	17,283134	0,412696	2,028601	0,702953	-1,025871	2,883394	2,714861	-75 to 1200
15	2-Méthylpropane	26,744208	0,195448	2,523143	0,195651	-0,772615	2,386087	3,466595	-75 to 1200
16	n-Pentane	63,201677	-0,011701	3,316498	-1,170510	0,199648	-0,086652	4,075275	-20 to 1200
17	2-Méthylbutane	64,252075	-0,131900	3,541156	-1,333225	0,251463	-0,129589	4,572976	-20 to 1200
18	2,2-Diméthylpropane	27,380416	0,018305	3,063221	-0,375030	-0,530964	2,059134	3,388342	-75 to 1200
19	n-Hexane	-17,191071	0,959226	-0,614725	6,142101	-6,160952	20,868190	-0,207040	-75 to 700
20	2-Méthylpentane	33,798408	0,173685	2,348998	0,844100	-1,559115	5,534684	2,968423	-75 to 700
21	3-Méthylpentane	17,964768	0,397799	1,209870	3,254556	-3,942661	14,384148	2,149541	-75 to 700
22	2,2-Diméthylbutane	92,706801	-0,500323	4,525783	-2,415290	0,713199	-0,591097	5,617113	-20 to 700
23	n-Heptane	-0,153725	0,754499	0,261728	4,366358	-4,484510	14,842099	0,380048	-75 to 700
24	2-Méthylhexane	17,893709	0,404849	1,334653	2,877698	-3,511818	12,540055	1,823456	-75 to 700
25	3-Méthylhexane	36,807299	0,167431	2,262250	1,067097	-1,781538	6,169491	2,864993	-75 to 700
26	2,4-Diméthylpentane	11,508769	0,093303	2,598254	0,630349	1,428307	4,569218	2,847131	-20 to 700
27	n-Octane	2,604725	0,724670	0,367845	4,142833	-4,240199	13,734055	0,327588	-75 to 700
28	2,2-Diméthylhexane	21,451302	0,226073	2,074483	1,466277	-2,169048	7,742088	2,139163	-20 to 700
29	2-Méthylheptane	27,405630	0,305110	1,826883	1,744174	-2,311344	7,752627	2,038844	-75 to 700
30	2,2,4-Triméthylpentane	26,118096	0,039675	2,742294	0,328610	-1,306014	4,586420	2,846608	-75 to 700
31	n-Nonane	4,000278	0,707805	0,438048	3,969342	-4,043158	12,876028	0,257265	-75 to 700
32	n-Décane	-6,962020	0,851375	-0,263041	5,521816	-5,631733	18,885443	-0,412446	-75 to 700
33	n-Undécane	65,290564	-0,099827	3,472495	-1,354336	0,264721	-0,145574	3,407959	-20 to 1200
34	m-Dodécane	60,967391	-0,077548	3,420649	-1,308559	0,247576	-0,130380	3,227042	-20 to 1200
35	n-Tridécane	62,748642	-0,096018	3,463033	-1,353243	0,264564	-0,145439	3,245905	-20 to 1200
36	n-Tétradécane	61,655096	-0,092312	3,452192	-1,345181	0,261574	-0,143007	3,172971	-20 to 1200
37	n-Pentadécane	62,217244	-0,100961	3,472075	-1,366935	0,269684	-0,150082	3,163060	-20 to 1200
38	n-Hexadécane	60,927011	-0,095563	3,459313	-1,356807	0,265935	-0,146753	3,095128	-20 to 1200
39	n-Heptadécane	60,853132	-0,098655	3,465969	-1,365537	0,269340	-0,149768	3,071276	-20 to 1200
40	n-Octadécane	60,419501	-0,098876	3,466295	-1,367430	0,270024	-0,150334	3,038272	-20 to 1200
41	n-Nonadécane	59,195816	-0,092752	3,451465	-1,354690	0,265281	-0,146249	2,979932	-20 to 1200
42	n-Eicosane	59,163624	-0,095147	3,456592	-1,360776	0,267410	-0,147933	2,963523	-20 to 1200

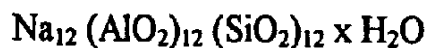
$H = 0$  kJ/kg pour le gaz parfait à 0 K.

$S = 1$  kJ/kg K pour le gaz parfait à 0 K et 1 kPa

Les unités sont le kJ/kg pour l'enthalpie, le kJ/kg K pour le pouvoir calorifique et l'entropie.

## ANNEXE 7

**PROPRIETES PHYSIQUE DE L'ADSORBANT  
(TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES)**

**CHEMICAL FORMULA**Conditions d'expédition

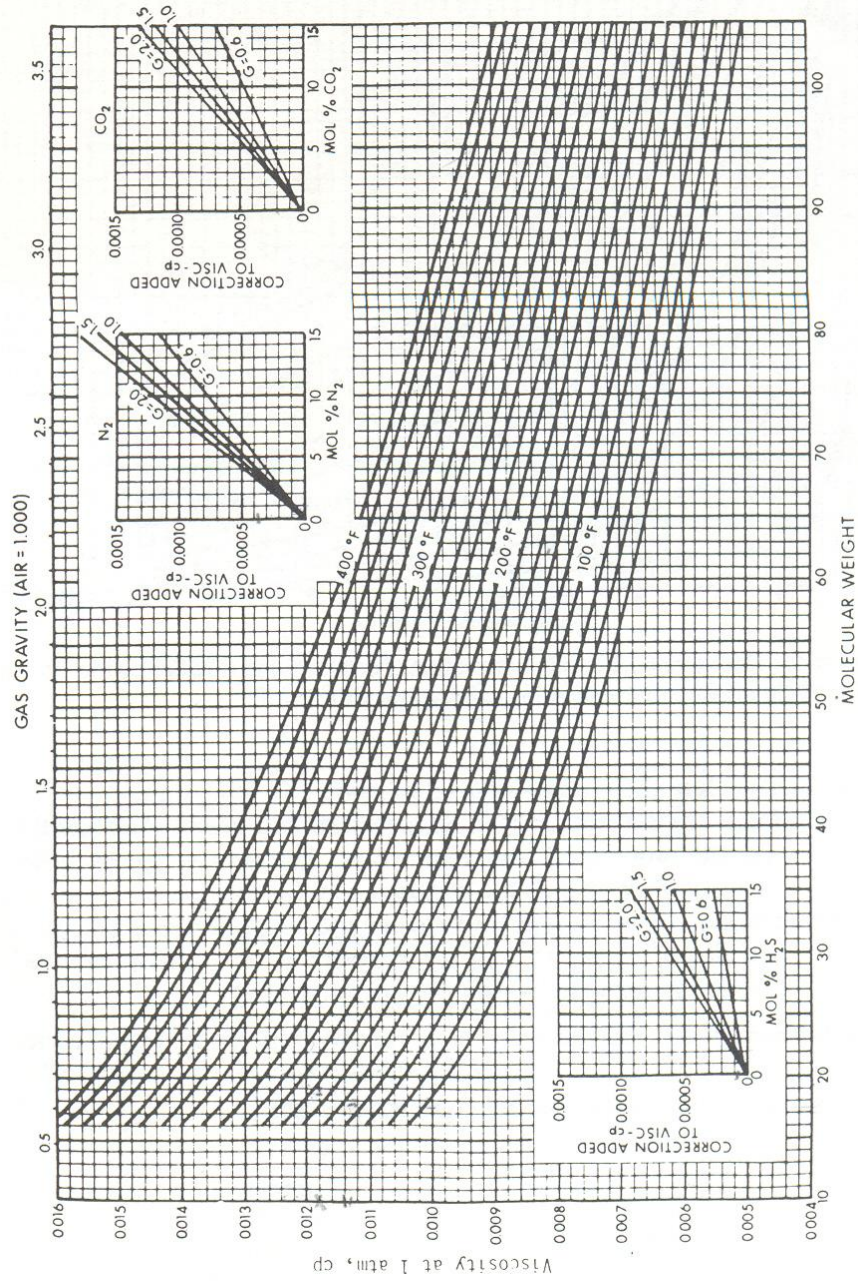
Le tamis moléculaire de type 4A-DG TRISIV 1/8 est disponible sous forme de granulés de 3,2 mm. Il est expédié sous containers acier, d'un poids net de 135 kg le container.

Propriétés typiques	Granulés 1/8"
Diamètre nominal des pores	4 angströms
Densité "non tassé" (moyenne)	640 kg/cm <sup>3</sup>
Densité "tasse"	624 à 657 kg/m <sup>3</sup>
Diamètre particule	3,2 mm
Résistance à l'écrasement	6,8 à 7,7 kg
Chaleur d'adsorption (max.)	1.000 kcal/kg H <sub>2</sub> O
Capacité en eau à l'équilibre*	22% en poids
Teneur en eau (à l'emballage)	1,5% en poids

\* En Lbs d'eau/100 lbs d'adsorbant activité à 17,5 mm Hg, 25°C.

ANNEXE 8

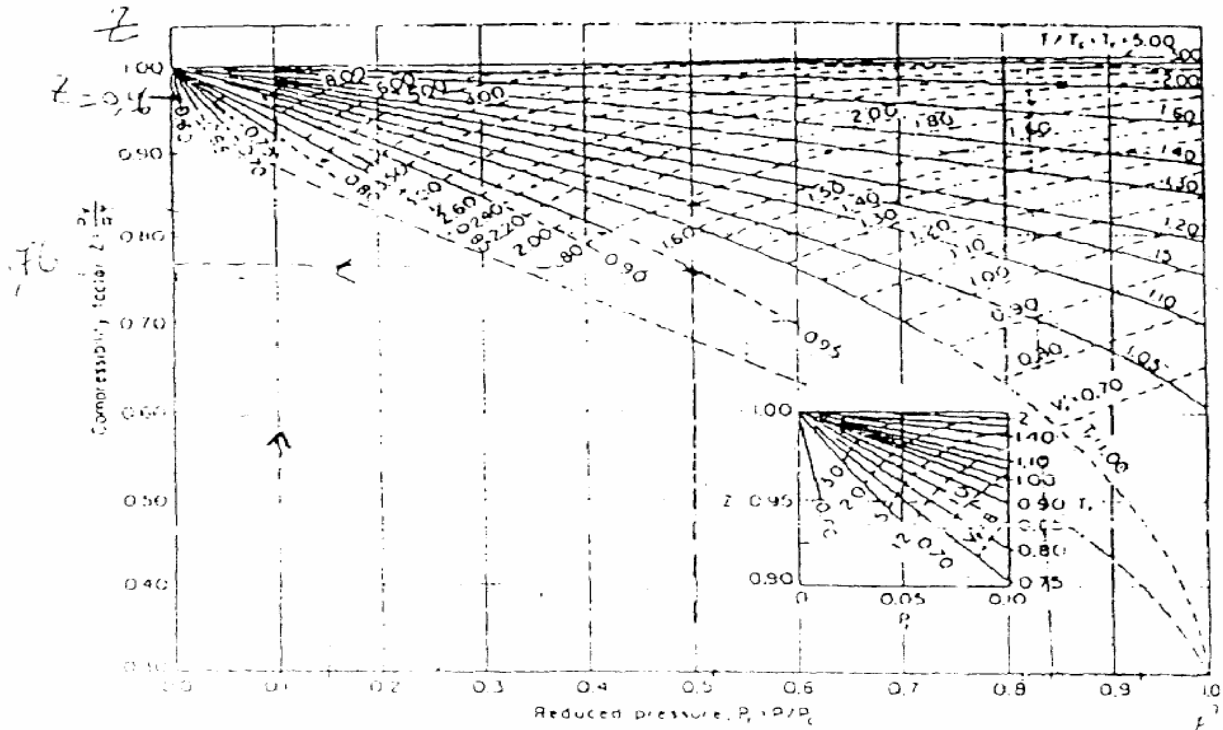
Figure 3.  
viscosité  
à la



La  
 $\mu_g$  du gaz  
pression et

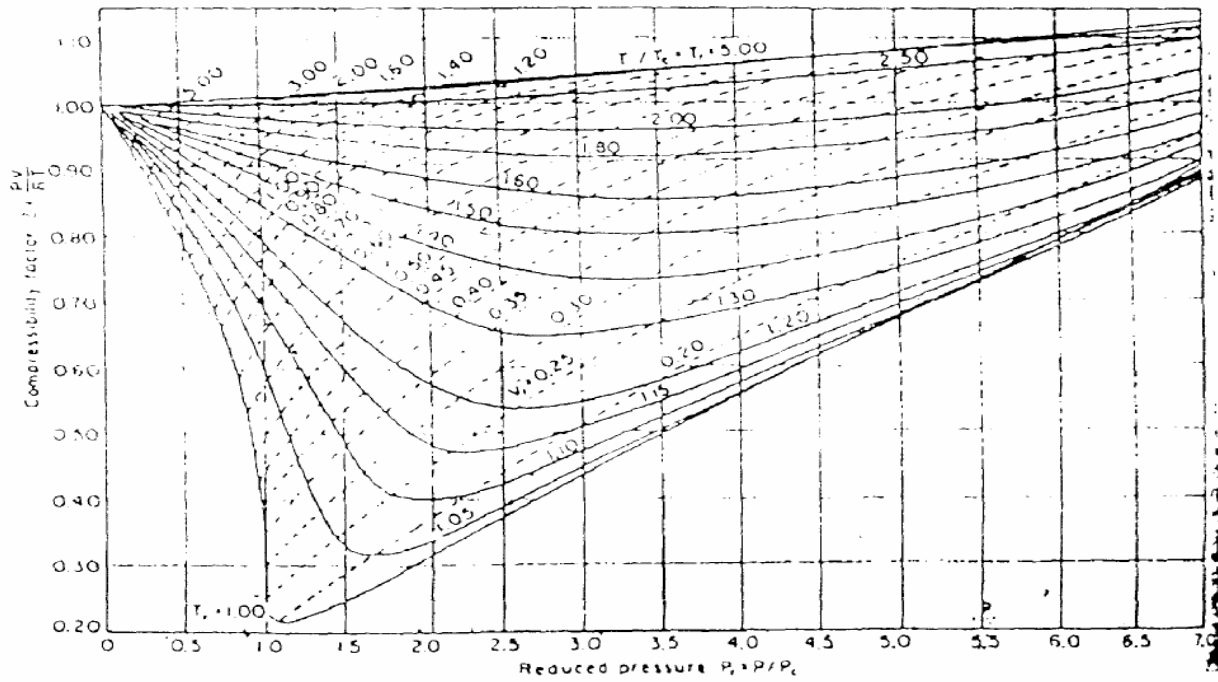
température d'intérêt.

ANNEXE 9



12- Generalized compressibility charts

$$\frac{v}{v_c} = \frac{Z_c}{Z} \frac{T_r}{P_r}$$



FigureII- Détermination du coefficient de compressibilité Z.

## ANNEXE 10

## Constantes critiques de pression et de température

NOTE: Numbers in this table do not have accuracies greater than 1 part in 1000; in some cases extra digits have been added to calculated values to achieve internal consistency or to permit recalculation of experimental values.

## PHYSICAL CONSTANTS

\*See the Table of Notes and References.

Number	Compound	Formula	Critical constants							Number	
			Molar mass (molecular weight)	Boiling point, °F 14.696 psia	Vapor pressure, psia 100 °F	Freezing point, °F 14.696 psia	Refractive index, $n_D$ 60 °F	Pressure, psia	Temperature, °F		Volume, ft <sup>3</sup> /lb
								A.	B.		C.
1	Methane	CH <sub>4</sub>	16.043	-258.72	(5000)*	-296.41 *	1.00041*	667.0	-116.66	0.0988	1
2	Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	-127.46	(800)*	-297.02*	1.20971*	707.8	90.07	0.0783	2
3	Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.097	-43.73	188.68	-305.72*	1.29480*	615.0	205.92	0.0727	3
4	Isobutane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.123	10.78	72.598	-255.26	1.3245*	527.9	274.41	0.0714	4
5	n-Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.123	31.08	51.719	-217.03	1.33588*	548.8	305.51	0.0703	5
6	Isopentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.150	82.09	20.450	-255.80	1.34771	490.4	368.96	0.0684	6
7	n-Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.150	96.89	15.580	-201.48	1.35165	488.1	385.7	0.0695	7
8	Neopentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.150	49.10	36.72	2.16	1.342*	464.0	321.01	0.0673	8
9	n-Hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.177	155.70	4.9614	-139.56	1.37708	439.5	451.8	0.0688	9
10	2-Methylpentane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.177	140.44	6.769	-244.60	1.36571	436.6	435.76	0.0682	10
11	3-Methylpentane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.177	145.86	6.103	-261.20	1.37090	452.5	448.2	0.0682	11
12	Neohexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.177	121.50	9.859	-147.68	1.36283	446.7	419.92	0.0667	12
13	2,3-Dimethylbutane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.177	136.33	7.406	-199.35	1.36938	454.0	440.08	0.0665	13
14	n-Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.204	209.07	1.6211	-130.99	1.38234	397.4	510.9	0.0682	14
15	2-Methylhexane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.204	194.05	2.273	-180.87	1.37940	396.0	494.44	0.0673	15
16	3-Methylhexane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.204	197.33	2.130	—	1.38326	407.6	503.62	0.0646	16
17	3-Ethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.204	200.26	2.012	-181.44	1.38800	419.2	513.16	0.0665	17
18	2,2-Dimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.204	174.50	3.494	-190.80	1.37667	401.8	476.98	0.0665	18
19	2,4-Dimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.204	176.85	3.294	-182.59	1.37591	397.4	475.72	0.0667	19
20	3,3-Dimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.204	186.87	2.775	-209.99	1.38564	427.9	505.60	0.0662	20
21	Triptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.204	177.54	3.376	-12.21	1.38411	427.9	496.24	0.0636	21
22	n-Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.231	258.17	0.5374	-70.17	1.39248	361.1	563.5	0.0673	22
23	Diisobutyl	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.231	228.34	1.102	-132.09	1.38735	361.1	530.26	0.0676	23
24	Isooctane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.231	210.58	1.709	-161.23	1.38624	372.7	519.28	0.0657	24
25	n-Nonane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128.258	303.40	0.1716	-64.26	1.40054	330.7	610.8	0.0693	25
26	n-Decane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142.285	345.40	0.06091	-21.33	1.40720	304.6	652.2	0.0702	26
27	Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.134	120.60	9.917	-136.89	1.40050	653.8	461.1	0.0594	27
28	Methylcyclopentane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84.161	161.29	4.491	-224.38	1.40400	548.8	499.28	0.0607	28
29	Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84.161	177.40	3.267	43.79	1.42053	590.7	536.6	0.0586	29
30	Methylcyclohexane	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	98.188	213.69	1.609	-195.87	1.41778	503.4	570.20	0.0600	30
31	Ethene(Ethylene)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.054	-154.71	(1400)*	-272.48*	(1.228)*	731.0	48.54	0.0746	31
32	Propene(Propylene)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.081	-53.83	232.8	-301.45*	1.3006*	676.6	198.31	0.0717	32
33	1-Butene(Butylene)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.108	20.79	62.55	-301.63*	1.3386*	586.4	296.18	0.0683	33
34	cis-2-Butene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.108	38.69	45.97	-218.01	1.3556*	615.4	324.31	0.0667	34
35	trans-2-Butene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.108	33.58	49.88	-157.97	1.3487*	574.9	311.80	0.0679	35
36	Isobutene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.108	19.57	64.95	-220.60	1.3473*	580.2	292.49	0.0681	36
37	1-Pentene	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.134	85.92	19.12	-265.37	1.36487	509.5	376.86	0.0674	37
38	1,2-Butadiene	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	54.092	51.52	36.53	-213.14	—	(656.)*	(354.)*	(0.070)*	38
39	1,3-Butadiene	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	54.092	24.06	59.46	-164.00	1.3975*	620.3	306.	0.0653	39
40	Isoprene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	68.119	93.29	16.68	-230.71	1.41472	(582.)*	(403.)*	(0.066)*	40
41	Acetylene	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26.038	-119.21*	—	-113.4*	—	890.4	95.29	0.0693	41
42	Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.114	176.13	3.225	41.96	1.49436	710.4	552.15	0.0531	42
43	Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92.141	231.08	1.033	-138.96	1.49102	595.5	605.50	0.0549	43
44	Ethylbenzene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.167	277.10	0.3716	-138.933	1.49022	523.0	651.22	0.0564	44
45	o-Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.167	291.91	0.2643	-13.32	1.50017	541.6	674.85	0.0557	45
46	m-Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.167	282.35	0.3265	-54.16	1.49177	512.9	650.95	0.0567	46
47	p-Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.167	280.98	0.3424	55.87	1.49039	509.2	649.47	0.0572	47
48	Styrene	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	104.152	293.40	0.2582	-23.14	1.54937	587.8	(703.)*	0.0534	48
49	Isopropylbenzene	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	120.194	306.27	(0.188)	-140.838	1.48607	465.4	676.2	0.0569	49
50	Methyl alcohol	CH <sub>3</sub> O	32.042	148.41	4.631	-143.77	1.32443	1174.	463.01	0.0590	50
51	Ethyl alcohol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	46.069	172.87	2.313	-173.4	1.35717	891.7	465.31	0.0581	51
52	Carbon monoxide	CO	28.010	-312.61	—	-336.99*	1.00028*	506.8	-220.51	0.0527	52
53	Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	44.010	-109.235*	—	-69.81*	1.00038*	1069.5	87.73	0.0342	53
54	Hydrogen sulfide	H <sub>2</sub> S	34.082	-76.49	394.67	-121.86*	1.00057*	1300.	212.40	0.0461	54
55	Sulfur dioxide	SO <sub>2</sub>	64.065	14.11	85.46	-103.84*	1.00059*	1143.	315.7	0.0305	55
56	Ammonia	NH <sub>3</sub>	17.0305	-27.98	211.9	-107.85*	1.00033*	1647.	270.2	0.0681	56
57	Air	N <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>	28.9625	-317.81	—	—	1.00028*	546.9	-221.30	0.0517	57
58	Hydrogen	H <sub>2</sub>	2.0159	-423.130*	—	-434.824*	1.00013*	187.5*	-400.3*	0.5101*	58
59	Oxygen	O <sub>2</sub>	31.9988	-297.317*	—	-361.826*	1.00027*	731.4	-181.41	0.0367	59
60	Nitrogen	N <sub>2</sub>	28.0134	-320.436	—	-345.995*	1.00028*	492.8	-232.49	0.0510	60
61	Chlorine	Cl <sub>2</sub>	70.9054	-29.12	157.3	-149.70*	1.3735*	1157.	290.69	0.0280	61
62	Water	H <sub>2</sub> O	18.0153	211.953*	0.95014	32.018	1.33335	3200.1	705.11	0.04975	62
63	Helium	He	4.0026	-452.110	—	—	1.00003*	32.99	-450.31	0.2300	63
64	Hydrogen chloride	HCl	36.4606	-121.25	906.71	-173.50*	1.00039*	1205.	124.75	0.0356	64

9/15/95



