



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CENTRE UNIVERSITAIRE DE TISSEMISILT



Visa du chef de département des  
Sciences et Technologies  
Signature:.....  
Date:.....

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

**Optimisation de la section de déshydratation  
du GPL**

Encadreur : *Mr. M.LOUCIF*  
Signature  
Date: .....

Réalisé par :  
*BERRABAH Amine*

Membres du jury

*Mr M.MERZOUGUI MAA (Président) centre universitaire de Tissemsilt*  
*M<sup>ème</sup> H.BERDAA MAA (Examineur) centre universitaire de Tissemsilt*  
*Mr M.BIDAOUI MCA (Examineur) centre universitaire de Tissemsilt*  
*Mr M.LOUCIF MAA (Encadreur) centre universitaire de Tissemsilt*

Tissemsilt 2017/2018

## **REMERCIEMENT**

EN PREMIER LIEU, NOUS TENONS À REMERCIER NOTRE **DIEU**,  
POUR NOUS DONNÉ AVOIR LA FORCE POUR ACCOMPLIR CE TRAVAIL.  
NOUS TENONS À PRÉSENTER NOS REMERCIEMENTS À NOTRE  
PROMOTEUR, **MR LOUCIF** QUI NOUS A SUIVI ET DIRIGÉ  
TOUT AU LONG DE LA RÉALISATION DE CE TRAVAIL, ET QUI A ÉTÉ  
D'UNE AIDE TRÈS PRÉCIEUSE SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET MORAL.  
NOUS VOUDRIONS AUSSI REMERCIER TOUS NOS ENSEIGNANTS DU  
DÉPARTEMENT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES  
PARTICULIÈREMENT : **M<sup>ME</sup> H.BERDAA ET MR.BIDAoui ET MR.MERZOUGUI**  
NOS DERNIERS REMERCIEMENTS ET CE NE SONT PAS LES MOINDRES,  
VONT À TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUÉ DE PRÈS OU DE LOIN  
POUR L'ABOUTISSEMENT DE CE TRAVAIL.

**DÉDICACE :**

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL :

À MON PÈRE

À L'ÊTRE LE PLUS CHER DE MA VIE, MA MÈRE

À MES FRÈRES : BEKHAIRA, MOHAMED, AHMED, MAHFODH, AMEUR.

À TOUTE MES SŒURS.

À TOUTE LA FAMILLE BERRABAH QUI A RÉSISTÉ À LA SOUFFRANCE D'ÊTRE  
LOIN D'EUX.

À TOUS MES AMIS

À TOUS CEUX QUI ONT SEMÉS LE BONHEUR DANS MON CHEMIN.

À TOUS LES ENSEIGNANTS DE GÉNIE DE RAFFINAGE.

À TOUS MES COLLÈGUES SANS EXCEPTION.

**BERRABAH AMINE**

# Sommaire

<b>Introduction général</b> .....	1
<b>Chapitre I : Présentation du complexe GP1Z</b> .....	2
I.1. Introduction.....	2
I.2. Organisation du complexe .....	3
I.3. Fiche technique du complexe .....	4
I.4. Date de mise en production .....	4
I.5. Alimentation de l'usine .....	5
I.6. Les utilités .....	5
I.7. Les installations du complexe GP1Z. ....	6
I.7.1. Les installations de stockage d'alimentation .....	6
I.7.2. Les installations de production .....	7
I.7.3. les installations de Stockage des Produits Finis .....	8
I.7.4. Les installations de chargements .....	9
<b>Chapitre II : Généralités sur le GPL</b> .....	10
II.1. Historique .....	10
II.2. Définition du GPL .....	10
II.3. L'origine des GPL.....	11
II.4. Caractéristiques générales des GPL .....	12
II.5. Propriétés physiques et spécification des GPL.....	13
II.6. Les différentes utilisations du GPL .....	14
II.7. Le stockage du GPL .....	16
II.8. Risques des GPL.....	17
II.9. Avantages écologiques du GPL en tant que carburant .....	17
II.10. Les GPL dans le monde et en Algérie .....	18
II.10.1. Consommation mondiale en GPL .....	18
II.10.2. Situation de GPL en Algérie .....	19
II.10.2.1. Industrie de GPL en Algérie .....	19
II.10.2.2. Consommation nationale en GPL .....	19
II.10.2.3. Evaluation de la production Demande nationale de GPL du GPL....	20

<b>Chapitre III. La déshydratation en général</b> .....	21
III.1. Introduction .....	21
III.2. Le but de la déshydratation .....	21
III.3. Description générale .....	21
III.4. Données de base .....	22
III.5. Les modes de déshydratation du GPL.....	23
III.5.1. Inhibition par injection d'inhibiteur de formation d'hydrates .....	23
III.5.2. Déshydratation par absorption dans un liquide .....	24
III.5.3. Déshydratation par Adsorption .....	25
III.6. Avantages et inconvénients de la déshydratation par adsorption.....	25
III.7. La déshydratation du gaz naturel .....	26
III.7.1 Le but de la déshydratation du gaz naturel .....	26
III.7.2 Les modes de déshydratation du gaz naturel .....	26
III.7.2.1 la déshydratation par refroidissement .....	26
III.7.2.2 la déshydratation par absorption avec un solvant physique .....	26
III.7.2.3 la déshydratation par adsorption .....	27
III.7.2.4 la déshydratation par membranes .....	28
III.8. Les types d'adsorbant.....	29
III.9. Les hydrates de gaz .....	35
III.9.1 Définition .....	35
III.9.2 Structures des hydrates .....	35
III.9.3 Types des hydrates .....	36
III.9.4 Les facteurs favorisant de la formation d'hydrates .....	36
<b>Chapitre IV: La déshydratation du GPL</b> .....	38
IV.1. Introduction.....	38
IV.2. La déshydratation par adsorption sure un dessiccant solide .....	38

IV.3. La zone de transfert de masse (ZMT) .....	39
IV.4. Le Cycle de régénération.....	40
IV.4.1. Le Drainage .....	41
IV.4.2. Dépressurisation .....	41
IV.4.3. Le Chauffage .....	41
IV.4.4. Refroidissement .....	42
IV.4.5. Pressurisation .....	43
IV.4.6. Remplissage .....	43
IV-5-Présentation du problème et La Méthode de calcul .....	45
IV.5.1. Présentation du problème .....	45
IV.5.2. La Méthode de calcul .....	46
IV.5.2.1. Constitution d'un déshydrateur de charge.....	46
IV.5.2.2. La théorie de calcul.....	47
IV.6. Validité de la méthode.....	51
IV.6.1. Dimensionnement d'un déshydrateur .....	51
VI.7. Etude des options .....	65
VI.7.1. Etude de la première solution.....	65
VI.7.2. Etude de la deuxième solution .....	71
VI.7.3. Etude de la troisième solution .....	74
<b>Conclusion.....</b>	<b>76</b>

## Liste des figures

Figure. I.1 Complexe GP1Z .....	2
Figure. I.2 Organisation du complexe GP1Z.....	3
Figure. I.3 Lignes d'alimentation.....	5
Figure. I.4 Sphères de stockage.....	7
Figure. II.1 Récupération des GPL à partir du pétrole Brut.....	11
Figure. II.2 Récupération du GPL à partir des champs de G.N.....	12
Figure. II.3 Chiffres clés du GPL en 2007 (en millions de tonnes) .....	18
Figure. II.4 Profil de la consommation nationale en GPL.....	19
Figure. II.5 Production Algérienne de GPL (historique et prévisions). .....	20
Figure. III.1 La déshydratation par injection de glycol.....	24
Figure. III.2 La Déshydratation par absorption au T.E.G.....	25
Figure. III.3 la déshydratation par refroidissement.....	26
Figure. III.4 Procédé de Déshydratation par glycol.....	27
Figure. III.5 la déshydratation du gaz naturel par adsorption .....	27
Figure. III.6 la déshydratation par membrane.....	28
Figure. III.7 Structure d'une membrane asymétrique .....	28
Figure. III.8 Structure d'une membrane Module spirale.....	29
Figure. III.9 Structure d'une membrane Module à fibres creuses .....	29
Figure. III.10 Différentes formes des tamis moléculaire.....	31
Figure. III.11 Types A et X du tamis moléculaire .....	32
Figure. III.12 Type cristallin du tamis moléculaire.....	32
Figure. III.13 Hydrate solide .....	35
Figure. III.14 Structures des hydrates .....	36
Figure. IV.1 La déshydratation par adsorption sur dessicant solid .....	39
Figure. IV.2 Le déplacement de ZMT lors de l'adsorption .....	40
Figure. IV.3 Le Drainage .....	41
Figure. IV.4 Dépressurisation .....	41
Figure. IV.5 Le Chauffage .....	42
Figure. IV.6 Profil de Température de régénération.....	42
Figure. IV.7 Refroidissement.....	43
Figure. IV.8 La Pressurisation. ....	43
Figure. IV.9 remplissage .....	44

**Figure. IV.10 Variation de la teneur en eau dans la charge durant un moi de août 2017. 45**

## Liste des Tableaux :

<b>Tableau. I.1 Les symboles d'Organisation du complexe GP1Z .....</b>	<b>4</b>
<b>Tableau. II.1 Les composants du GPL .....</b>	<b>10</b>
<b>Tableau. II.2 Propriétés physiques des GPL .....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau. II.3 Le potentiel de pénétration du GPL/C dans les pays utilisateurs.....</b>	<b>15</b>
<b>Tableau. II.4 La production et la consommation mondiale du GPL(MT) en 1997.</b>	<b>18</b>
<b>Tableau. III.1 Diamètres critiques de certaines molécules .....</b>	<b>31</b>
<b>Tableau. IV.1 Le cycle de régénération.....</b>	<b>40</b>
<b>Tableau. IV.2 La fiche technique du tamis moléculaire .....</b>	<b>46</b>
<b>Tableau. IV.3 Composition de la charge du GPL .....</b>	<b>51</b>
<b>Tableau. IV.4 La composition du gaz de régénération .....</b>	<b>55</b>
<b>Tableau. IV.5 Les propriétés du gaze de régénération.....</b>	<b>60</b>
<b>Tableau. IV.6 Récapitulation des résultats .....</b>	<b>64</b>



**Introduction  
Générale**

Parallèlement au pétrole, l'énergie gazière occupe une place très importante dans le marché mondial grâce à ces propriétés énergétiques et écologiques...etc.

Vu la richesse de l'Algérie en gaz et en pétrole, l'économie nationale se base essentiellement sur l'industrie des hydrocarbures. Cette industrie nécessite l'implantation de diverses unités de traitement avec l'installation d'équipements coûteux. Dans ces conditions, les progrès techniques permettant de réduire ces coûts devraient jouer dans l'avenir un rôle majeur dans le développement du commerce international des combustibles.

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

deuxième zone exportatrice de GPL après l'Arabie saoudite.

Dans le cadre de l'objectif stratégique de valorisation des ressources gazières. La société sonatrach a adopté un plan de développement qui permet, la récupération des GPL sur les champs en exploitation, pour augmenter la contribution des GPL dans l'exportation globale d'hydrocarbures et d'accroître ainsi les recettes en devises du pays.

L'objectif de notre étude consiste à optimiser le fonctionnement de la section déshydratation de GPL au niveau du complexe GP1Z, et cela suite à la perte énorme d'énergie.

Ce rapport de thèse est organisé en quatre chapitres couvrant les différents aspects de cette thèse :

- Dans le **premier chapitre**, nous présentons le complexe GP1Z, et à travers le **deuxième chapitre**, nous présentons, une généralité sur le GPL.
- Nous avons consacré le **troisième chapitre** pour la déshydratation en général.
- Un **quatrième chapitre** est réservé pour la déshydratation du GPL.

Et pour compléter ce travail, une conclusion générale.[1]

# **Chapitre I**

## **Présentation de complexe**

**GP1Z**

### I-1- Introduction [1]

Le complexe de Production GPL dénommé GP1Z ou " JUMBO GPL " de l'Entreprise nationale SONATRACH est le dernier 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.

Le " JUMBO GPL " s'étend sur une surface de 120 hectares sur la bande terre comprise entre la route national 11 et le bord de la mer méditerranée.

Le Complexe a été construit dans le cadre d'un contrat clé en main avec le concours d'un consortium Japonais IHI- CITON, a été réceptionné le 02 Septembr1984.

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 10,8 millions de Tonne par an. par sa situation géographique proche du marché et par ses capacités de production, le GP1Z fait occuper une place de choix à la SONATRACH dans le marché International des GPL.

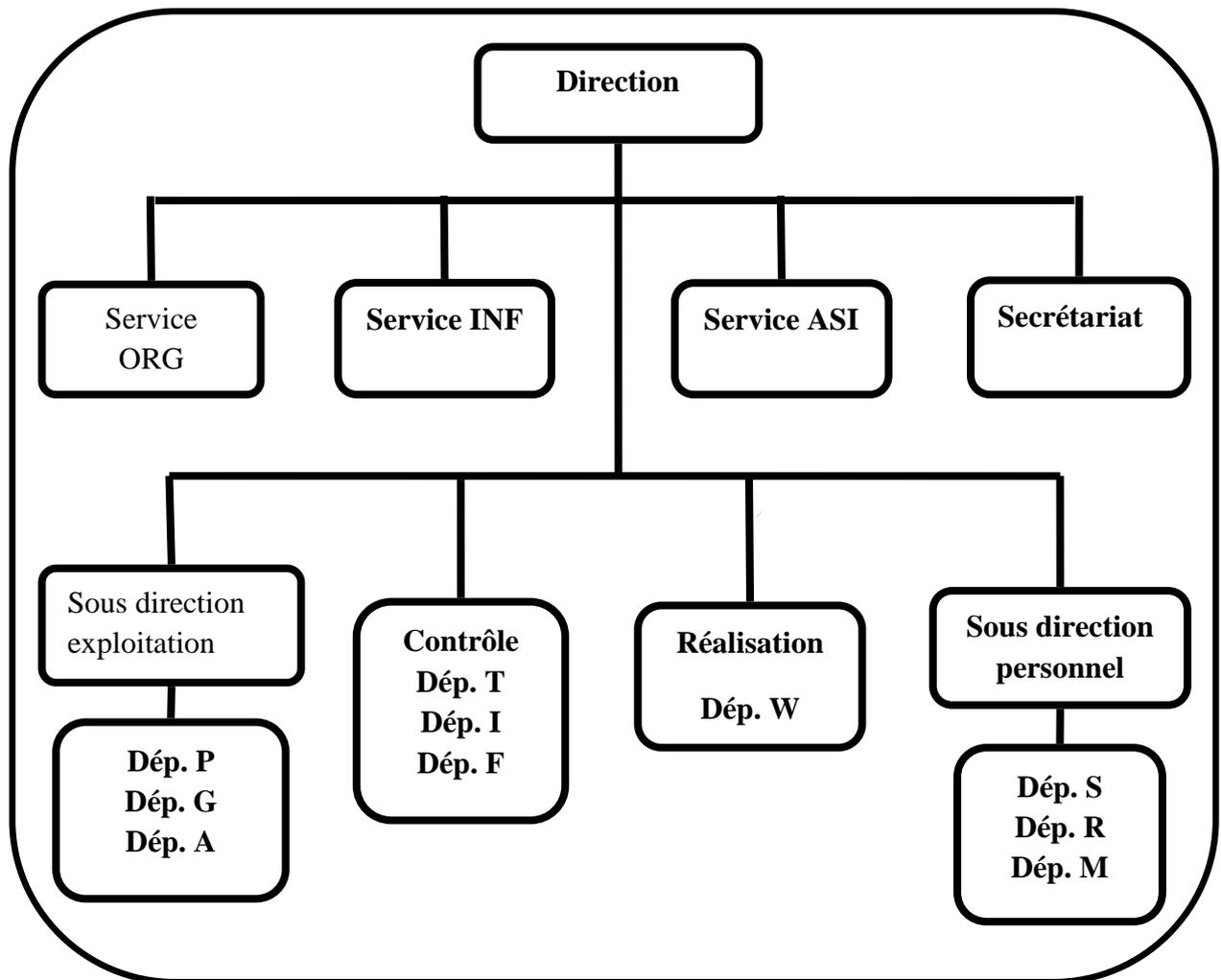


**Figure I-1** : Complexe GP1/Z

**I-2-Organisation du complexe [1]**

La description des structures nous permet de connaître la situation géographique, l'effectif, les objectifs et le rôle de chaque département ainsi de connaître tout le fonctionnement du complexe GP1Z.

Le complexe GP1/Z est géré suivant un organigramme bien déterminé de façon a bien maîtrisé les taches, il est composé d'une direction général et deux sous direction et des départements de contrôle, comme le montre l'organigramme suivant :



**Figure I-2 :** Organisation du complexe GP1/Z

**Tableau I-1:** Les symboles d'Organisation du complexe GP1/Z

<b>P</b>	Production	<b>S</b>	Administration
<b>G</b>	Maintenance	<b>R</b>	Ressource humaine
<b>A</b>	Approvisionnement	<b>M</b>	Moyens généraux
<b>W</b>	Travaux neuf	<b>T</b>	Technique
<b>ORG</b>	Organisation	<b>I</b>	Sécurité
<b>ASI</b>	Assistance Sûreté interne	<b>F</b>	Finance
<b>INF</b>	Service information		

**I-3Fiche technique du complexe [1]**

Le complexe GP1Z étant connu et ayant fait l'objet de beaucoup d'études, nous nous limiterons à donner une fiche technique le concernant.

Localisation : Le complexe GP1Z est situé à Mers El-Hadjadj à 40 Km à l'Est d'Oran.

Superficie : Le complexe GP1Z s'étend sur une superficie de 120 hectares.

Objet : Séparation du GPL en propane et butane.

Procédé utilisé : Distillation sous pression.

Nombre de trains (9 trains) : (Phase I : 4), (Phase II : 2) et (phase III : 3).

Constructeur : Consortium japonais IHI-ITOCHU.

**I-4-Date de mise en production [1]**

La mise en production du 1<sup>er</sup> train (phase I) : 12 Décembre 1983.

La mise en production du 1<sup>ème</sup> train (phase II) : 24 Février 1998.

La mise en production du 1<sup>ème</sup> train (phase III) : Février 2010.

Capacité de production : 10 Millions de tonnes par an.

Destination de la production : Exportation et marché national.

Source d'Approvisionnement : GPL en provenance des champs gaziers et pétroliers de Hassi R'Mel et Hassi Messaoud. 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 .

**I-5- Alimentation de l'usine:[1]**

L'usine reçoit son alimentation de GPL des sources suivantes : Hassi Messaoud, Hassi R'mel, Adrar, In amenas, ..... etc



**Figure I-3:** Lignes d'alimentation

**I.6.Les utilités:[1]**

Elle alimente les divers zones de production en :

- Fuel (gaz naturel) : utilisé comme combustible.
- Air : elle est divisée en deux :
- Air instrument : C'est de l'air séché après enlèvement de l'humidité, cet air aide pour ouvrir les vannes et la manipulation des boucles de régulation (vanne pneumatique).
- Air service : C'est du l'air qui sert pour le nettoyage et l'entretien.
- Vapeur : On utilise le dessaleur pour avoir l'eau distillée et à partir de la chaudière on produit de la vapeur.
- Eau :
  - L'eau distillée ;
  - L'eau de refroidissement ;
  - L'eau potable.

- Méthanol : Il est utilisé pour le dégivrage.
- Gasoil : Il est utilisé pour les générateurs de secours.
- Azote : Ballon d'azote, il y'a deux circuits
  - Circuit Gazeuse (HELIOS) ;
  - Circuit l'azote liquide (COGIZ) : On le transforme en vapeur pour l'inertage des équipements.
    - ✓ Un générateur électrique de secours d'une capacité de 25.617 KW.
    - ✓ Un système de sécurité vide-vite (Blow-down).
- Les torches : deux hautes pressions et une basse pression sert à brûler la quantité de gaz provoquée par un dysfonctionnement des trains.

### **I-7- Les installations du complexe GP 1Z :[1]**

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.

#### **I-7-1- Les installations de stockage d'alimentation :[1]**

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.

Il existe deux types de stockage :

#### **\*Stockage à température ambiante:[1]**

Prévu pour la commercialisation du gaz à l'échelle nationale ; le chargement camions se fait à partir des 4 sphères ayant une capacité de 500 m<sup>3</sup> chacune dans lesquelles sont stockés le propane et le butane sous pression.



**Figure I-4:** Sphères de stockage

**\*Stockage à basses températures:[1]**

Les gaz réfrigérés sont véhiculés aux bacs où ils seront stockés dans les conditions de basse température sachant que la capacité de chacun est **70.000 m<sup>3</sup>** et sont munis de pompes immergées pour la circulation du gaz et le chargement navires.

- **BOG (Boille- Off- Gas) :** S'occupe de la gestion des bacs (produits finis).

**I-7-2- Les installations de production :[1]**

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

**A. Section de déshydratation :[1]**

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.

**B. Section de séparation de GPL: [1]**

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

$$Tr = \frac{C_3 \text{ et } C_4 \text{ produit (commercialisé)}}{C_3 \text{ et } C_4 \text{ contenant dans la charge.}}$$

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

**B-a). Le Fractionnateur :[1]**

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>

**B-b). Le déethaniseur :[1]**

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> .

**B-c). Le dépentaniseur : [1], [3]**

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.

**C. Section de Réfrigération : [1]**

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.

**D. Section d'Huile Chaude : [1]**

La section du fluide caloporteur est utilisée comme source de chaleur pour les rebouilleurs et le pré chauffeur final du fractionnateur. 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-7-3- les installations de Stockage des Produits Finis : [1]**

Elles comprennent Deux Sections :

**A- Section de Stockage des Produits : [1]**

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

- quatre pour le propane à  $T = 42$  °C.
- quatre pour le butane à  $T = 7$  °C.
- la capacité de chaque bac est de 70000 m<sup>3</sup>.

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  $500 \text{ m}^3$

#### **B- Section de Récupération des Gaz Evaporés (Boille of Gas) :[1]**

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-7-4- Les installations de chargements :[1]**

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.

#### **A-Section de Chargement de Bateaux à Basse Températures :[1]**

Deux systèmes de chargements sont respectivement installés au bout des jetées D<sub>1</sub> et M<sub>6</sub>, le débit de chargement est le suivant :

-Propane .....	max.10.000m <sup>3</sup> /hr.
-Poste D <sub>1</sub> .....	4.000 m <sup>3</sup> /hr.
-Poste M <sub>6</sub> .....	10.000 m <sup>3</sup> /hr.
-Butane .....	max.10 000 m <sup>3</sup>

#### **B- Section de Chargement de Camions à Température Ambiante :[5]**

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.



**Chapitre II**  
**Généralités sur les GPL**

**II- 1-Historique [2]**

La découverte du GPL (gaz de pétrole liquéfié) ou LPG (liquefied petroleum gases) est beaucoup plus récente que celle du pétrole. En effet elle remonte au 24décembre 1910 en Virginie (USA), lorsque l'ingénieur de la Riverside Oil Company, H.STUKEMAN, réussit pour la première fois à obtenir les 658 premiers litres de GPL liquide.

La première utilisation fut l'oxycoupage en 1911 ou il s'avéra que le GPL constituait un excellent substitut à l'acétylène. Dès 1912, une installation domestique fut expérimentée. Dans la même année la carburation automobile aux GPL fit ses premiers pas.

**II-2- Définition du GPL :[3]**

Le GPL (gaz du pétrole liquéfié) est un mélange gazeux constitué essentiellement de propane ( $C_3H_8$ ), et de butane ( $C_4H_{10}$ ), et un peu de traces de méthane ( $CH_4$ ), de l'éthane ( $C_2H_6$ ) et le pentane ( $C_5 H_{12}$ ).

Le GPL est un produit gazeux à la température ambiante et pression atmosphérique.

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

La composition molaire du GPL est variable selon leur source.

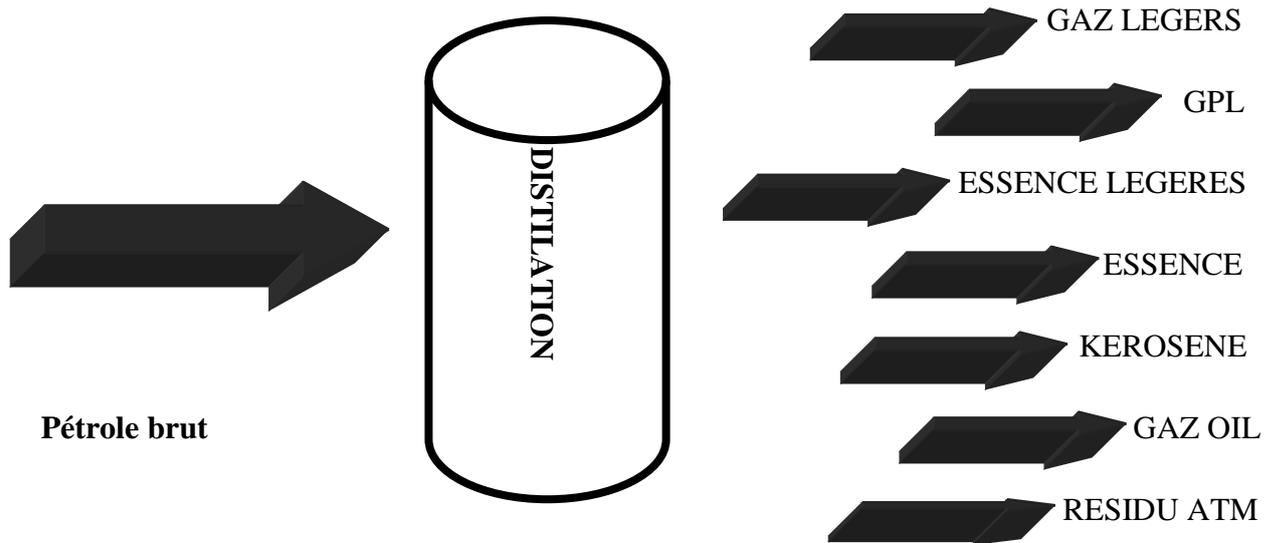
**Tableau II-1 : les composants du GPL**

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

**II-3-L'origine des GPL :[4]**

Les gaz de pétrole liquéfiés sont obtenus principalement :

- Dans les raffineries de pétrole, en cours de la distillation du pétrole brut.
- Au cours des opérations de dégazolinage du gaz naturel sur les champs de production, pour obtenir les produits condensables ( butane et propane ).
- Une grande partie des GPL proviennent des champs pétroliers.



**Figure II-1** : Récupération des GPL à partir du pétrole Brut

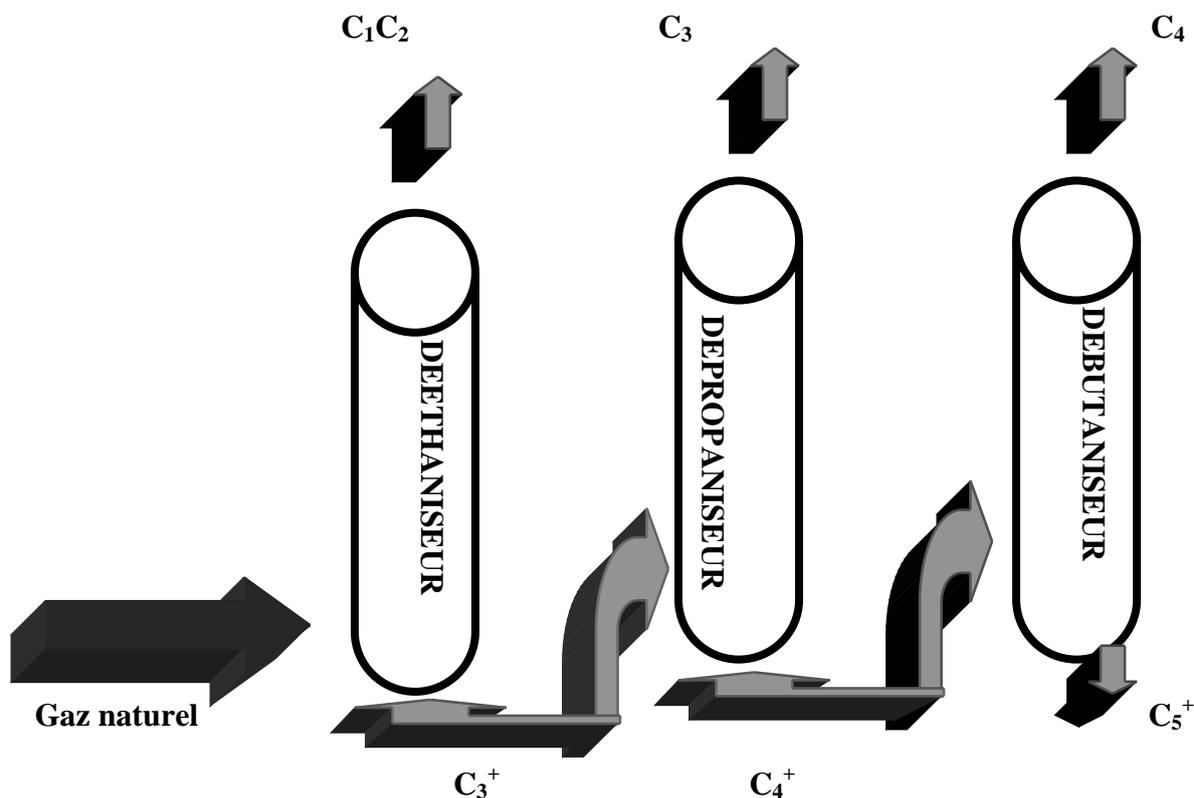


Figure II-2 : Récupération du GPL à partir des champs de G.N

#### II-4- Caractéristiques générales des GPL :[5]

Les caractéristiques des GPL sont :

- **Odeur :**

Les GPL sont inodores à l'état naturel, mais on doit ajouter un odorant pour des raisons de sécurité, dans des limiers à des fins de commercialisation.

- **Tension de vapeur :**

Les GPL ont une tension de vapeur à  $10^\circ\text{C}$  égale à 4.686 bars et à  $60^\circ\text{C}$  égale à 18.12 bars.

- **Dilatation :**

A l'état liquide, ils ont un haut coefficient de dilatation donc il faut tenir compte lors de leur stockage (les sphères ne doivent jamais être complètement remplies).

- **Densité :**

Aux conditions normales de température et de pression, les GPL sont plus lourds que l'air, la densité du propane commercial est une fois et demie plus lourde ; et le butane commercial en phase vapeur dans l'eau peut former un mélange inflammable, c'est pour cela qu'il n'est pas toléré de négliger la moindre consigne de sécurité dans l'industrie du gaz.

- **Impuretés:**

Les plus importantes sont le soufre dans le GPL, leur teneur en soufre est inférieure ou égale à 0.005% en masse et pour le propane l'eau constitue la plus importante impureté.

Il est intéressant de citer que les GPL sont :

- Non corrosif à l'acier et généralement au cuivre, alliage de cuivre ou aluminium.
- Ils n'ont aucune propriété de lubrification et cet effet doit être pris en considération lors de conception des équipements des GPL pompes et compresseurs.
- Les GPL sont incolores, que soit phase liquide ou vapeur.

- **Température d'ébullition :** à la pression atmosphérique la température d'ébullition de propane est de  $-42^{\circ}\text{C}$ , celle de butane est de  $-10^{\circ}\text{C}$ .

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

Iso-butane : PC = **29460** (kcal/kg).

Normal butane : PC = **29622** (kcal/kg).

Propane : PC = **22506** (kcal/ kg).

## II-5- Propriétés physiques et spécification des GPL:[6]

### a) Propriétés physiques des GPL :

Les GPL sont constitués principalement de propane et de butane en proportions variables selon leur origine (le gaz naturel, le gaz associés) et le gisement.

**Tableau II-2 : Propriétés physiques des GPL.**

	Masse Molaire ( kg/kmol)	Densité standard	Température D'ébullition ( $^{\circ}\text{K}$ )	Viscosité Liquide 100 $^{\circ}\text{F}$ 1mm $^2$ /s	Viscosité Liquide à 210 $^{\circ}\text{F}$ 1mm $^2$ /s	Température Critique ( $^{\circ}\text{k}$ )	Pression Critique (bar)
Propane	44.097	0.5070	231.07	0.1858	0.1620	369.85	42.48
I-Butane	58.123	0.5629	261.36	0.2586	0.1675	407.85	36.41
n-Butane	58.123	0.5840	212.64	0.2773	0.1873	425.16	37.97

### b) Spécification des GPL :

Les GPL produits au niveau des différents champs doivent répondre aux spécifications suivantes:

- Teneur en C2 : inférieur ou égale à 3 % mol;
- Teneur en C5 : inférieur ou égale à 0.4 % mol.

**II-6-Les différentes utilisations du GPL :[7],[8],[9]****\*GPL carburant :**

Si les projecteurs de l'actualité se braquent aujourd'hui sur le GPL/C, il n'en pas moins une déjà une longue histoire.

Dés 1912, aux USA le GPL / C alimentait les voitures, mais cette innovation est restée sans lendemain, car il n'était utilisé que comme carburant de substitution en cas de crises. Il fallut attendre les années 80 pour que la fiscalité devienne favorable dans certains pays et permette le développement des voitures équipées de la bicarburant.

Le GPL/C est largement prouvé ses qualités à être un carburant alternatif avantageux tant au plan économique qu'un plan écologique .Actuellement de nombreux pays possédant une flotte de véhicules roulant au GPL/C, ce sont principalement[8],[ 9] :

Les Pays-Bas, le Japon, l'Italie, l'Allemagne, la Grande-Bretagne, la France, les USA, l'Espagne, la CIE, le Canada.

Le GPL / C est adopté sous le nom commercial « **SIRGHAZ** » .

L'indice d'octane élevé du GPL / C permet leur substitution à l'essence sans modification du moteur.

Le niveau alarmant de pollution devrait au contraire favoriser l'utilisation des véhicules GPL/C, car il produit moins de **CO<sub>2</sub>** et de **CO**, il ne contient pas de Plomb.

L'introduction massive du GPL/C en Algérie est aujourd'hui une option stratégique, d'une part en raison de l'accroissement de la demande nationale en carburant et d'autre part pour des raisons environnementales cruciales .il a été introduit en Algérie en **1980**. [7]

La demande mondiale en GPL/C atteint **9,6MT** en **1994**, **12,3MT** en **2000**, le scénario fort table sur **20MT** en **2010**.

**Tableau II-3:** le potentiel de pénétration du GPL/C dans les pays utilisateurs

Pays	Taxis	Véhicules légers	Flottes de véhicules légers	Bus poids lourds	Camions poids lourds
Italie	+	+++			
Pays-Bas	+	+++		+	
Russe		+	+		+++
Japon	+++	+			
Corée du Sud	+++		+		
Thaïlande	++	+			
Australie	++	++	+		
Mexique	+	+	+		
USA			+++		
Canada	+		+++		

La consommation sur le continent africain est très faible et environ **1%**.

**\*Le GPL dans la pétrochimie :**

La demande pétrochimique globale du GPL enregistre un taux de croissance de l'ordre de **10 %**. Il est utilisé dans ce domaine comme charge de vapocraqueur à fin d'obtenir des oléfines.

Le butane et le propane qui ont obtenu par la séparation du GPL utilisés pour la déshydrogénation dans la production de butadiène et le propylène qui vont servir comme matière première pour la synthèse des caoutchoucs.

Le butane utilisé dans la fabrication MTBE qui sert comme booster d'octane des essences en substitution au plomb, il ainsi utilisé comme charge des unités d'alcoylation Le propane et le butane sont utilisés pour la production d'acétaldehyde, formaldéhyde, l'acide acétique et l'acétone.

En Algérie cette activité présente le double avantage de permettre la production des produits nécessaires à la consommation interne ainsi que pour l'exportation.

**\*Le GPL dans la production d'électricité :**

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

La production d'électricité en Algérie est s'effectué uniquement par le gaz naturel, le GPL n'ont pas introduit jusqu'à ici dans la génération d'électricité ou dans la combustion.

**\*Le GPL combustible :**

Le butane et le propane qui sont obtenu par la séparation du GPL ont une grande importance dans les ménages ;

Le butane est utilisé principalement dans le secteur domestique pour la cuisine et le chauffage, la consommation nationale représentée l'équivalent de **11 millions** de bouteilles de **13kg** en **1996**.

Le propane représenté **4,8%** de la consommation national du GPL, il est utilisé comme combustible dans les unités industrielles et artisanales en substitution domestique dans les régions non reliées au gaz naturel.

**\*Le GPL dans la climatisation :**

Il est utilisé pour la construction des réfrigérateurs et des climatiseurs (moyenne capacité) gras à sa détente d'absorption de la chaleur et de créer le froid.

**\*Le GPL dans L'agriculture :**

L'utilisation du GPL dans ce secteur sera orientée vers l'aviculture, et certain culture sous-serre, le niveau de consommation prévu est relativement faible (**40.000 tonnes/an**) pour le court terme, il est attendu une évolution plus significative à moyen et long terme particulièrement par l'introduction dans le domaine de l'élevage (éclairage, climatisation, chauffage....etc.).

**II-7- Le stockage du GPL :[10]**

Les GPL sont stockés sous pression des réservoirs sphériques.

Lors de leur stockage, des vapeurs de GPL se dégagent par ébullition sous l'effet de :

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

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

Ces vapeurs sont comprimées de 5.3 bars à 19.0 bars, 115 °C par un compresseur alternatif puis condensées à 54 °C dans un aéroréfrigérant et enfin détendues à 5 bars. Ceci permet le refroidissement de la sphère et par conséquent la réduction de sa pression.

Il est à noter que certaines unités utilisent d'autres techniques de stockage à savoir :

- Stockage dans des sphères protégées par des pare-soleil des pressions variables entre 12.5 et 14.5 bars.
- Stockage sous pression de fuel gaz dans des cigares.

#### **II-8- Risques des GPL :[11]**

- Les GPL sont fréquemment stockés à l'état liquide sous pression, la fuite du liquide peut, par évaporation rapide, donner un grand volume de gaz inflammable.
- La limite inférieure d'inflammabilité du gaz est approximativement à 2 % du volume du gaz dans l'air .Une petite portion de gaz dans l'air peut donner un mélange inflammable qui peut être allumé par un élément chaud ou une étincelle à une distance d'un point de fuite.
- Les GPL liquides par évaporation rapide et diminution (chute) de température de l'entourage, peuvent causer des brûlures sévères. des vêtements de protection doivent être portés (des gants, des lunettes).

#### **II-9- Avantages écologiques du GPL en tant que carburant :[12]**

La promotion du GPL dans le secteur du transport est surtout liée aux préoccupations Environnementales ; en effet ce produit présente des caractéristiques non polluantes par Rapport aux autres carburants.

Le GPL présente les avantages suivants :

- Il est très peu polluant : absence de plomb tétra-éthyle, soufre ou de monoxyde de Carbone.
- Absence d'additifs
- Indice d'octane élevé, supérieur à celui de l'essence.
- Durée de vie du moteur du véhicule plus longue.
- Moins cher que l'essence.

**II-10- Les GPL dans le monde et en Algérie :****II-10-1- Consommation mondiale en GPL :[12]**

Actuellement, les GPL représentent 3% de la consommation énergétique mondiale. La demande mondiale en GPL a augmenté à un rythme bien supérieur à celui de la demande énergétique totale en atteignant 170 MT en 2000. Cette demande est dominée par le secteur résidentiel dans le marché asiatique et par le secteur du raffinage (18 %) et de la pétrochimie (43 %) aux Etats-Unis. La demande en Europe est équilibrée entre ces trois secteurs. Le secteur résidentiel et commercial constitue la plus grande part du marché des principaux consommateurs, soit 42 % de la demande totale en 1995. En raison de la pénétration du gaz naturel, ce secteur se stabilise dans les pays occidentaux : Amérique, Europe de l'Ouest.

Les secteurs des transports et de la pétrochimie sont appelés à se développer dans le futur. Dans le secteur pétrochimique, l'Amérique du Nord et l'Europe de l'Ouest dominent la consommation mondiale de GPL (78% en 1995). Au Moyen Orient et en Europe de l'Est, une des fortes perspectives de développement de ce secteur avec des taux de croissance de 23 % et 18% en 1985 et 2000 respectivement. Pour le secteur des transports, la consommation du GPL reste relativement modeste comparativement aux autres secteurs (6% en moyenne).

**Tableau II-4 : La production et la consommation mondiale du GPL(MT)**

<b>Pays</b>	<b>Production (10<sup>6</sup> t)</b>	<b>Consommation (10<sup>6</sup> t)</b>
Amérique du Nord	64,6	66,6
Amérique du Sud	13,7	15,4
Europe	24,4	27,9
Russe	5,8	4,7
Moyen-Orient	34,1	9,4
Afrique	9,2	5,4
Asie	24,7	46,2
Océanie	3,2	2,2
Total	179,7	177,8

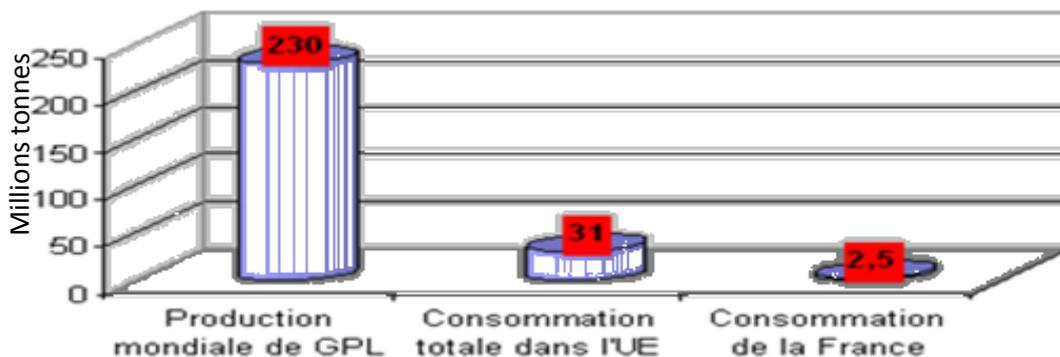


Figure II-3 : Chiffres clés du GPL en 2007 (en millions de tonnes) [13].

**II-10-2- Situation de GPL en Algérie :**

**II-10-2-1- Industrie de GPL en Algérie :[7-14]**

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

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

Quelques chiffres peuvent illustrer cette dynamique. La production est passée de 5.5 Millions de tonnes en 1996 à plus de 7.3 millions de tonnes en 1998. Un pic de 12.5 million de tonnes sera atteint en 2006 lorsque les projets développés auront été mis en service.

**II-10-2-2- Consommation nationale en GPL :[7]**

La consommation nationale en GPL a connu un rythme très élevé à partir de 1970. La figure II-4 montre le profil de consommation de GPL du marché nati

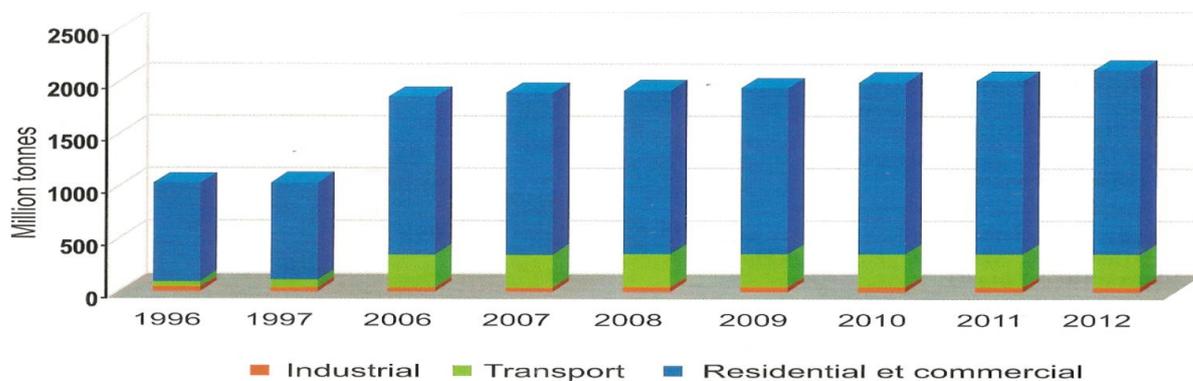
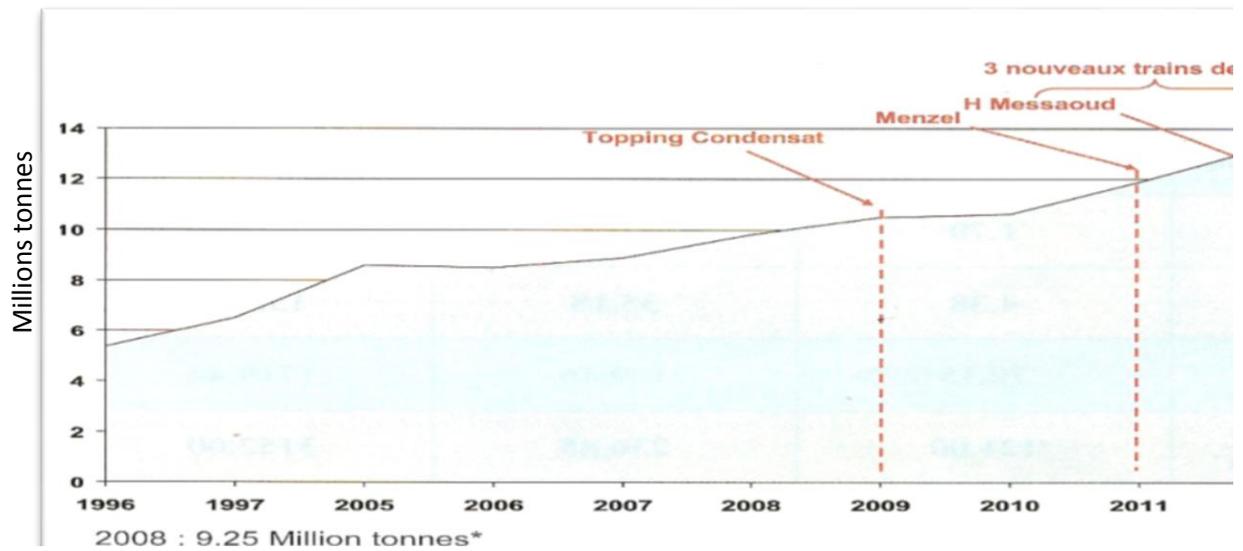


Figure II-4 : Profil de la consommation nationale en GPL [13]

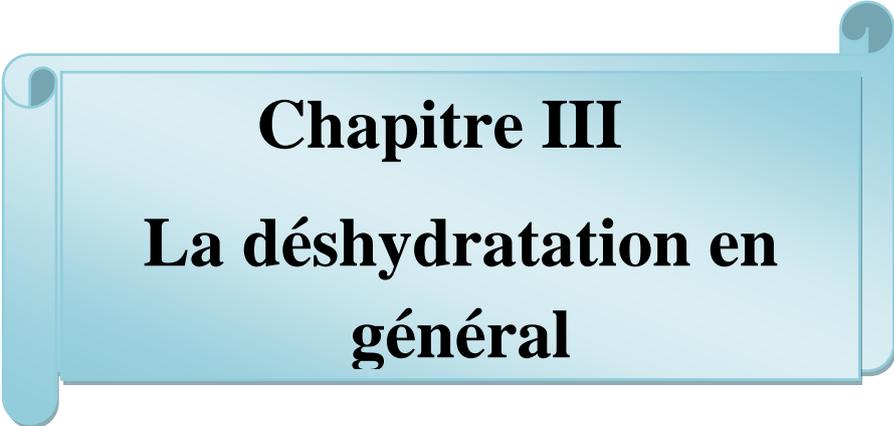
**II-10-2-3- Evaluation de la production Demande nationale de GPL du GPL :[15]**

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

La figure II-5 montre l’évolution de la production algérienne de GPL de 1996 à 2012 en millions de tonnes (MT).



**Figure II-5 :** Production Algérienne de GPL (historique et prévisions).



**Chapitre III**  
**La déshydratation en**  
**général**

**III-1-Introduction :[16]**

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

Pour éviter ces phénomènes, il est nécessaire de réduire la teneur en eau du gaz naturel au moyen de techniques de traitement appropriées.

La déshydratation du GPL est réalisée par différents types de procédés : absorption, adsorption etc. Nous verrons dans ce qui suit la déshydratation par adsorption.

Les caractéristiques du GPL à l'entrée, elle est de 36 heures, à l'échéance de ce temps, la colonne en réserve est mise en service, et la colonne qui était en service passe en régénération.

L'écoulement à travers la colonne, pendant l'adsorption, se fait du bas vers le haut. Le fonctionnement de la section de déshydratation de l'alimentation est en continu, automatique et en séquence sous la commande d'un programmateur ; le contrôleur matriciel du cycle.

**III-2-Le but de la déshydratation :[17]**

- Eliminer la vapeur d'eau du gaz
- Pour éviter la corrosion des équipements surtout si le gaz de séparation contient du  $\text{CO}_2$  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.
- Diminuer les pertes de charges dans les pipelines et 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 sècheurs à tamis moléculaires en amont. Des turbo épandeurs.
- Pour éviter les problèmes de corrosion des réseaux de gaz lift ou gaz injection.

**III-3- Description générale :[16]**

L'unité de déshydratation a été conçue pour sécher le produit de GPL à une teneur d'eau de 1 ppm.

Elle est composée par des équipements suivants :

- Un coalesceur.
- Trois sècheurs.
- Un refroidisseur de gaz de régénération.
- Un séparateur.
- Deux filtres.

Le produit GPL pompé par les pompes de charge est acheminé sous contrôle de débit FIC 6291 vers le coalesceur où la plus grande quantité d'eau libre est enlevée de la charge GPL par fusionnement des gouttelettes d'eau en suspension à travers les éléments filtrants et sont séparés par gravité.

L'eau est admise dans le ballon de décantation incorporé en bas du coalesceur et elle est drainée à l'atmosphère sous contrôle de niveau via le ballon de purge qui sert à évacuer le gaz entraîné.

Le lit de tamis moléculaire est utilisé pour le séchage et la purification du produit GPL en provenance du coalesceur. Il travaille par attraction sur certaines molécules et rejette les molécules larges. Les molécules d'eau étant polaire sont fortement attirées vers le tamis moléculaire, par contre les molécules non polaires traversent librement le sécheur. Lors du passage de la charge GPL à travers le lit de tamis moléculaire, l'eau est absorbée et enlevée par la chaleur durant le cycle de régénération.

Lorsque le tamis moléculaire est saturé d'eau, il est permuté pour être régénéré. Il est drainé du liquide GPL vers les sphères GPL et dépressurisé vers la torche jusqu'à la pression de gaz de régénération. Après, le fuel gaz est chauffé dans le réchauffeur par le gaz d'échappement des turbines et passe ensuite à travers le sécheur à contre courant du produit GPL. L'eau adsorbée par les désiccants est vaporisée par le gaz chaud. La vapeur d'eau entraînée par le fuel gaz est condensée dans le refroidissement à air et séparée dans le séparateur de gaz de régénération. L'eau est drainée à l'atmosphère sous contrôle de niveau en passant le ballon de purge et le gaz acheminé vers le réseau de fuel gaz de régénération.

L'eau est drainée à l'atmosphère sous contrôle de niveau en passant le ballon de purge et le gaz est acheminé vers le réseau de fuel gaz sous contrôle de débit FIC 701.

Lorsque le cycle de refroidissement est achevé, le lit est rempli du liquide GPL et repressurisé. Ensuite il sera en attente jusqu'à sa remise en adsorption pour un nouveau cycle.

#### **III-4-Données de base :[17]**

- L'unité est conçue pour déshydrater 1.2 MT/An de GPL.
- L'eau dissoute dans le GPL d'alimentation est de 100 ppm (Poids) et sera réduite à moins de 1 ppm.
- Un tamis moléculaire est utilisé comme solide déshydratant sécheur.
- L'unité fonctionne en continu, sous un contrôleur automatique et séquentiel
- Le temps d'adsorption est de 36 heures.
- Les deux adsorbants (un en service l'autre en régénération) fonctionnent à 100 % de leur capacité.

L'eau est adsorbée par les tamis moléculaire et vaporisée par le gaz chaud. La vapeur d'eau entraînée par le fuel gaz est condensée dans le refroidisseur 405/6229 et séparée dans le ballon séparateur 410/6214. Cette eau est drainée à l'atmosphère sous contrôle de niveau et le gaz est acheminé vers le réseau de fuel gaz.

Après la séquence de régénération, l'adsorbent est refroidi par la circulation de gaz froid en passant le réchauffeur 405/6203, lorsque le cycle de refroidissement est achevé, l'adsorbent est rempli de GPL et repressurisé. Ensuite il sera en attente jusqu'à sa remise en adsorption pour un nouveau cycle.

### **III-5- Les modes de déshydratation du GPL : [18]**

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

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

#### **III-5-1- Inhibition par injection d'inhibiteur de formation d'hydrates :**

##### **a) Injection de glycol :**

La formation des hydrates pendant le refroidissement peut être inhibée par :

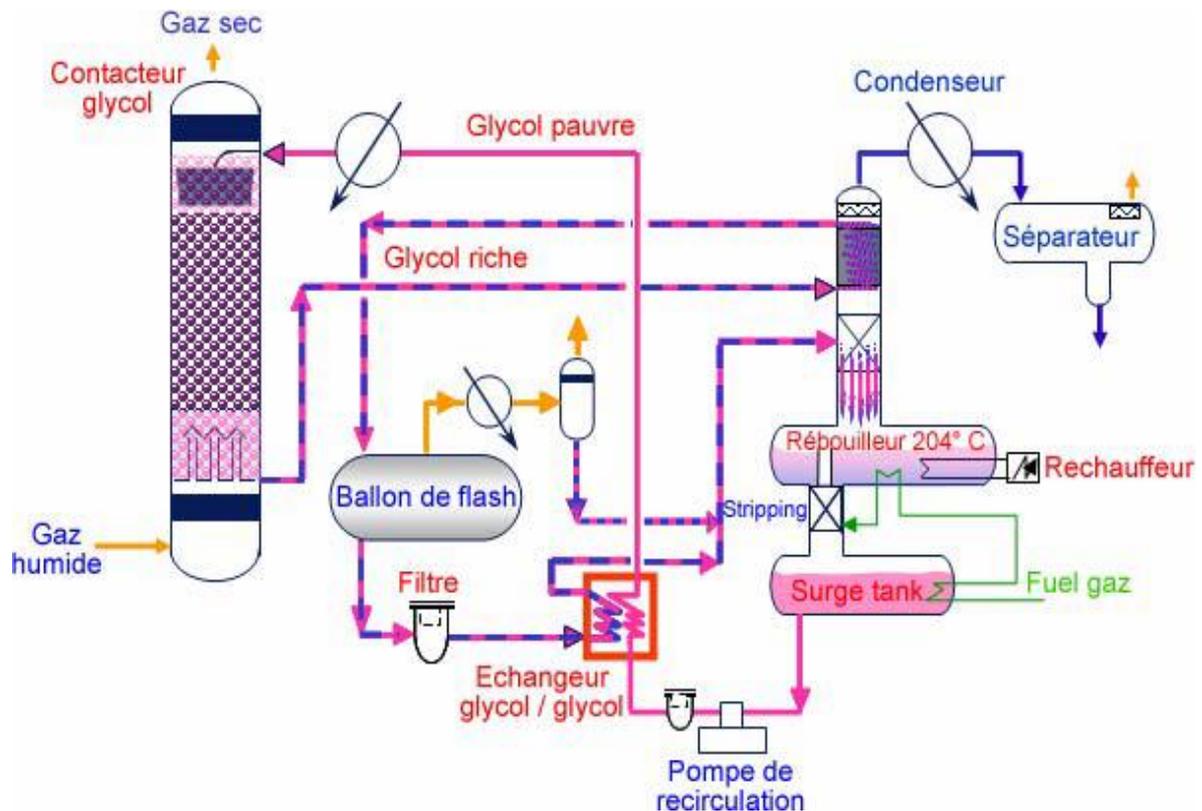
Injection de glycol liquide, l'éthylène glycol, le di éthylène glycol ; ce dernier est le plus utilisé à cause de son faible coût et du fait qu'il est le moins soluble dans les hydrocarbures liquides.

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

##### **b) Injection de méthanol :**

Le méthanol est souvent injecté dans un courant gazeux pour empêcher la formation d'hydrates.

Mais des injections intermittentes de méthanol sont fréquemment utilisées lorsqu'il existe une légère formation d'hydrates.



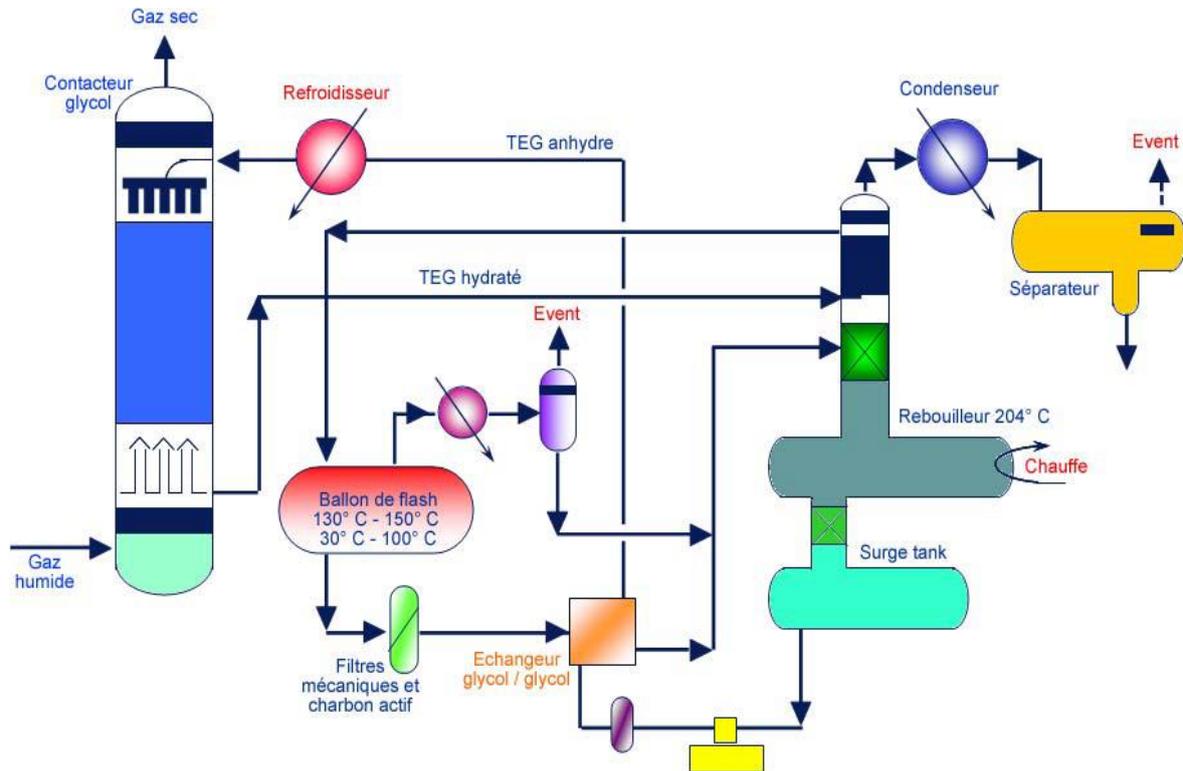
**Figure III-1:** La déshydratation par injection de glycol

### III-5-2-Déshydratation par absorption dans un liquide :

Pour pouvoir être utilisé pour la déshydratation ; un liquide absorbant doit avoir de nombreuses caractéristiques telles que :

- Affinité élevée pour l'eau.
- Non corrosif et non coûteux.
- Stabilité de sa régénération.
- Faible pression de vapeur à la température de contact.
- déshydratation Faible tendance à former une mousse et une faible viscosité

En effet deux composés organiques répondent d'une manière satisfaisante à toute ces exigences : Le di-éthylène glycol (DEG) et le tri-éthylène glycol (TEG).



**Figure III-2:** La Déshydratation par absorption au T.E.G.

### III-5-3-Déshydratation par Adsorption :[19],[20]

L'adsorption est un phénomène de surface qui correspond à la fixation des molécules d'un fluide à la surface d'un solide. Lorsque les molécules gazeuses sont en contact avec une surface solide, la vapeur d'eau dissoute dans le gaz est d'abord condensée dans les pores puis maintenue à la surface des pores par des forces qui dépendent des réactions ou des interactions physiques, D'une façon générale on admet deux types d'adsorption :

**a) L'adsorption physique :** utilisée pour le traitement de gaz, caractériser par :

- Mise en jeux des forces résiduelles de Van Der Waals ;
- Elle est exothermique (dégagement de chaleur).

**b) L'adsorption chimique :** utiliser dans le domaine catalytique, caractériser par :[20]

- Mise en jeux des forces d'attraction dues aux liaisons chimiques ioniques ;
- Elle est sélective mais la désorption nécessite une température élevée

### III-6-Avantages et inconvénients de la déshydratation par adsorption :[12]

Par rapport aux autres procédés de déshydratation, les unités de déshydratation par adsorption présentent les avantages suivants :

- aptitude à fournir des points de rosée très bas.
- insensibilité du dessiccant aux variations modérées de température, de débit ou de pression du gaz.
- simplicité de fonctionnement et de conception des unités.

- non corrosif et non toxique.
- pertes de charge modérées

Le procédé présente les inconvénients suivants :

- coût initial important.
- besoins calorifiques pour la régénération relativement importants.
- pertes de performances et d'efficacité avec le temps d'où nécessité de procéder à des changements.

### III-7 La déshydratation du gaz naturel :

#### III-7-1-Le but de la déshydratation :[21]

- pour éviter les Risques de corrosion des pipes (surtout en présence de gaz acide)
- pour éviter les Risques de formation des hydrates
- pour éviter l'écoulement bi-phasique et augmentation de la perte de charge.
- pour éviter les Risques de solidification dans les procédés cryogéniques.
- pour éviter la Diminution du pouvoir calorifique du gaz.

#### III-7-2- Les modes de déshydratation du gaz naturel :

##### III-7-2-1- la déshydratation par refroidissement :[22]

C'est une Méthode utilisée pour contrôler simultanément les points de rosée eau et hydrocarbures du gaz naturel. Méthode également préconisée à l'amont d'un autre procédé de déshydratation.

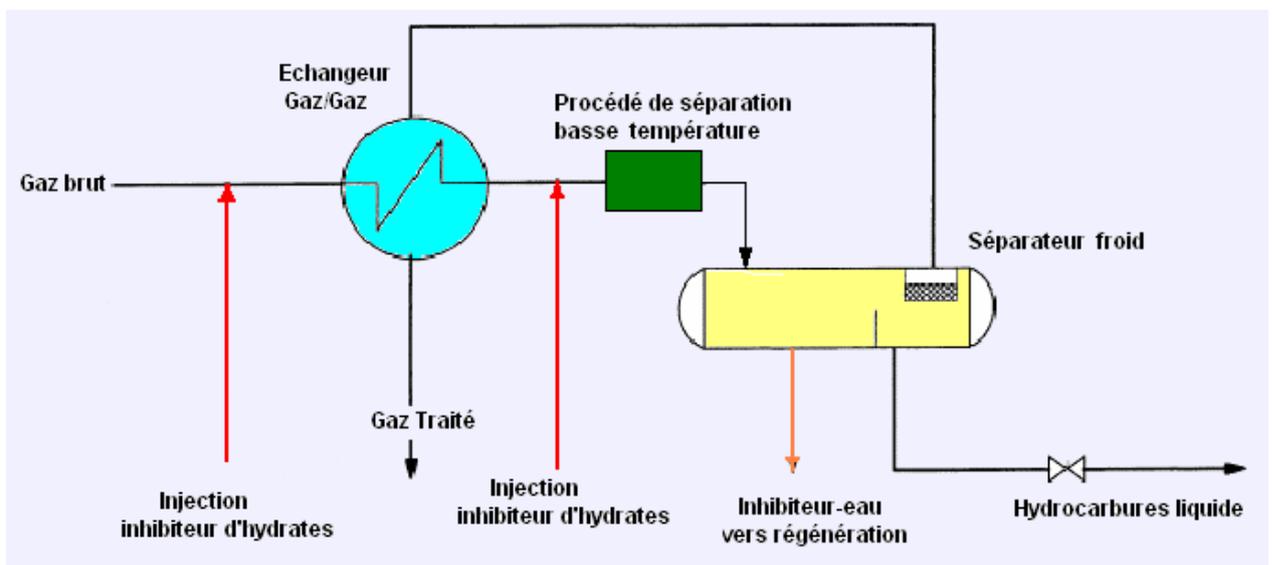


Figure III-3 : la déshydratation par refroidissement

##### III-7-2-2- la déshydratation par absorption avec un solvant physique :[23]

L'utilisation de solvants physiques ( sans réactions chimiques) est une technique largement utilisée dans l'industrie pour déshydrater le gaz. De nombreux solvants peuvent être utilisés pour cet objectif, néanmoins, les glycols ont donné le plus de satisfaction. Les solvants doivent répondre à certains critères.

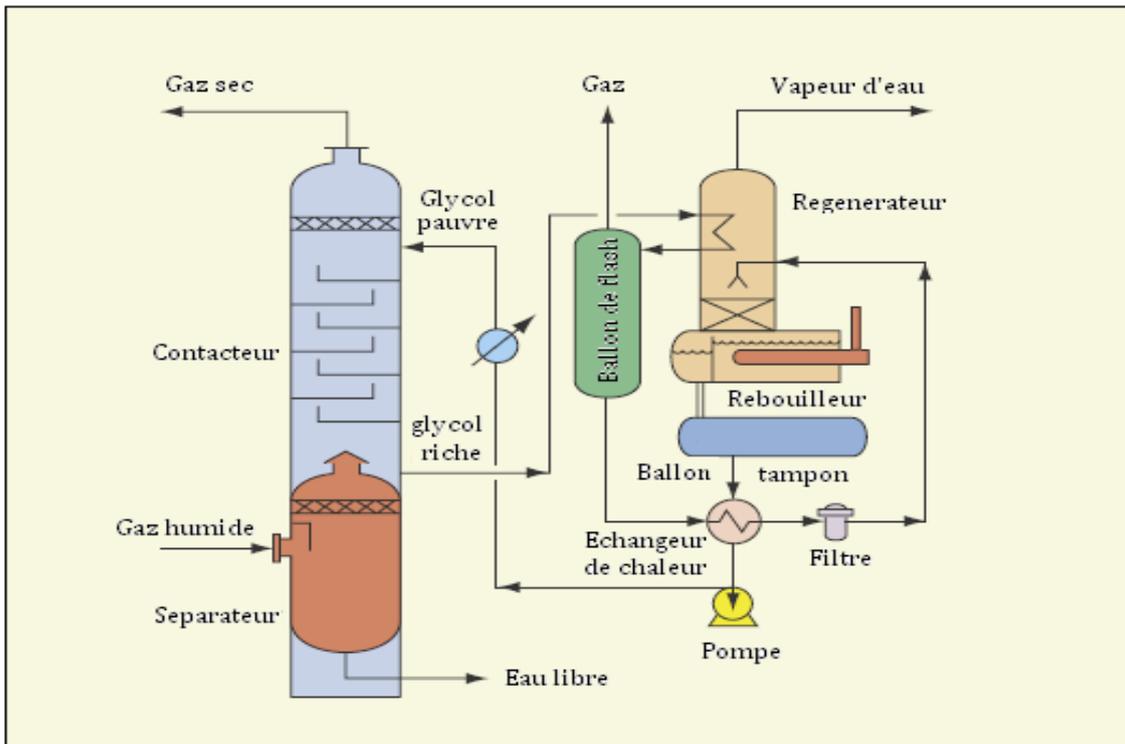


Figure III-4 : Procédé de Déshydratation par glycol

III-7-2-3- la déshydratation par adsorption :[24]

L'adsorption est une technique très utilisée dans les procédés cryogéniques pour déshydrater le gaz à des teneurs très faibles.

De nombreux adsorbants peuvent être utilisés pour la déshydratation.

Néanmoins, pour déshydrater les gaz aux très faibles teneurs, seuls trois adsorbants sont utilisés:

- Gel de silice
- Alumine activée
- Tamis moléculaire

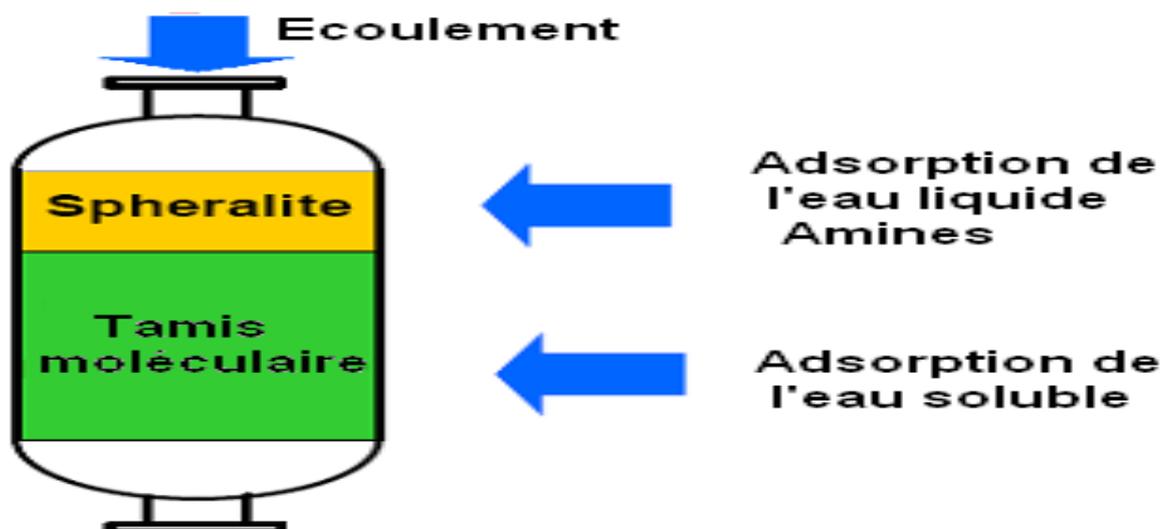
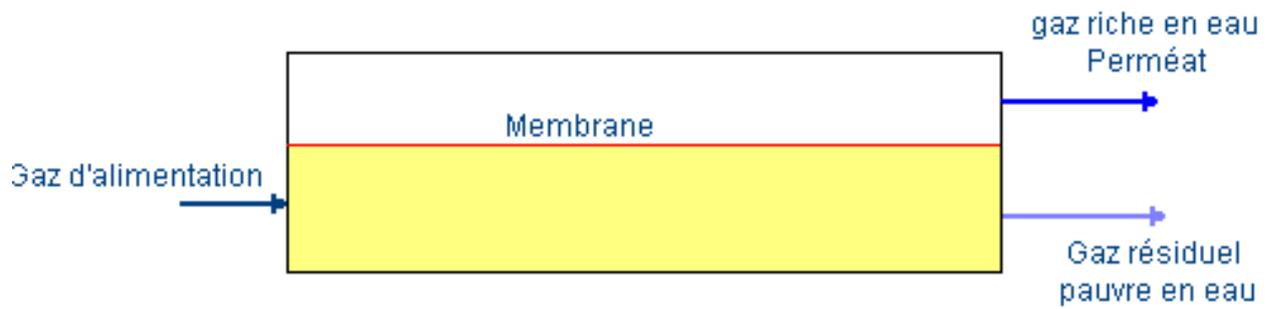
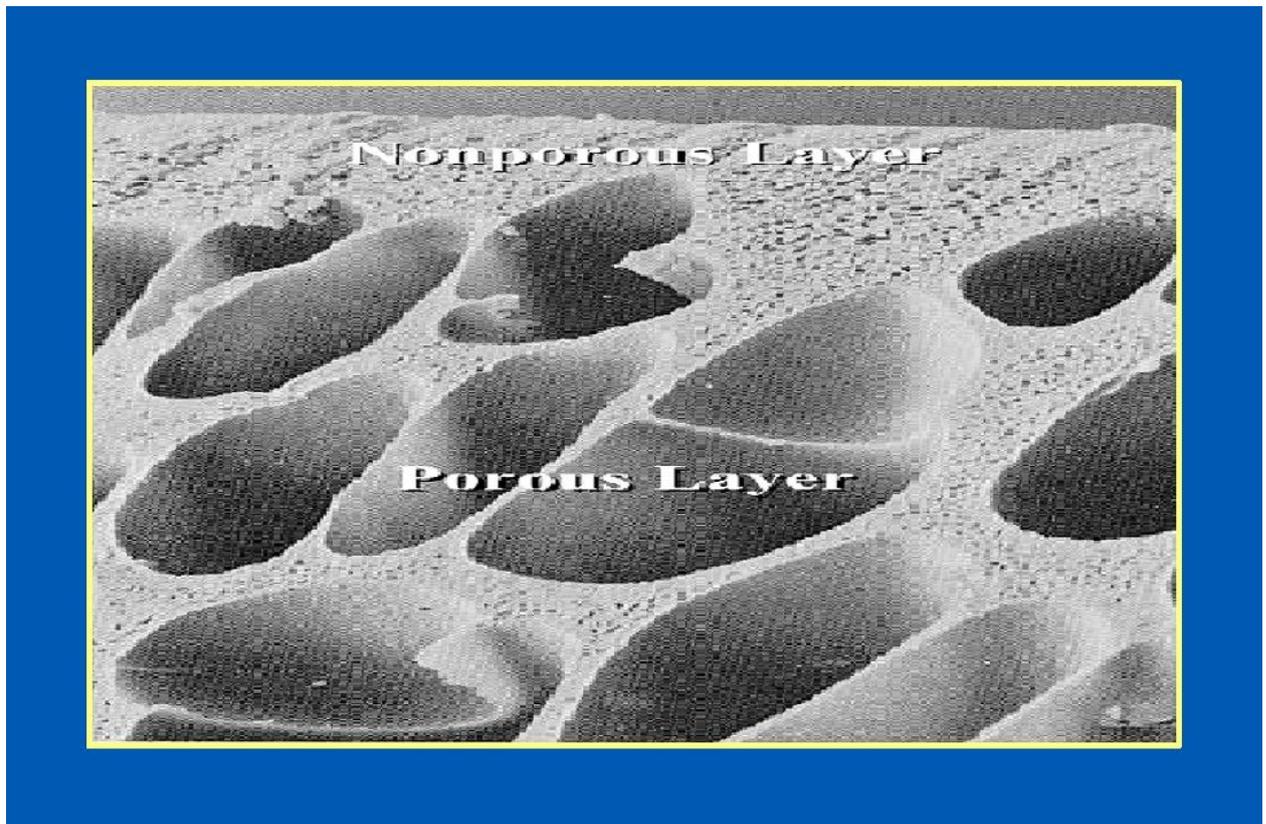


Figure III-5 : la déshydratation du gaz naturel par adsorption.

**III-7-2-4- la déshydratation par membranes :[25]**

Procédé à membranes pour séparation des gaz

**Figure III-6:** la déshydratation par membrane**Figure III-7 :** Structure d'une membrane asymétrique

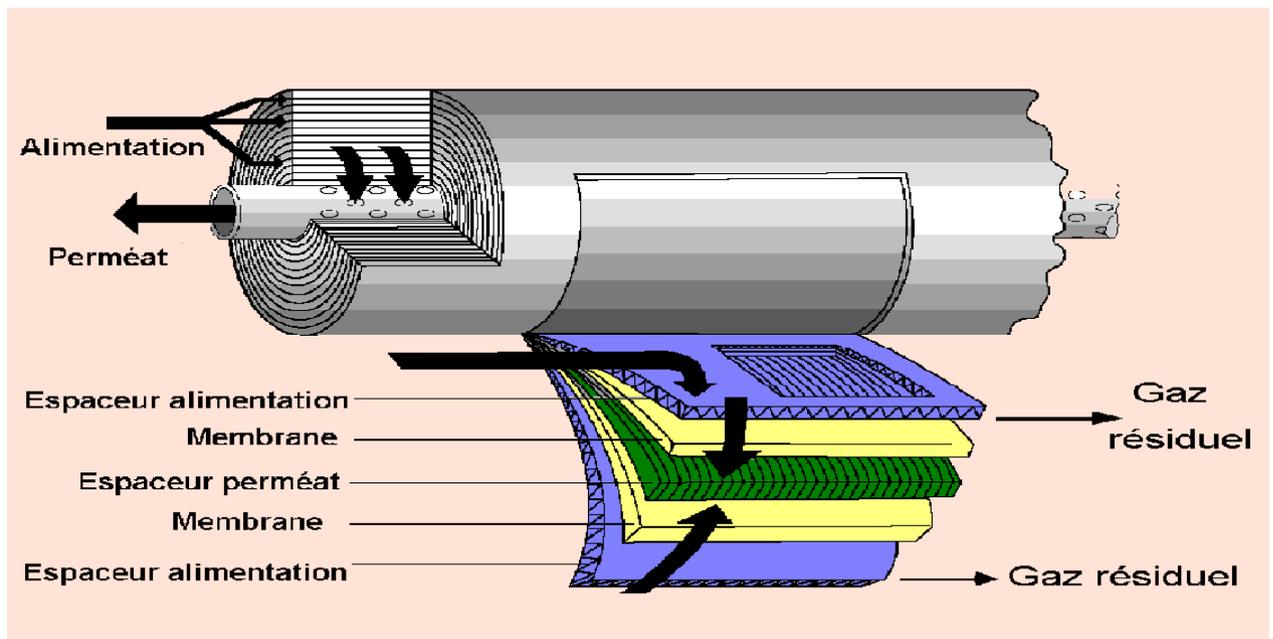


Figure III-8 : Structure d'une membrane Module spirale

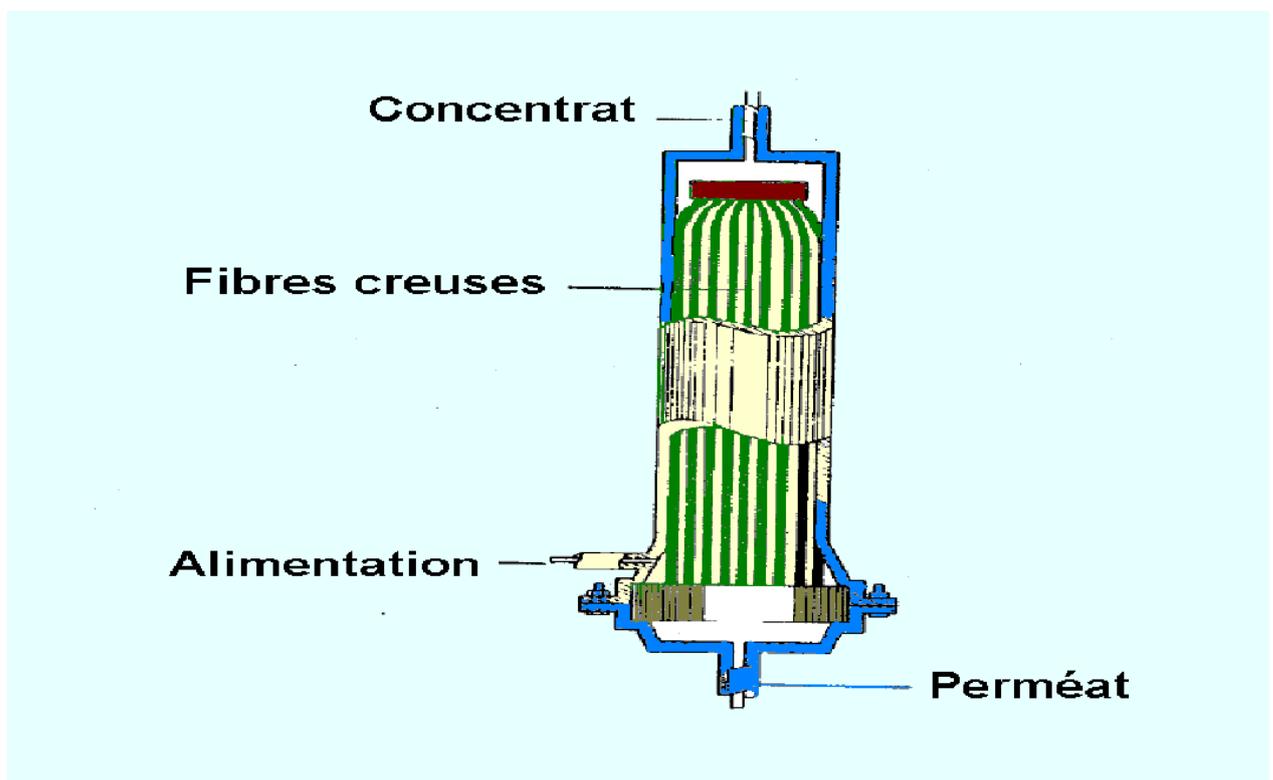


Figure III-9 : Structure d'une membrane Module à fibres creuses

### III-8-Les Types d'adsorbant :[18]

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 différents types d'adsorbants à savoir :

**a) Les silices gel ( $\text{SiO}_2\text{NH}_2$ ) :**

C'est un produit dur, granulaire, très poreuses et disponible sous forme de poudre ou des grains, utilisé généralement pour la déshydratation de l'air.

**b) Les charbons actifs :**

Ils sont préparés à partir des matières organiques. Sont caractérisé par une porosité importante pour adsorber les hydrocarbures paraffiniques et les produits organiques. Utilisé généralement pour l'adsorption des matières organiques contenues dans les eaux usées.

**c) Les alumines actives ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) : [26]**

sous forme de poudre granulée. Utilisé comme déshydratants pour les gaz et les liquides. Capacité d'adsorption est pratiquement faible.

**d) Tamis moléculaires : [27]**

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 basés sur les différences de taille des molécules.

Le tableau (1) donne les dimensions moléculaires qui doivent être utilisées comme guide lors du choix d'un type de tamis moléculaires pour une utilisation spécifique.

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.

**Tableau III-1** : diamètres critiques de certaines molécules

Molécule	Diamètre critique (Å)
Hydrogène	2,4
Acétylène	2,4
Oxygène	2,8
Monoxyde de carbone	2,8
Dioxyde de carbone	2,8
Azote	3,0
Eau	2,8
Ammoniac	3,6
Sulfure d'hydrogène	3,6
Méthane	4,0
Ethylène	4,2
Ethane	4,4
Méthanol	4,4
éthanol	4,4
Mercaptan méthylique	4,5
Propane	4,9
Propylène	5,0

Mercaptan éthylique	5,1
Butène	5,1
1,3-Butadiène	5,2
Chlorodifluorométhane (R-22)	5,3
thiophène	5,3
i-Butane à 1-C22 H46	5,6
Dichlorodifluoromèthane	5,7
Cyclohexane	6,1
Benzène	6,7
Toluène	6,7
P-Xylène	6,7
M-Xylène	7,1
O-Xylène	7,4
Ttriethylamine lamine	8,4



**Figure III-10** : différentes formes des tamis moléculaire

Les types commerciaux importants de tamis moléculaires sont faits de matière synthétique mais leur structure est relativement similaire à certains minéraux naturels.

Les tamis moléculaires ou zéolithes utilisés en traitement de gaz sont des silicoaluminates dont la structure cristalline forme des cavités constituant un réseau micro poreux à l'échelle moléculaire. Cette structure comporte des cations qui ont un rôle de compensation de charge, selon leur nature, la taille des cavités d'accès varie.

Bien que les structures cristallines de certains tamis moléculaires soient quelque peu différentes, deux types A et X sont les plus connus et les plus importants autant qu'agents adsorbants commerciaux.

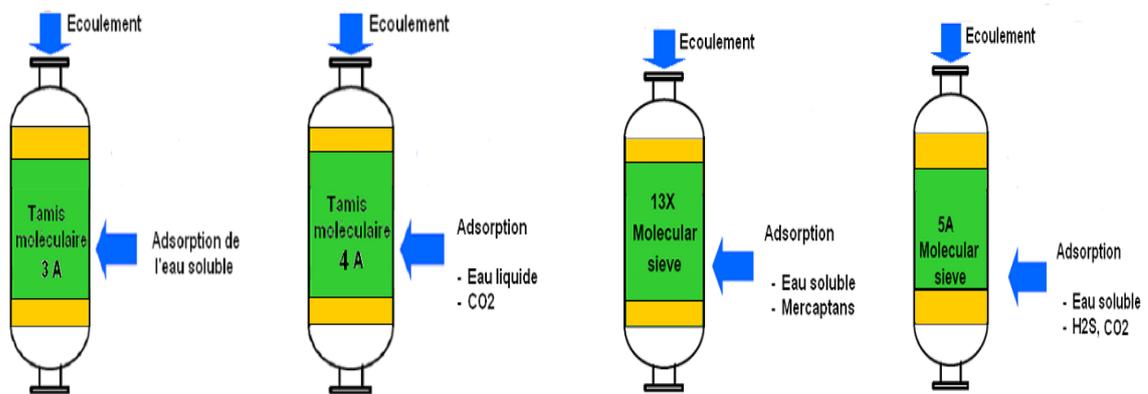
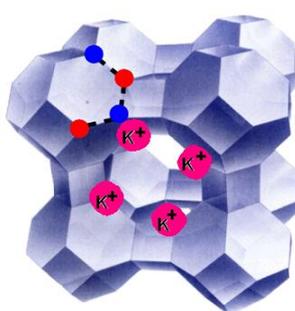
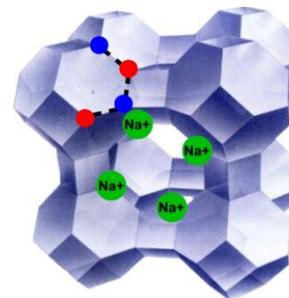


Figure III-11: types A et X du tamis moléculaire

Ainsi pour les tamis de **structure A**, selon la nature du cation de compensation, la taille des cavités d'accès peut être de l'ordre de 3°A (tamis 3A), de 4°A (tamis 4A) ou de 5°A (tamis 5A). En sélectionnant un tamis de type 3A ou 4A, il est possible d'absorber l'eau au sein de la structure microporeuse tout en excluant les hydrocarbures.



Tamis moléculaire 3A



Tamis moléculaire 4A

Figure III-12 : type cristallin du tamis moléculaire

Les tamis moléculaires permettent d'obtenir des puretés du gaz traité élevées (teneur en eau de l'ordre de 1 ppm).

Au moment de sa formation, ce réseau cristallin est rempli d'eau mais par un chauffage modéré, l'humidité peut être éliminée des cavités sans modifier la structure cristalline.

Ceci laisse d'innombrables cavités, avec un volume de pores et une surface combinée énorme et régulière, disponible pour l'adsorption d'eau ou d'autres fluides.

Dans les conditions favorables, le procédé d'évacuation et de remplissage des cavités peut être répété de manière indéfinie.

Les tamis moléculaires sont des aluminosilicates de métal cristallin avec une structure d'interconnexion tridimensionnelle formée de tétraèdres d'alumine ou de silice, les tétraèdres sont formés par quatre atomes d'oxygène entourant un atome de silice ou d'aluminium.

Chaque atome d'oxygène a deux charges négatives et chaque atome de silice a quatre charges positives. Cette structure permet, grâce à une distribution des charges, de construire un tétraèdre qui peut être répété de manière uniforme dans quatre directions, du fait de la trivalence de l'aluminium, le tétraèdre d'alumine est chargé négativement, nécessitant un cation supplémentaire pour équilibrer le système.

Par conséquent, la structure finale possède des cations de sodium, de potassium ou de calcium dans le réseau. Ces cations « équilibreurs de charges » constituent les ions échangeables de la structure d'une zéolite.

Dans la structure cristalline, jusqu'à la moitié des atomes de silice quadrivalents peuvent être remplacés par les atomes d'aluminium trivalents. En contrôlant les rapports des matériaux de départ, il est possible de produire des zéolites contenant différents rapports ion silice et ion aluminium et différentes structures cristallines contenant différents cations.

Les tamis moléculaires affichent un autre phénomène en plus de la condensation capillaire. Ces tamis sont des matériaux cristallins ayant des atomes chargés positivement et négativement, rigidement fixés en position.

Ceci résulte d'une distribution inégale des charges et crée une surface polaire cette dernière exerce une attraction électrostatique. Sur les molécules polaires telles que l'eau.

Par conséquent, les tamis moléculaires utilisent deux mécanismes d'adsorption, raison pour laquelle les tamis moléculaires sont des adsorbants bien plus puissants que le silicagel ou l'alumine.

Les tamis moléculaires, ayant des propriétés constantes : tels que les données d'équilibre qui se représentent sous forme d'une isotherme, représentent une relation d'équilibre existant entre le fluide et le solide.

Les caractéristiques principales d'un tel procédé sont les suivantes :

- La concentration en H<sub>2</sub>O doit être faible ;
- Il est peu recommandé pour les grands débits de charge ;
- Il nécessite un fonctionnement discontinu ;
- La présence de COS et CS<sub>2</sub> est nuisible ;
- L'adsorbant est un produit cher doit être remplacé tous les 3ans
- La longueur de la zone de transfert est très importante dans le calcul de l'efficacité d'un système d'adsorption.[16]

#### **d-1) Régénération des tamis moléculaires :[16]**

Le phénomène d'adsorption se traduit à l'équilibre par un état de saturation, le tamis moléculaire saturé n'adsorbe plus.

Trois méthodes sont utilisées pour absorber les produits adsorbés. Une diminution de la quantité adsorbée à l'équilibre peut être obtenue, soit en augmentant la température, soit en diminuant la pression partielle de l'adsorbât, ou encore par une combinaison des deux moyens.

#### **d-2) Augmentation de la température**

Elle est généralement effectuée en balayant le lit avec un gaz préchauffé. Dans la plupart des cas, l'effet d'augmentation de la température est amplifié par l'effet de diminution de la pression partielle.

Les performances souhaités, la teneur en eau du gaz de purge, la nature de l'adsorbât et les impuretés coadsorbées déterminent la température à laquelle doit s'effectuer la régénération thermique. Très souvent celle-ci se situe entre 200 et 300°C.

La quantité de chaleur à fournir pour obtenir une régénération convenable est égale à la somme des quantités de chaleur suivantes :

- La chaleur nécessaire au chauffage du lit d'adsorbant ;
- La chaleur nécessaire au chauffage de l'adsorbent (fonction de la nature de calorifuge) ;
- La chaleur nécessaire au chauffage et la désorption de la masse d'adsorbât retenue dans le lit ;
- Les pertes thermiques à travers les parois de la colonne d'adsorption.

Des molécules organiques (oléfines, aromatiques, paraffines lourdes etc....) Présentes dans le fluide à traiter peuvent être coadsorbées durant la phase d'adsorption. Pour éviter ou minimiser les risques de cokage pendant la régénération thermique, en effectuant, éventuellement une purge avec un gaz inerte. La phase de chauffage est suivie par une étape de refroidissement qui ramène le lit à la température d'adsorption.

### d-3) Diminution par variation de pression

La régénération par variation de pression est basée sur la réduction de la capacité d'adsorption, dû à la réduction de la pression partielle de l'adsorbât.

#### Remarque :

La majorité des régénérations dans l'industrie pétrochimique se font par augmentation de température, cette méthode fournit la meilleure pureté de l'effluent et la meilleure durée de vie du matériau adsorbant

### III-9- Les hydrates de gaz:

#### III-9-1-Définition :[28]

Un hydrate est une combinaison physique de l'eau et d'autres petites molécules de gaz, 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. [28]

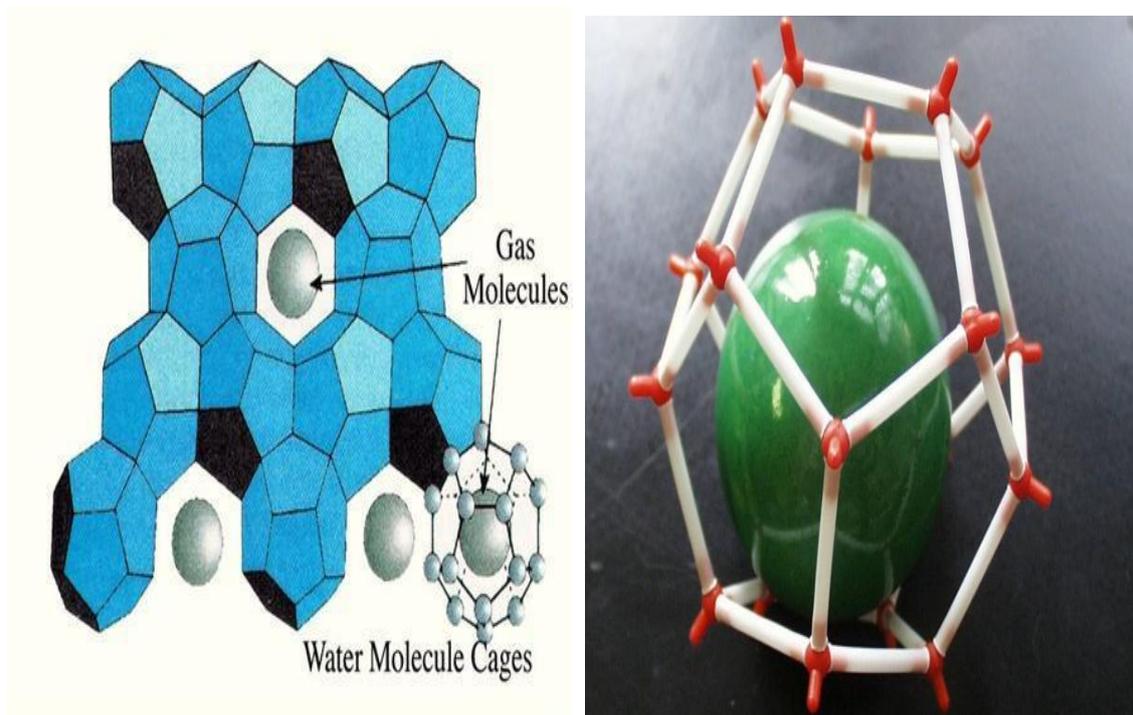


Figure III-13 : hydrate solide

#### III-9-2- Structures 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.

Les hydrates sont des combinaisons physiques d'eau et d'hydrocarbures. Dans certaines Conditions, ils présentent des structures cristallines et se forment avec les hydrocarbures suivants  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  et également  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$



**Figure III-14** : Structures des hydrates

### III-9-3-Types des hydrates :[16]

On distingue deux types d'hydrates :

#### a) Les hydrates faisant intervenir des molécules de petites tailles :

- Le méthane lié avec 6 à 7 molécules d'eau ( $\text{CH}_4$ , 7  $\text{H}_2\text{O}$ ).
- L'éthane lié à 7 molécules d'eau ( $\text{C}_2\text{H}_6$ , 7  $\text{H}_2\text{O}$ ).
- Le dioxyde de carbone lié avec 6 à 7 molécules d'eau ( $\text{CO}_2$ , 7  $\text{H}_2\text{O}$ ).

#### b) les hydrates faisant intervenir des molécules de grandes tailles liées avec 17 molécules d'eau :

- ( $\text{C}_3\text{H}_8$ , 17  $\text{H}_2\text{O}$ )
- ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , 17 $\text{H}_2\text{O}$ ).

Les tailles des molécules au-delà du n-C<sub>4</sub> sont importantes et ne permettent donc pas la pénétration dans le réseau cristallin, et par conséquent inhibent la formation d'hydrates.

### III-9-4- Les facteurs favorisant de la formation d'hydrates :

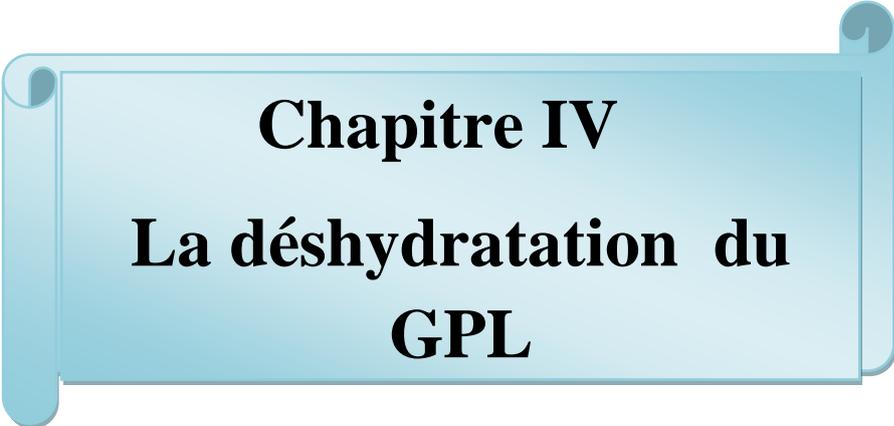
Les risques de formation d'hydrates se situent à des endroits bien précis dans l'unité là où la formation d'hydrates est thermodynamiquement possible, les conditions qui favorisent la formation d'hydrates sont :

#### a) facteurs primaires :

- les basses températures.
- les hautes pressions
- Présence d'eau dans le gaz.

**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.



**Chapitre IV**  
**La déshydratation du**  
**GPL**

**IV-1. Introduction : [16]**

La section déshydratation en phase liquide de la charge comprend trois colonnes d'adsorption, constituées de tamis moléculaire et fonctionnant en parallèle.

A tous instant, une colonne est en ligne pour l'adsorption, une deuxième en régénération, tandis que la troisième est en réserve.

La durée d'adsorption est de 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.

A ce moment-là, la troisième colonne a achevé son cycle de régénération et passe en réserve.

Pendant l'adsorption, l'écoulement à travers la colonne se fait du bas vers le haut. Il faut aussi noter que la section 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.

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.

**IV-2-La déshydratation par adsorption sur un dessicant solide :[29]**

Dans notre cas la déshydratation est effectuée sur la charge en provenance des différents champs afin d'éliminer l'Eau dissoute (Hydrates) dans le GPL Brut afin de préserver nos équipements en Aval et éviter ainsi toute perturbation qui peut être causée par la présence de givrage et/ou formation d'hydrates au niveau des circuits et des Instruments.

Chaque train possède une section de déshydratation de la charge pour réduire la teneur des hydrates et/ou d'Eau dissoute dans le GPL d'une quantité maximale de 100 ppm à une valeur de moins de 5 ppm et une déshydratation de Garde afin d'éliminer ou de réduire la teneur en Hydrates du Produit fini (C3) à une concentration inférieure à 1 ppm (valeur admissible).

Pour cette Opération la matière utilisée est un Dessiccant solide (Silicate d'alumine)  $\text{Na}_{12}(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}$  « Substance de forme Granulée Poreuse de Type 4 A - DG pouvant absorber des molécules de diamètre allant jusqu'à 4 angströms qui est égale au diamètre de la molécule d'Eau».

Ce dessiccant (Tamis Moléculaire) est protégé par des billes Céramiques très solide résistant à la chaleur et à la pression ; de forme sphérique et diamètre différent (1/2'' et 1/4 ''). Étalées sur une grille dans un matelas à mailles à l'intérieur des Sécheurs.

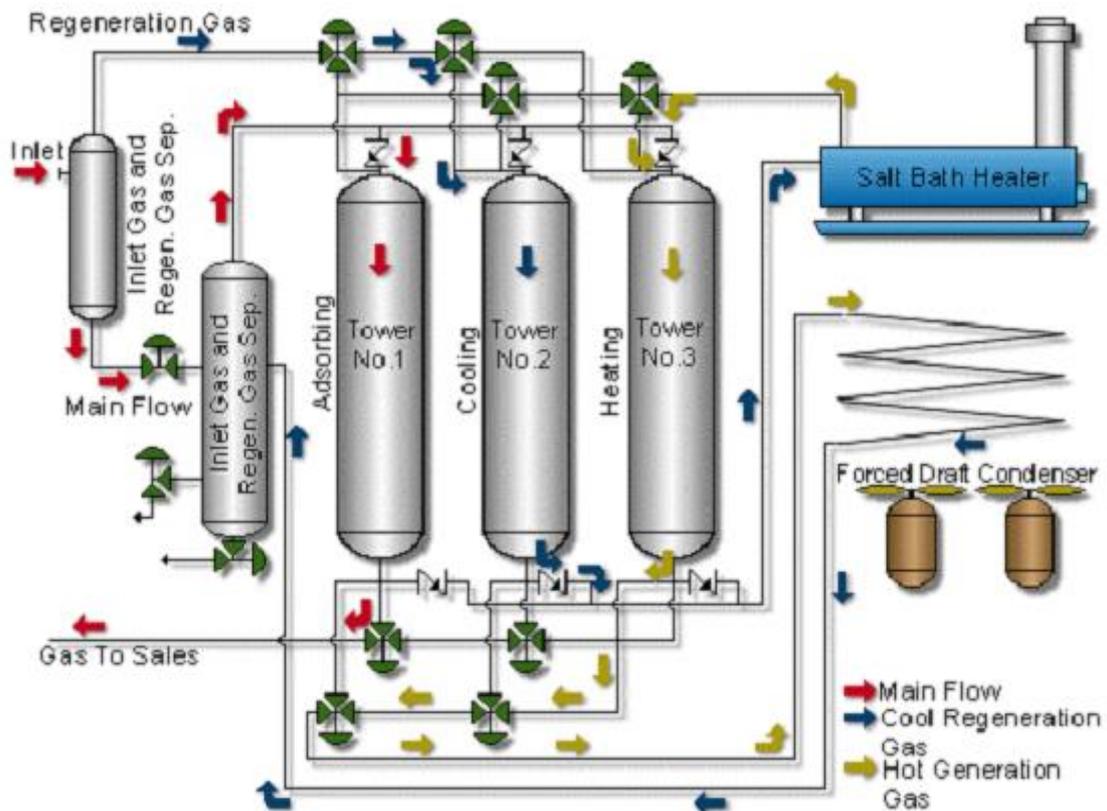


Figure IV-1 : La déshydratation par adsorption sur un dessicant solide

#### IV-3 La zone de transfert de masse (ZMT) [30], [31] :

L'adsorption est un phénomène de transfert de masse, et le transfert des molécules du fluide vecteur aux pores de l'adsorbant demande un temps fini. Ce temps est influencé par :

- la concentration (la quantité d'adsorbat devant être transférée),
- la présence de molécules concurrentes ou interférentes,
- l'ouverture des passages de diffusion (macropores) à l'intérieur des particules d'adsorbant, et la taille des pores actuels adsorbants.

La longueur du lit à travers laquelle un incrément de gaz passe pendant le transfert de n'importe quel composant de la phase gazeuse à la phase solide et appelée **la zone de transfert de masse (ZMT)**. En réalité, la ZMT est une zone précédée d'une zone dite d'équilibre.

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 dessicant au fond du lit qui agissent comme sécurité pour éviter de faire sortir le point de percée du lit .

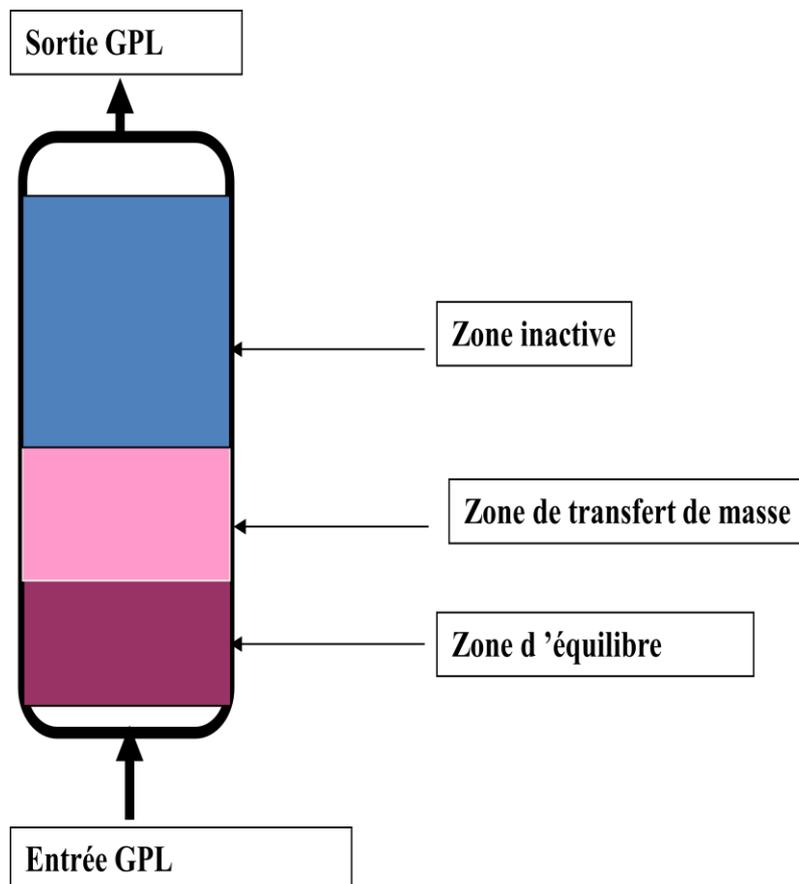


Figure IV-2: Le déplacement de ZMT lors de l'adsorption

#### IV-4- Le Cycle de régénération : [32]

Tableau IV-1: Le cycle de régénération

Etapes	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

#### IV-4-1- Le Drainage :

Le but de la séquence de drainage est de chasser le produit GPL de l'absorbeur vers les sphères de stockage tampon par le fuel gaz à haute pression (10 Bars).

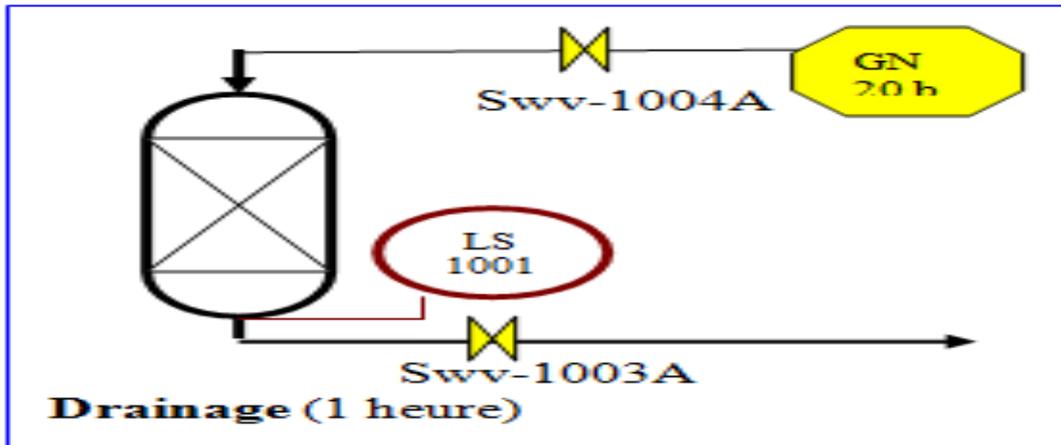


Figure IV-3 : Le Drainage [29]

#### IV-4-2- Dépressurisation :

Le sécheur est dépressurisé par excitation de l'électrovanne pour permettre le passage de l'air instrument. Le contrôleur de pression s'ouvre la vanne et l'adsorbent est dépressurisé vers la torche jusqu'à la pression de gaz de régénération qui est de l'ordre de 11 à 12 bars. Une fois que cette pression est atteinte, la vanne se déexcite pour la fermeture.

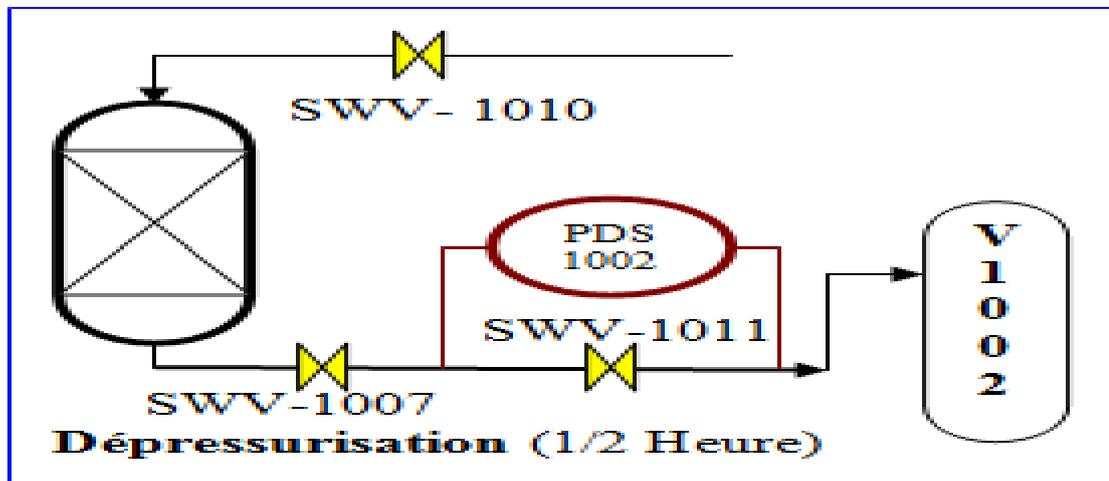


Figure IV-4 : Dépressurisation [29]

#### IV-4-3- Le Chauffage :

Le cycle de chauffage est le plus important du cycle de régénération. Durant cette séquence, l'eau adsorbée est complètement éliminée du tamis moléculaire. Le chauffage du tamis moléculaire sera effectué du haut vers le bas.

Après la dépressurisation de l'absorbent, les Vannes s'ouvrent graduellement pour établir une circulation du gaz de chauffage à travers le réchauffeur (l'économiseur de la turbine). Le gaz de régénération est véhiculé vers le four.

Le débit de fuel gaz qui est de l'ordre de 1300 Kg/h est chauffé graduellement pour atteindre une température de 280 °C à la sortie du sécheur. Les gaz chaud circule du haut vers le bas à travers le lit, l'eau adsorbée par le tamis moléculaire est vaporisée et évacuée avec le gaz vers le refroidisseur où il est refroidi et la vapeur d'eau est condensée et séparée dans le séparateur.

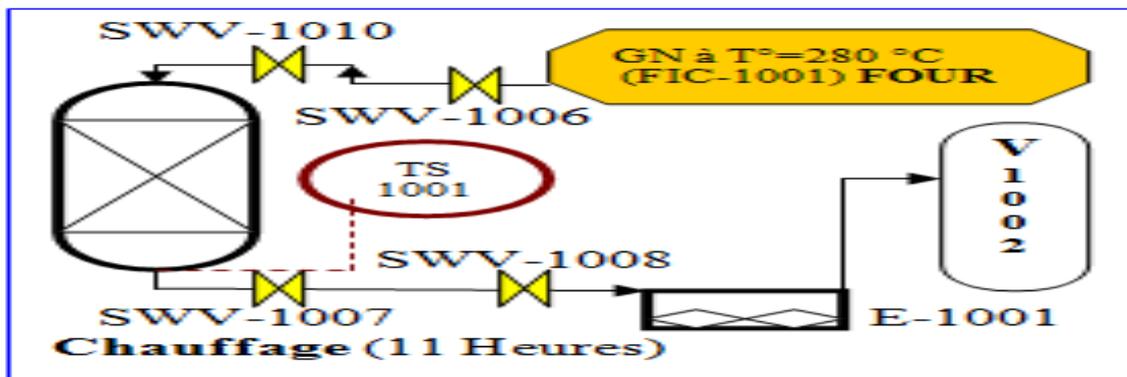


Figure IV-5 : Le Chauffage [29]

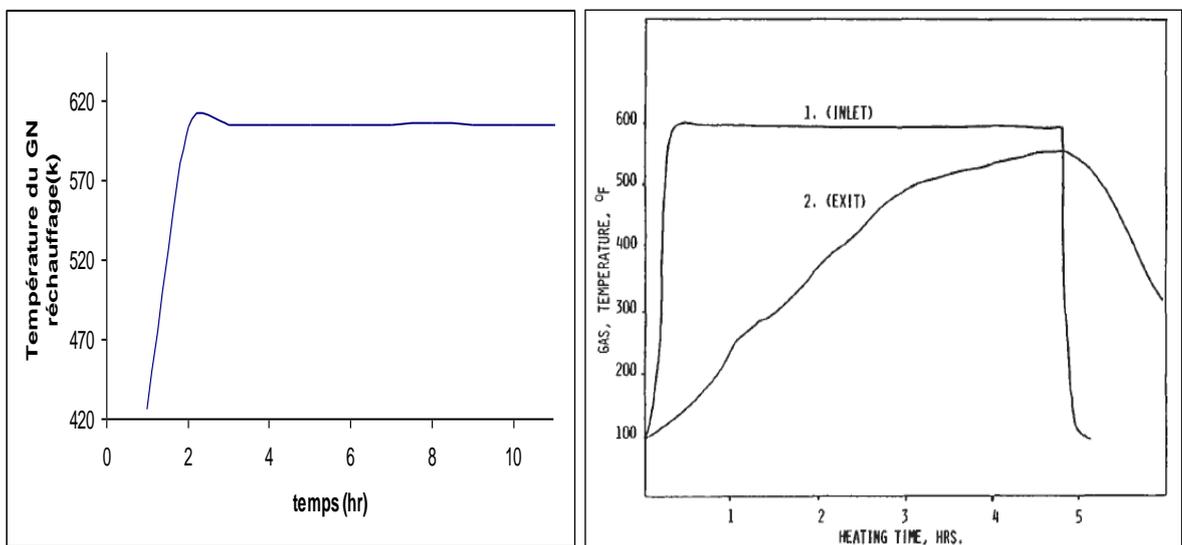


Figure IV-6: Profil de Température de régénération [33].

**IV-4-4- refroidissement :**

A la suite de la séquence de chauffage, le sécheur doit être refroidi à la température de service. Le gaz de refroidissement passe directement du bas vers le haut à travers le lit où la température de ce dernier baisse progressivement jusqu'à la température de service qui est de l'ordre 20 à 40°C.

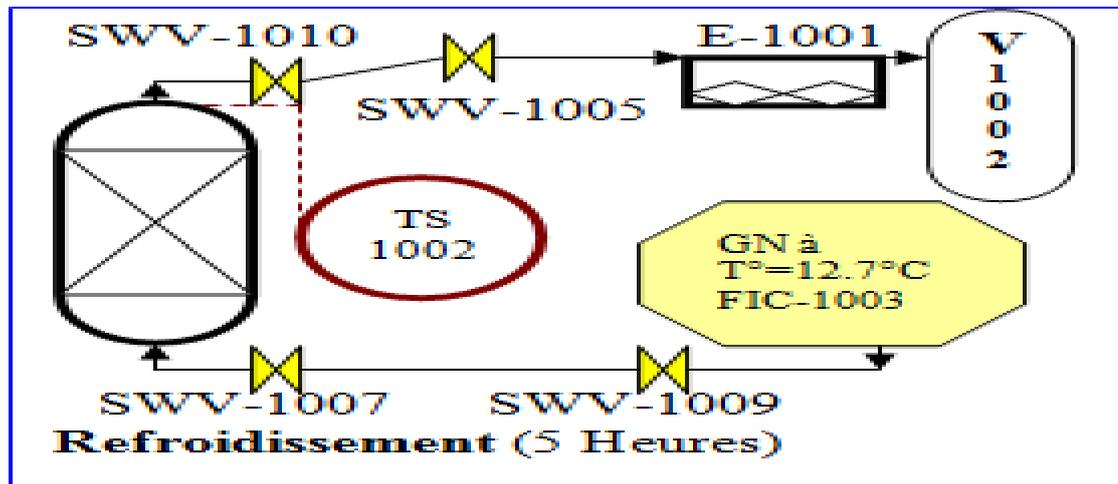


Figure IV-7: refroidissement [29]

#### IV-4-5- Pressurisation :

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

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

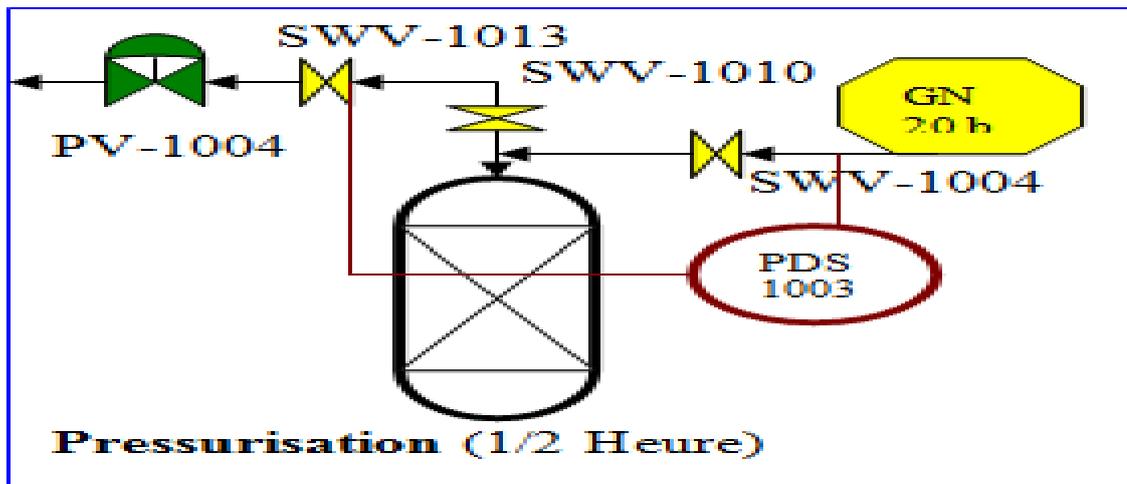


Figure IV-8 : La Pressurisation [29]

#### IV-4-6- remplissage :

A cette étape, la vanne de remplissage reçoit l'ordre de s'ouvrir, pour permettre l'admission du liquide GPL par le bas de l'absorbeur. Au fur et à mesure que le niveau monte dans le sécheur ; le gaz emprisonné se comprime en créant l'augmentation de pression ; lorsque cette dernière atteint le point de consigne du contrôleur de pression, le surplus est évacué vers la torche.

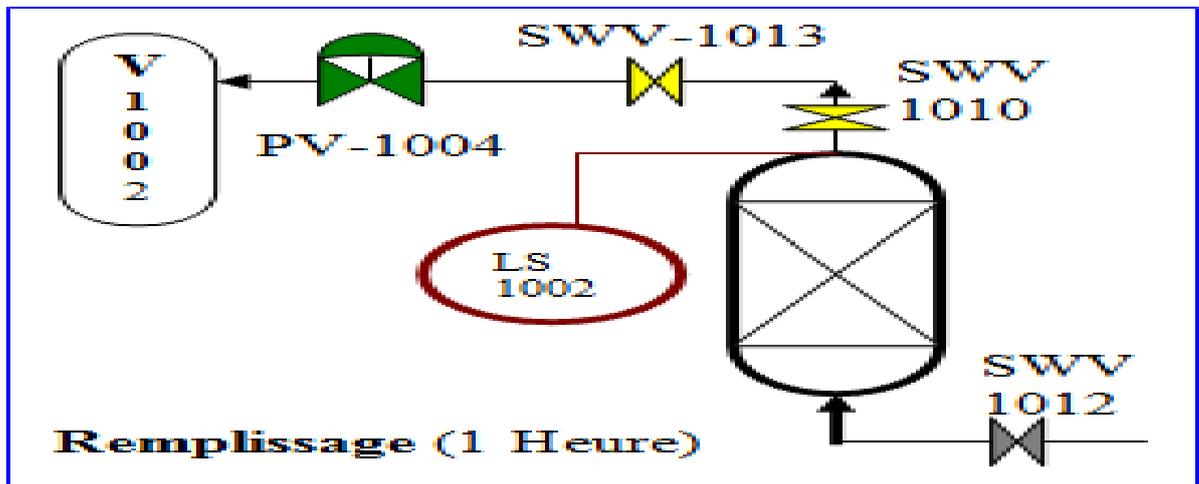


Figure IV-9: remplissage [29]

IV-5-Présentation du problème et La Méthode de calcul :

IV-5-1- Présentation du problème :[34]

Dans notre cas nous allons discuter l’influence de la diminution de la teneur en eau du GPL sur le fonctionnement de la section de déshydratation de charge.

Rappelons que la teneur en eau de charge dans le design de la déshydratation dans le complexe GP1/Z égale à 100 ppm, correspond a une dure de 36 heures d’adsorption et 19 heures de régénération, il est remarquable que cette teneur commence a diminuée a cause de prétraitement provenant du sud. Toute fois il est utile d’optimiser les paramètres de fonctionnement de la section de déshydratation de charge par l’étude de :

- La prolongation du temps d'adsorption.
- La réduction du temps de régénération

La réduction de la masse du tamis moléculaire

La courbe ci-dessous caractérise le suivi de la teneur en eau dans le GPL a l’entrée dans le déshydrateur pendant un mois.

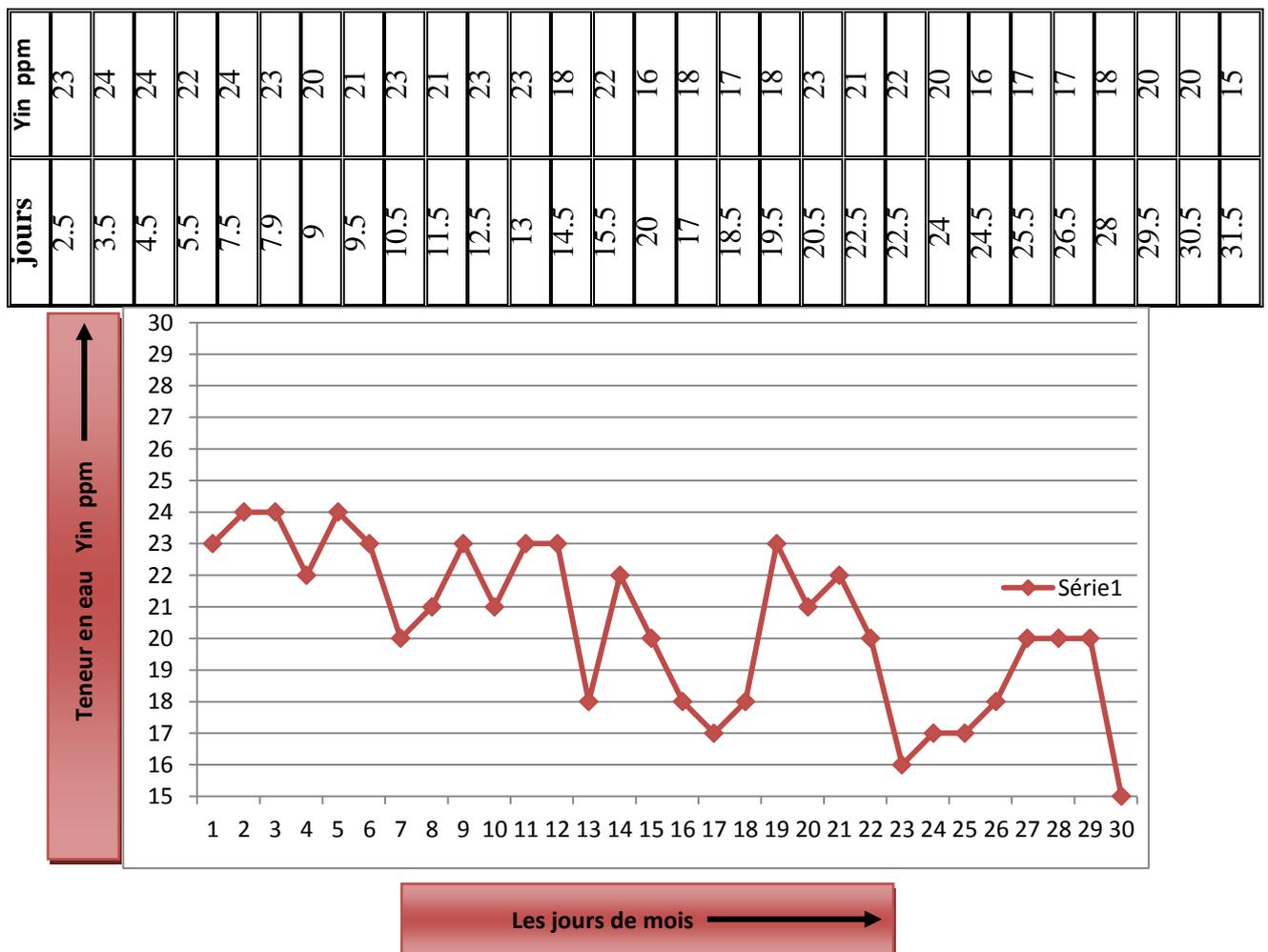


Figure IV-10: Variation de la teneur en eau dans la charge pendant Un (01) mois de août 2017.

**Interprétation du graphe :**

On remarque que la teneur en eau ne dépasse pas 24 ppm pendant le suivi d'un (01) mois.

**IV-5-2- La Méthode de calcul:**

Cette méthode est consistée pour déterminer le temps d'adsorption en fonction de la teneur d'eau dans la charge, par l'optimisation des paramètres de fonctionnement du cycle de chauffage.

Donc on calcul le bilan thermique et le bilan de matière pour estimer la quantité de chaleur et le débit de GN adéquat à la régénération du sécheur.

**IV-5-2-1- Composition d'un déshydrateur de charge : [34],[35]**

Etant donné que le tamis moléculaire est la partie essentielle d'une colonne de déshydratation, qui est l'agent adsorbant, et la couche de billes en céramique (alumine) de 150 mm d'épaisseur avec une couche similaire au-dessus qui expose un support.

**Tableau IV-2 :** La fiche technique du tamis moléculaire.

Paramètre des tamis	Valeurs
Diamètre nominal des pores	4°A
Diamètre des particules	1.6 mm
Densité tassée	700 kg / m <sup>3</sup>
Chaleur de désorption de l'eau	1800 BTU / Lb d'eau
Teneur en eau résiduelle	2%
Capacité en eau à l'équilibre	22%
Capacité calorifique	0.22 k cal / kg °C

**Les conditions d'adsorption / désorption : ( cas réel ) [34]**

Durée d'adsorption	36 heures.
Durée de régénération	19 heures.
Réchauffage	11 heures.
Refroidissement	5 heures.

**Température d'entrée du gaz de régénération : [34]**

Réchauffage	T = 280°C.
Refroidissement	T = 12.7°C.

**IV-5-2-2- La théorie de calcul :[36]****A- Le bilan thermique :****A-1-Calcul de la quantité totale de chaleur nécessaire à la régénération :**

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

**D'où :**

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

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

$Q_{\text{des}}$  : 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

$$(Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{acier}} + Q_{\text{des}}) \text{ (BTU)}.$$

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

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

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

$M_{\text{ads}}$  :La quantité d'eau adsorbé.

**A-3- Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis  $Q_{\text{tamis}}$  :**

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

$m_t$  : 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).

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

$$Q_{\text{acier}} = m_c \times C_{pC} \times (T - T_{\text{ads}}) \dots\dots\dots (4)$$

$m_c$ : La masse totale de l'acier (Lb)

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

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

$$Q_{\text{perte}} = 0.1 \times (Q_{\text{des}} + Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{acier}}) \dots\dots\dots (5)$$

**Calcul de la température du lit « T » : [12]**

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

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

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

**A-6- Calcul de la chaleur  $H_f$  fournie par le four : [37]**

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

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

**A-7- Calcul du temps de réchauffage du tamis «  $t_r$  » : [36]**

$$t_r = H_f / (\Delta H(T_i - T_e) \times M_g) \dots\dots\dots (8)$$

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

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

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

**A-8- calcul de la chaleur fournie par le four par  $H_f$ /cycle :**

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

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

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

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

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

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

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

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

**B- Le bilan de matière : [36].**

**B-1- Calcul du débit du gaz de refroidissement :**

Le débit du gaz de refroidissement est calculé comme suit :

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

$\Delta H_{(T_s - T_e)}$  : 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).

**C-Calcul de la chute de pression : [36]**

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

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

$\mu$  : la viscosité du GN (Cpois).

$U$  : 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.

$$A = 0.0561, B = 0.0000889 .$$

**D- Calcul du nombre de Reynolds :**

$$R_e = (G \times D_p) / \mu \quad \dots\dots\dots (14)$$

$G$  : débit.

$D_p$  : Le diamètre.

$\mu$  : Viscosité dynamique.

**IV-6- Fiabilité de la méthode : [32]**

Il faut qu'on assure une méthode de calcul fiable et valable, d'un sécheur de la section déshydratation de la charge pour un taux de traitement égal à 100 %.

**Propriété du GPL**

- Le débit de traitement à 100% :  $Q = 240 \text{ m}^3/\text{hr} = 127,2 \text{ t / hr}$
- La pression :  $P = 30.7 \text{ Kg / cm}^2$
- La température :  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Tableau IV-3 : Composition de la charge du GPL [32]**

COMPOSANT	$M_i$ g/mole	% MOLLAIRE
C <sub>1</sub>	16,043	0.26
C <sub>2</sub>	30,07	1.90
C <sub>3</sub>	44,097	58.40
i-C <sub>4</sub>	58,123	14.65
n-C <sub>4</sub>	58,123	24.5
i-C <sub>5</sub>	72,15	0.22
n-C <sub>5</sub>	72,15	0.07
C <sub>6</sub>	86.177	0.00

**Poids moléculaire du GPL :  $M_{GPL} = \sum_{i=1}^n Y_i \times M_i$**

**$M_{GPL} = 49.33 \text{ Kg /Kmole}$**

- La Solubilité de l'eau dans le GPL à  $T=25^\circ\text{C}$  (**Annexe 2**)
- La Teneur en eau à l'entrée du sécheur :  $X_e = 100 \text{ ppm}$ .
- La Teneur en eau à la sortie du sécheur :  $X_s = 1 \text{ ppm}$ .
- La Phase: liquide.
- La Masse volumique du GPL :  $\rho_{GPL} = 531.11 \text{ Kg / m}^3 = 33.15 \text{ Lb / ft}^3$ .

**IV-6-1- Dimensionnement d'un déshydrateur [36]**

**A- Calcul de la quantité d'eau adsorbée :**

**A-1- Diamètre minimum du lit :**

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

$D_{min}$  : Diamètre minimum du lit de tamis ( ft ).  $\rho_{GPL}$  : Masse volumique de la charge (Lb/ ft<sup>3</sup>).

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

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

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

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

$\rho_{tamis}$  : Masse volumique du dessicant (Lb/ ft<sup>3</sup>)

$C$  : Constante relative aux tamis moléculaire (C = 1.06)

**A.2/ AN:**

Paramètres	Valeurs obtenus
$D_p$	0.01 ft.
$\rho_{tamis}$	641 kg / m <sup>3</sup> = 40.02 Lb / ft <sup>3</sup> .
$\rho_{GPL}$	530 kg / m <sup>3</sup> = 33.09 Lb / ft <sup>3</sup>
$g$	32.2 ft / sec <sup>2</sup>
$C$	1.06
$G$	$2.49 \times 10^6$ ( Lb / ft <sup>2</sup> . hr)
$Q$	240 m <sup>3</sup> / hr = 8675.09 ft <sup>3</sup> /hr
$D_{min}$	<b>7.57 ft = 2.3 m</b>

**A-3 La hauteur totale du lit : [36]**

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

**H<sub>s</sub>** : la hauteur de la zone d'équilibre ( ft ) .

**H<sub>z</sub>** : la longueur de la zone de transfert de masse ( ft ) .

**A-3-1 Calcul de la vitesse actuelle d'écoulement de fluide (U<sub>act</sub>) : [36]**

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

**D<sub>L</sub>** : le diamètre du lit. (D<sub>L</sub>=2.15 m =7.11 ft).

$$U_{act} = 0.06 \text{ (ft / sec) } = 3.87 \text{ (ft /min)}$$

**A-3-2- Calcul le débit d'eau :**

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

$$q_w = 1.88 \text{ Lb / fr } 2. \text{ hr}$$

**A-3-3 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse :**

$$H_z = (225 \times q_w^{0.7895}) / (U_{act}^{0.5506} \times Y_{in}^{0.2646}) \dots\dots\dots (20)$$

$$H_z = 26.75 \text{ inch } = 2.23 \text{ ft } = 0.67 \text{ m}$$

**Y<sub>in</sub>** : La teneur en eau dans la charge à l'entrée du déshydrateur exprimée en ppm massique.

**q<sub>w</sub>**: Le débit d'eau.

**A-3-4- Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre :**

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

**H<sub>t</sub>** : la hauteur total du lit (H<sub>t</sub>=2.15 m = 7.11 ft).

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

$$H_s = 4.88 \text{ ft } = 1.48 \text{ m}$$

**A-3-5-Évaluation de la capacité d'adsorption à l'équilibre : [36]**

La capacité d'adsorption est de 22 Lb d'eau / Lb de tamis moléculaire qui représente la saturation complète du tamis moléculaire. (Annexe 4).

$$X_s = (22 - X_1)$$

$X_1$  : la teneur en eau résiduelle,  $X_1 = 1.5$  % en poids.

Il est utile d'ajouter une quantité de tamis pour compenser l'effet de vieillissement causé par des pertes de la capacité lors de l'adsorption

Ces pertes sont provoquées par l'encrassement des pores ; de la destruction des cristaux ; de l'attaque chimique et autres.

On a procédé au calcul des pertes, en tenant compte une perte de 5% par an de la capacité d'adsorption avec une durée de vie du tamis égale à trois ans.

Coefficient d'usure pris égale 70 %

La capacité sera en fin de compte égale à :

$$X_s = (22 - X_1) \times 0.7$$

**Donc :  $X_s = 14.35$  Lb d'eau / 100 Lb adsorbant**

**A-3-6- Évaluation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant (X) :**

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

**X = 13,12 Lb d'eau / 100 Lb de dessicant**

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

**A-3-7-Évaluation de la quantité d'eau adsorbée  $M_{ads}$  :**

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

**$M_{ads} = 1.14 \times 10^3$  Lb**

## A-3-8 Calcul du temps d'adsorption :

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

$$t_{\text{ads}} = 37.09 \text{ hr.}$$

## A-3-9-Détermination de l'efficacité d'adsorption :

$$E_{\text{ff}} = X / X_S \longrightarrow E_{\text{ff}} = 84.83$$

## B- Calcul du bilan thermique : [36]

## B-1- Propriété du gaz de régénération : [38]

B-1-1-La composition du gaz de régénération : cas réel

Tableau IV-4 : La composition du gaz de régénération

Composant	y <sub>i</sub> en mole	T <sub>ref</sub> (K)=12.7°C	T <sub>rec</sub> (K)=280°C	ΔH° (Kj/Kg)	M <sub>i</sub> (Kg/Kmole)	y <sub>i</sub> % en (g)	ΔH° *X <sub>i</sub> (Kj/Kg)
C <sub>1</sub>	0.84	285.85	553.15	698.30	16	0.9	500.69
C <sub>2</sub>	0.0729	285.85	553.15	599.60	30	0.045	71.42
C <sub>3</sub>	0.0184	285.85	553.15	586.64	44	0.007	25.66
iC <sub>4</sub>	0.0028	285.85	553.15	591.34	58	0.0009	4.77
nC <sub>4</sub>	0.0007	285.85	553.15	592.58	58	0.0002	1.47
iC <sub>5</sub>	0.005	285.85	553.15	585.59	72	0.001	9.01
nC <sub>5</sub>	0.0005	285.85	553.15	586.78	72	0.0001	2.03
C <sub>6</sub>	0.0007	285.85	553.15	589.15	86	0.0001	0.81
N <sub>2</sub>	0.06	285.85	553.15	280.49	28	0.04	23.38
CO <sub>2</sub>	0.0022	285.85	553.15	253.63	44	0.0009	1.43
He	0.002	285.85	553.15	0.00	4	0.0009	0.00
	1				18.71	1.00	640.66

**Poids moléculaire du GN** :  $M_{GN} = \sum_{i=1}^n Y_i \times M_i$  .

$$M_{GN} = 18.8806 \text{ kg/Kmole}$$

**Le gaz naturel de Réchauffage** :  $T = 280 \text{ }^\circ\text{C}$        $P = 4.5 \text{ kg / cm}^2$

**Le gaz naturel de Refroidissement** :  $T = 12.7 \text{ }^\circ\text{C}$        $P = 4.5 \text{ kg / cm}^2$

-Calcul de la masse volumique du GN dans les conditions normal  $\rho_{GN}$ :  $T=0 \text{ }^\circ\text{C}$  ,  $P=1 \text{ atm}$ .

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

Paramètres	Valeurs obtenus et données
Z	1
$M_{GN}$	18.8806 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	$0.0821 \text{ l.atm / mole . }^\circ\text{K}$
$\rho_{GN}$	<b><math>1.0006 \text{ Kg / Nm}^3</math></b>

-Calcul de l'enthalpie de chauffage du gaz de  $12.7^\circ\text{C}$  à  $280^\circ\text{C}$  [37]

$$\Delta H = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 + FT^5$$

$$T = T_{\text{rech}} - T_{\text{ref}}$$

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

T: le gradient de la température de chauffage du gaz de GN en ( $^\circ\text{K}$ ) .

A, B, C, D, E, F : Constantes des compositions de GN de corrélation (Annexe 5).

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

-Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage du tamis  $Q_{\text{tamis}}$

Calcul de la masse du tamis  $m_t$  :

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

Paramètres	Valeurs obtenus et données
$D_L$	2.15 m = 7.11 ft
$m_t$	8812 Lb
$H_t$	2.15 m = 7.11 ft
$\rho_{\text{tamis}}$	641 kg/m <sup>3</sup> = 40.02 Lb/ft <sup>3</sup>
<b><math>m_t</math></b>	<b>10281Lb = 4663 Kg</b>

-Calcul de la température moyenne du lit en fin de chauffage : [12]

Paramètres	Valeurs obtenus et données
$T_s$	227 °C = 440.6 °F = 500 °K
$T_e$	280 °C = 536 °F = 553 °K.
On appliquant l'équation (6)	
<b>T</b>	<b>200.5 °C = 392.9 °F = 473.65 °K</b>
$C_{p_t}$	0.22 BTU/ Lb °f
$m_t$	8812 Lb
T	200.5 °C = 392.9 °F = 473.65 °K
Suite à l'application de l'équation (3)	
<b><math>Q_{\text{tamis}}</math></b>	<b><math>7.14 \times 10^5</math> BTU</b>

**B-2-Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage de l'acier**

**-Calcul du volume de l'acier ( V<sub>c</sub> ) : [36]**

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

**D'où :**

**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 )

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

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

**E<sub>p</sub> :** L'épaisseur de l'acier . E<sub>p</sub> = 36.8 mm.

**d :** Le diamètre de l'acier. d = 2100 mm.

L = 4630 mm.

$$V_c = 1.144 \text{ m}^3 = 40.39 \text{ ft}^3$$

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

$$m_c = V_c \times \rho_{acier} .$$

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

Paramètres	Valeurs obtenus et données
V <sub>c</sub>	40,39 ft <sup>3</sup> .
ρ <sub>acier</sub>	500 Lb / ft <sup>3</sup>
<b>m<sub>c</sub></b>	<b>2.02 10<sup>4</sup> Lb</b>
Après l'ajout la quantité d'acier relatif aux supports, aux pipes et aux brides estimées à 35% (accessoires)	
<b>m<sub>c</sub></b>	<b>2.73×10<sup>4</sup> Lb</b>

**C<sub>p,c</sub> :** La capacité calorifique de l'acier ( BTU / lb . °F ) [34].

$$m_c = 2.73 \times 10^4 \text{ Lb} .$$

$$C_{p,c} = 0.12 \text{ BTU / lb . °F.}$$

A partir de l'équation ( 4 ) :

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

**B-3-Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption  $Q_{des}$  :**

La quantité d'eau adsorbée  $M_{ads} = 1.14 \times 10^3 \text{Lb}$  .

La chaleur de désorption  $\Delta H = 1800 \text{ BTU/Lb}$ .

Suivant l'équation (2) :

$$Q_{des} = 1.86 \times 10^6 \text{ BTU}$$

**B-4-Calcul des pertes de chaleur  $Q_{perte}$  :**

Paramètres	Valeurs obtenus et données
$Q_{des}$	$1.86 \times 10^6 \text{ BTU}$ .
$Q_{acier}$	$1.03 \times 10^6 \text{ BTU}$
$Q_{tamis}$	$7.14 \times 10^5 \text{ BTU}$ .
selon l'équation (5)	
$Q_{perte}$	$3.6 \times 10^5 \text{ BTU}$

**B-5-Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération  $Q_{totale}$  :**

suivant l'équation (1) :

$$Q_{totale} = 3.96 \times 10^6 \text{ BTU}$$

**B-6- Calcul de la chaleur fournie par le four pendant le réchauffage  $H_f$  : [36]**

**B-6-1- Calcul de l'efficacité thermique du four  $1/\epsilon$  : [34]**

Efficacité thermique du four pendant le réchauffage :

$$1/\epsilon = 2.25 + (0.03113 \times T)$$

T : Temps de chauffage (hr).

D'après l'équation (7) :  $1/\epsilon = 38.98$

**B-6-2- Calcul de l'énergie totale fournie par le four : [34]**

**-Calcul de la chaleur totale fourni par le four lors de réchauffage  $H_f$  :**

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

$$1/\epsilon = 0.3898$$

$$Q_{totale} = 3.96 \times 10^6 \text{ BTU}.$$

$$H_f = 1.03 \times 10^7 \text{ BTU}.$$

**B-7-Calcul du temps de réchauffage du tamis « t<sub>r</sub> » : [36]**D'après l'annexe 5: **Tableau IV-5:** Les propriétés du gaze de regeneration

Quantité de chaleur apportée par le GN: H <sub>f</sub> (BTU)	1.02×10 <sup>7</sup>
Déférence de L'enthalpie (ΔH <sub>(280-12.7)°c</sub> : BTU / Nm <sup>3</sup> )	1179,47
Masse volumique du ρ <sub>GN</sub> (Lb/ Nm <sup>3</sup> )	1,8298
Température finale (T <sub>f</sub> : °F)	536
Température initiale (T <sub>i</sub> : °F)	54,86

Pour ΔH en Kj /Nm<sup>3</sup>: ΔH = ΔH (Kj/ Kg) ×ρ<sub>GN</sub>

Paramètres	Valeurs obtenus et données
ΔH	640.66 Kj / Kg.
ρ <sub>GN</sub>	1.0006 Kg/ Nm <sup>3</sup> =1,83Lb/ Nm <sup>3</sup>
<b>ΔH</b>	<b>507,42 BTU/Nm<sup>3</sup></b>
D'après l'équation(8) <b>t<sub>r</sub> = H<sub>f</sub> / ΔH×M<sub>GN</sub></b>	
H <sub>f</sub>	1.03×10 <sup>7</sup> BTU
ΔH	507,42BTU/Nm <sup>3</sup>
M <sub>GN</sub>	2132.19 Nm <sup>3</sup> /hr.
<b>t<sub>r</sub></b>	<b>10,4406 hr</b>

**H<sub>f</sub>**: La chaleur fournie par le four pour le GN exprimée en (BTU / Nm<sup>3</sup>).

**M<sub>GN</sub>**: Le débit du GN sortant du four exprimé en (Nm<sup>3</sup>/hr).

**ΔH<sub>(T<sub>e</sub>- T<sub>ads</sub>)</sub>**: La déférence de l'enthalpie du gaz (BTU / Nm<sup>3</sup>)

**B-8-Calcul de la chaleur fournie par le four par de H<sub>f</sub> / CYCLE: [36]**

$$t_r = 10,4406 \text{ hr.}$$

$$H_f = 1.03 \times 10^7 \text{ BTU.}$$

$$t_{ads} = 37,15 \text{ hr.}$$

D'après l'équation (9) : **H<sub>f</sub> / CYCLE = 3.03×10<sup>6</sup> BTU / hr**

**B-9- Calcul du temps de refroidissement du tamis « t<sub>ref</sub> » :**

D'après l'équation (10) :

$$Q_{\text{totale}} = 3.96 \times 10^6 \text{ BTU.}$$

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

$$Q_{\text{tamis}} = 7.14 \times 10^5 \text{ BTU.}$$

$$t_r = 10,4406 \text{ hr.}$$

$$t_{\text{ref}} = 5,02 \text{ hr} \cong 5 \text{ hr}$$

**B-10- Calcul de la chaleur soutirée au système Q<sub>ref</sub> :**

D'après l'équation (11):

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

$$Q_{\text{tamis}} = 7.14 \times 10^5 \text{ BTU.}$$

$$t_{\text{ref}} = 5,02 \text{ hr.}$$

$$Q_{\text{ref}} = 3.77 \times 10^4 \text{ BTU/ hr}$$

**C- Calcul du bilan de matière de la régénération : [36]**

**C-1- Calcul du débit du gaz de refroidissement :**

Paramètres	Valeurs obtenus et données
D'après l'équation (12) $M_{\text{ref}} = Q_{\text{ref}} / \Delta H_{(T_s - T_e)}$	
Q <sub>ref</sub>	3.77 × 10 <sup>4</sup> BTU/ hr.
ΔH <sub>(T<sub>s</sub> - T<sub>e</sub>)</sub>	507,42 BTU/ Nm <sup>3</sup>
T <sub>s</sub>	227 °C = 440.6 °F = 500 °K
T <sub>E</sub>	12.7 °C = 54.86 °F = 285.7 °K
M <sub>ref</sub>	710.25 Nm <sup>3</sup> /hr

**D- Calcul des pertes de charge : [36]**

Calcul de la perte de charge ΔP/L<sub>1</sub> pour le GN chaud :

- Le gaz naturel de Réchauffage : T = 280 °C P = 4.5 kg / cm<sup>2</sup>

- Calcul de la masse volumique du GN :

$$\rho_{\text{GN}} = (P \times M_{\text{GN}}) / (Z \times R \times 1)$$

-Calcul du coefficient de compressibilité (Z) :

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

Avec P est la pression du travail exprimé en Psia .

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

$$Z = 1.03$$

$$M_{GN} = 18.8806 \text{ Kg} / \text{K mole}.$$

$$T = 280 \text{ }^\circ\text{C} = 553 \text{ }^\circ\text{K}.$$

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

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

$$\rho_{GN} = 1.94 \text{ Kg} / \text{m}^3.$$

**-Calcul de la vitesse superficielle  $U_1$  à travers le lit: [36]**

$$S = (\pi \times D^2) / 4 . \text{ (Annexe 6)}$$

$$S = 5.411 \text{ ft}^2$$

$$\rho_{GN} = 1.94 \text{ Kg} / \text{Nm}^3 = 0.11 \text{ Lb} / \text{ft}^3 .$$

$$M_g = 2132.19 \text{ Nm}^3 / \text{hr} = 3.92 \times 10^3 \text{ Lb} / \text{hr}$$

$$U_1 = M_g / (60 \times S \times \rho_{GN}) \bullet \text{ donc } U_1 = 103.26 \text{ ft} / \text{min}.$$

**-Calcul de la viscosité du GN chaud  $\mu_1$ :**

- Le gaz naturel de refroidissement :  $T = 12.7 \text{ }^\circ\text{C}$   $P = 4.5 \text{ kg} / \text{cm}^2$

- Calcul de la masse volumique du GN  $\rho_{GN}$  [34]

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

$$d_r = M_{GN} / M_{air} = 0.81$$

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

$$\mu_1 = 0.02 \text{ Cp} = 0.043 \text{ Lb} / \text{ft} . \text{hr. (Annexe7)}.$$

D'après l'équation (13)  $\Delta P / L_1 = 0.42 \text{ psi} / \text{ft}.$

**Calcul de  $Re_1$ :**

$$D_p = 0.01 \text{ ft} .$$

$$\mu_1 = 0.02 \text{ Cp} = 0.04 \text{ Lb} / \text{ft} . \text{hr}$$

$$G = M_g / S = 680.54 \text{ Lb} / \text{ft}^2 . \text{hr}$$

D'après l'équation (14).  $R_{el} = 166.58$

Calcul de la perte de charge  $\Delta P/L_2$  pour le GN froid : [36]

- Calcul du coefficient de compressibilité (Z) : [ 34], [38]

$$Z = f ( T_r, P_r )$$

$$T_r = T / T_c \quad P_r = P / P_c$$

$T_c, P_c$  : paramètres pseudo critiques.

$T_r, P_r$  : température et pression réduites.

$$T_c = \sum Y_i \times T_{ci} \quad T_c = 194.3^\circ\text{K.}$$

$$P_c = \sum y_i \times P_{ci} \quad P_c = 45.12 \text{ atm}$$

Paramètres	Valeurs obtenus et données
$Z = f ( T_r = 1.47 ; P_r = 0.1 )$ . Et selon l'annexe (8 et 9) :	
<b>Z</b>	<b>0.91 Kg / m<sup>3</sup></b>
$M_{GN}$	18.8806 Kg / K mole.
T	12.7°C = 285.7 °K.
P	4.5 kg / cm <sup>2</sup> = 4.44 atm
R	0.082 l. atm / mole . °K .
$\rho_{GN}$	<b>4.05 Kg / m<sup>3</sup>.</b>

Calcul de la vitesse superficielle  $U_2$  à travers le lit : [36]

$$S = (\pi \times D^2) / 4 .$$

$$S = 5.411 \text{ ft}^2$$

$$\rho_{GN} = 4.05 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 0.25 \text{ Lb} / \text{ft}^3 .$$

$$M_g = M_{ref} = 710.25 \text{ Nm}^3/\text{hr} = 1.3103 \times 10^3 \text{ Lb} / \text{hr}$$

$$U_2 = M_g / ( 60 \times S \times \rho_{GN} ) , \text{ donc : } U_2 = 16.64 \text{ ft} / \text{min}$$

**-Calcul de la viscosité du GN froid  $\mu_2$ : [36**

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

$$d_r = M_{GN} / M_{air} = 0.81$$

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

$$\mu_2 = 0.01 \text{ Cp} = 0.03 \text{ Lb} / \text{ft} \cdot \text{hr. (Annexe7).}$$

$$\text{D'après l'équation (13). } \Delta P / L_2 = 3.36 \cdot 10^{-2} \text{ psi} / \text{ft}$$

**Calcul de  $R_{e2}$ : [2]**

$$D_p = 0.01 \text{ ft. (Annexe 6).}$$

$$\mu_2 = 0.01 \text{ Cp} = 0.03 \text{ Lb} / \text{ft} \cdot \text{hr. (Annexe 7)}$$

$$G = M_g / S = 241.73 \text{ lb} / \text{ft}^2 \cdot \text{hr}$$

$$\text{D'après l'équation (14). } R_{e2} = 91.35$$

**Tableau IV-6:** recapitulation des résultats

Les valeurs calculées	Les valeurs de design
D =2.3 m	D =2.10 m
Mt =4663 Kg	Mt=4653 Kg
H <sub>t</sub> =2.15 m	H <sub>t</sub> =2. 1 m
H <sub>f</sub> =1.3 ×10 <sup>7</sup> BTU/hr = 2589239 Kcal /hr	0.15×10 <sup>6</sup> < H <sub>f</sub> < 3.3×10 <sup>6</sup> Kcal /hr
t <sub>r</sub> = 10.4406hr	t <sub>r</sub> = 11 hr
t <sub>ref</sub> = 5.02 hr	t <sub>ref</sub> = 5 hr
M <sub>g</sub> = 2132.19Nm <sup>3</sup> /hr M <sub>ref</sub> = 710.25 Nm <sup>3</sup> /hr	1000 <Débit < 2500 Nm <sup>3</sup> /hr
$\Delta P_1 / L = 0.42 \text{ psi} / \text{ft}$ $\Delta P_2 / L = 0.0336 \text{ psi} / \text{ft}$	0.01 < $\Delta P / L$ < 0.25 psi /ft
Re <sub>1</sub> = 166.58                      Re <sub>2</sub> = 91.35	Re > 100
t <sub>ads</sub> = 37.15 hr	t <sub>ads</sub> = 36 hr

Vu l'efficacité de la méthode de calcul établie, on conclut que cette dernière est valable et justifiée, vis-à-vis les résultats obtenus.

**VI-7-Etude des solutions :****VI-7-1- Etude du premier cas :**

En vue d'optimiser le temps d'adsorption, on procède au calcul du temps pour 30 ppm.

**A-Calcul le débit d'eau :**

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

$D_L$  : le diamètre du lit. ( $D_L=2.15 \text{ m}=7.11 \text{ ft}$ ).

$Y_{in}$  : 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,  $Y_{in} = 30 \text{ ppm}$

$$q_w = 0,24 \text{ ( Lb/ft}^2\text{.hr)}.$$

**B-Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse : [36]**

$$H_z = (225 \times q_w^{0.7895}) / (U_{act}^{0.5506} \times Y_{in}^{0.2646})$$

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

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

$Y_{in}$  : la teneur en eau dans la charge de GPL,  $Y_{in} = 30 \text{ ppm}$

$$H_z = 21 \text{ inch} = 1,055 \text{ ft} = 0,3216 \text{ m}$$

**C-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 ( $H_t=2.15 \text{ m}=7.11 \text{ ft}$ ).

$$H_s = 5,8 \text{ ft} = 1,77 \text{ m}$$

**D- Estimation de la quantité d'eau adsorbée  $M_{ads}$  : [36]**

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

$X_s$  : la capacité d'adsorption à l'équilibre neuf à 25°C,  $X_s = 22\%$  en poids (Annexe 6).

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

$C$  : Constante relative aux tamis moléculaire.

$$M_{ads} = 879,4 \text{ Lb}$$

C'est une quantité d'eau qui devrait être adsorbée 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  $C=0.45$ .

**E- Calcul du temps d'adsorption :**

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

$$t_{ads} = 163,29 \text{ hr}$$

$Y_{in}$  : 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 ).

**F- Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant ( $X$ )**

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

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

$$X = 13,5 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de dessicant}$$

**G- Détermination de l'efficacité d'adsorption :**

$$E_{ff} = X / X_s$$

$$E_{FF} = 92,4$$

**H- Calcul du bilan thermique : [36]****- Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption  $Q_{des}$  :**

La quantité d'eau adsorbée  $M_{ads} = 879,4$  Lb.

La chaleur de désorption  $\Delta H = 1800$  BTU/Lb. (Annexes 5).

D'après l'équation (2) :  $Q_{des} = 2097115$  BTU

-Calcul des perte de chaleur  $Q_{\text{perte}}$  :

Paramètres	Valeurs obtenus et données
$Q_{\text{acier}}$	$1.03 \times 10^6$ BTU.
$Q_{\text{tamis}}$	$7.14 \times 10^5$ BTU.
$Q_{\text{des}}$	$2.15 \times 10^6$ BTU..
D'après l'équation (5)	
$Q_{\text{perte}}$	<b><math>3.9 \times 10^5</math> BTU</b>

$Q_{\text{des}}$  : la chaleur de désorption

$Q_{\text{tamis}}$  : la chaleur de chauffage du tamis

$Q_{\text{acier}}$  : la chaleur de chauffage de l'acier

-Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération  $Q_{\text{totale}}$  : [36]

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

$$Q_{\text{totale}} = 4.78 \times 10^6 \text{ BTU}$$

-Calcul de la chaleur fournie par le four  $H_f$  : [37].

D'après l'équation (7) :

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

$$1/\varepsilon = 0.39$$

$$Q_{\text{totale}} = 4.78 \times 10^6 \text{ BTU}$$

$$H_f = 1.65 \times 10^7 \text{ BTU / hr}$$

-Calcul du temps de réchauffage du tamis «  $t_r$  » :

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

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

$\Delta H_{(T_e - T_{\text{ads}})}$  : La différence de l'enthalpie du gaz de réchauffage ( $\text{BTU} / \text{Nm}^3$ ) (Annexe 5).

$$H_f = 1.65 \times 10^7 \text{ BTU / hr}$$

$$\Delta H = 507,42 \text{ BTU}/\text{Nm}^3.$$

$$M_{\text{GN}} = 2000 \text{ Nm}^3/\text{hr}. \text{ Donc } : t_r = 11,36 \text{ hr}$$

-Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle  $H_{F/CYCLE}$  : [36]

$$t_r = 10,81 \text{ hr.}$$

$$H_f = 1.65 \times 10^7 \text{ BTU / hr.}$$

$$t_{ads} = 163,29 \text{ hr.}$$

D'après l'équation ( 9 ) :

$$H_{F/CYCLE} = 7.8 \times 10^5 \text{ BTU / hr}$$

-Calcul du temps de refroidissement du tamis «  $t_{ref}$  » :

Paramètres	Valeurs obtenus et données
D'après l'équation ( 10 ) : $t_{ref} = (( Q_{tamis} + Q_{acier} ) / Q_{totale} ) \times t_r$	
$Q_{totale}$	$4.78 \times 10^6 \text{ BTU.}$
$Q_{acier}$	$1.03 \times 10^6 \text{ BTU}$
$Q_{tamis}$	$7.14 \times 10^5 \text{ BTU}$
$t_r$	11.36 hr.
$T_{ref}$	<b>4,8 hr <math>\cong</math> 5 hr</b>

-Calcul de la chaleur soutirée au système  $Q_{ref}$  : [36]

Paramètres	Valeurs obtenus et données
D'après l'équation ( 11 )	
$Q_{ref}$	<b><math>3.55 \times 10^5 \text{ BTU/hr}</math></b>

I- Calcul du bilan de matière de la régénération :

-Calcul du débit du gaz de refroidissement : [36]

Paramètres	Valeurs obtenus et données
D'après l'équation ( 12 ) : $M_{ref} = Q_{ref} / \Delta H_{(Ts - Te)}$	
$Q_{ref}$	$3.55 \times 10^5 \text{ BTU/hr}$
$\Delta H_{(Ts - Te)}$	$507,42 \text{ BTU/Nm}^3.$
$T_S$	$227 \text{ }^\circ\text{C} = 440.6 \text{ }^\circ\text{F} = 500 \text{ }^\circ\text{K}$
$T_E$	$12.7 \text{ }^\circ\text{C} = 54.86 \text{ }^\circ\text{F} = 285.7 \text{ }^\circ\text{K}$
$M_{ref}$	<b><math>708.7 \text{ Nm}^3/\text{hr.}</math></b>

**J/ Calcul des pertes de charges :**

**-Calcul de la perte de charge  $\Delta P/L_1$  pour le GN chaud : [36]**

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

$$S = (\pi \times D^2) / 4 .$$

$$S = 5.41 \text{ ft}^2 .$$

$$\rho_{GN}=1.77 \text{ Kg} / \text{ m}^3 = 0.11 \text{ Lb} / \text{ ft}^3 .$$

$$M_g = 2000 \text{ Nm}^3 / \text{ hr} = 3.68 \times 10^3 \text{ Lb} / \text{ hr} .$$

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

$$U_1 = 103.09 \text{ ft} / \text{ min} .$$

**-Calcul de la viscosité du GN chaud  $\mu_1$  : [36]**

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

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

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

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

$$\mu_1 = 0.02 \text{ Cp} . \quad (\text{Annexe 7}).$$

D'après l'équation (13).

$\Delta P/L$  : 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.

$$A = 0.0561, B = 0.0000889.$$

$$\Delta P/L_1 = 0.25 \text{ psi} / \text{ ft} .$$

**-Calcul de  $R_{e1}$  :**

$$D_p = 0.01 \text{ ft} .$$

$$\mu_1 = 0.02 \text{ Cp} = 0.04 \text{ Lb} / \text{ ft} . \text{ hr} . (\text{Annexe 7}).$$

$$G = M_g / S = 680.37 \text{ Lb} / \text{ ft}^2 . \text{ hr} .$$

D'après l'équation ( 14 ) .

$$R_{e1} = 166.1$$

-Calcul de la perte de charge  $\Delta P/L_2$  pour le GN froid : [36]

-Calcul de la vitesse superficielle  $U_2$  à travers le lit :

$$S = (\pi \times D^2) / 4.$$

$$S = 5.411 \text{ ft}^2.$$

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

$$M_g = M_{ref} = 709.25 \text{ Nm}^3/\text{hr} = 1.31 \cdot 10^5 \text{ Lb} / \text{hr}.$$

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

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

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

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

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

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

$$\mu_2 = 0.01 C_p = 0.03 \text{ Lb} / \text{ft} \cdot \text{hr} \text{ (Annexe 7)}.$$

D'après l'équation ( 13 ).

$$\Delta P/L_2 = 0.03 \text{ psi} / \text{ft}.$$

-Calcul de  $R_{e2}$ :

$$D_p = 0.01 \text{ ft} \text{ (Annexe 6)}.$$

$$\mu_2 = 0.01 C_p = 0.03 \text{ Lb} / \text{ft} \cdot \text{hr} \text{ (Annexe 7)}$$

$$G = M_g / S = 241.28 \text{ lb} / \text{ft}^2 \cdot \text{hr}.$$

D'après l'équation ( 14 ).

$$R_{e2} = 91.07$$

**Interprétation des résultats :**

A travers les résultats obtenus, et suite à la modification du temps d'adsorption du déshydrateur de charge de 36 heures ( le temps de design ), le temps obtenu après les calculs correspond à 163 heures et 17 minutes, et la durée de régénération 11 heures et 21 minutes pour le réchauffage , 4 heures et 48 minutes pour le refroidissement .

**VI-7-2- Etude de la deuxième cas :**

Dans ce cas nous avons basée sur l'optimisation des paramètres de la régénération sans modifier le temps d'adsorption ( 36 hr ) ..

**A -Calcul le débit d'eau : [36]**

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

$Y_{in}$  : la teneur en eau dans la charge de GPL,  $Y_{in} = 30 \text{ ppm}$  .

$$q_w = 0,24 \text{ ( Lb/ft}^2\text{.hr)}.$$

**B - Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse : [36]**

$$H_z = (225 \times q_w^{0.7895}) / (U_{act}^{0.5506} \times Y_{in}^{0.2646}).$$

$$H_z = 12,88 \text{ inch} = 0.647\text{ft} = 0.972 \text{ m}$$

**C- Estimation de la quantité d'eau adsorbée  $M_{ads}$  :**

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

$$M_{ads} = 258,15 \text{ Lb}$$

**D- Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre :**

$$H_s = H_t - H_z. \longrightarrow (21)$$

**E-Calcul de la hauteur non utilisée ,  $H'$  :  $H_s = 4,37 \text{ ft} = 1.33 \text{ m}$** 

$$H' = H_t - H_s.$$

$$H' = 2,52 \text{ ft} = 0.76 \text{ m}$$

**F- Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant ( $X$ ) :**

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

$$X = 13,72 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de dessicant}$$

**G- Détermination de l'efficacité d'adsorption :**

$$E_{ff} = X / X_s$$

$$E_{ff} = 0,93$$

**-Calcul du bilan thermique : [36]****-Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption  $Q_{des}$  :**

La quantité d'eau adsorbée  $M_{ads} = 258,15\text{Lb}$ .

La chaleur de désorption  $\Delta H = 1800\text{ BTU/Lb}$ .

D'après l'équation ( 2 ) :

$$Q_{des} = 4.9 \times 10^5 \text{ BTU}$$

**-Calcul des perte de chaleur  $Q_{perte}$  :**

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

$$Q_{tamis} = 7.14 \times 10^5 \text{ BTU.}$$

$$Q_{des} = 4.9 \times 10^5 \text{ BTU.}$$

D'après l'équation ( 5 ) :

$$Q_{perte} = 2.7 \times 10^5 \text{ BTU}$$

**-Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération  $Q_{totale}$  : [36]**

D'après l'équation ( 1 ) :

$$Q_{totale} = 2.98 \times 10^6 \text{ BTU}$$

**-Calcul de la chaleur fournie par le four  $H_f$  : [37].**

D'après l'équation ( 7 ) :  $H_f = Q_{totale} / (1/\varepsilon)$

$$1/\varepsilon = 0.3898.$$

$$Q_{totale} = 2.98 \times 10^6 \text{ BTU.}$$

$$H_f = 6.81 \times 10^6 \text{ BT}$$

**-Calcul du temps de réchauffage du tamis «  $t_r$  » : [36]**

D'après l'équation ( 8 ) :

$$H_f = 6.81 \times 10^6 \text{ BTU}$$

$$\Delta H = 507,42 \text{ BTU/Nm}^3.$$

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

$$t_r = 6,7 \text{ hr}$$

**-Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle  $H_F/CYCLE$  : [36]**

$$t_r = 6,7 \text{ hr.}$$

$$H_f = 6.81 \times 10^6 \text{ BTU.}$$

$$t_{ads} = 36 \text{ hr.}$$

D'après l'équation ( 9 ) :  $H_F/CYCLE = 1.59 \times 10^6 \text{ BTU}$

**-Calcul du temps de refroidissement du tamis « t<sub>ref</sub> » :**

D'après l'équation ( 10 ) :

$$Q_{\text{totale}} = 2.98 \times 10^6 \text{ BTU.}$$

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

$$Q_{\text{tamis}} = 7.14 \times 10^5 \text{ BTU .}$$

$$t_r = 6,7 \text{ hr.}$$

$$T_{\text{ref}} = 8,40 \text{ hr}$$

**-Calcul de la chaleur soutirée au système Q<sub>ref</sub> :**

D'après l'équation (11) :

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

$$Q_{\text{tamis}} = 7.14 \times 10^5 \text{ BTU.}$$

$$T_{\text{ref}} = 8,40 \text{ hr .}$$

$$Q_{\text{ref}} = 4.1 \times 10^5 \text{ BTU/hr}$$

**I- Calcul du bilan de matière de la régénération : [36]****-Calcul du débit du gaz de refroidissement :**

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

$$Q_{\text{ref}} = 4.1 \times 10^5 \text{ BTU/hr.}$$

$$\Delta H_{(T_s - T_e)} = 507,42 \text{ BTU/Nm}^3.$$

$$T_s = 227 \text{ }^\circ\text{C} = 440.6 \text{ }^\circ\text{F} = 500 \text{ }^\circ\text{K} .$$

$$T_e = 12.7 \text{ }^\circ\text{C} = 54.86 \text{ }^\circ\text{F} = 285.7 \text{ }^\circ\text{K} .$$

$$M_{\text{ref}} = 709.75 \text{ Nm}^3/\text{hr.}$$

**Interprétation des résultats :**

Au terme de ces résultats nous avons remarquer une diminution du temps de chauffage jusqu'à 6 heures 42 minutes et 8 heures 24 minutes pour le refroidissement sans troubler la durée du cycle d'adsorption de 36 heures .

**VI-7-3- Etude de la troisième cas :**

Dans ce cas on va travailler sur la diminution de la masse du tamis , sans modifier ni le cycle d'adsorption ni de la régénération pour la teneur en eau de **Y<sub>in</sub>=30 ppm** . .

**A- Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse : [36]**

$$H_z = (225 \times q_w^{0.7895}) / (U_{act}^{0.5506} \times Y_{in}^{0.2646}) .$$

$$H_z = 12,88 \text{ inch} = 0.64 \text{ ft} = 0.19 \text{ m}$$

**B- Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre :**

d'après l'équation (26) on aura :  $M_{ads} = Y_{in} \times \rho_{GPL} \times Q \times t_{ads} = 257.65 \text{ Lb}$

$$H_s = [ ( 127.38 \times M_{ads} ) / ( X_s \times \rho_{tamis} \times D_L^2 ) ] + ( C \times H_z ) .$$

$$H_s = 5,37 \text{ ft} = 1.63 \text{ m}$$

**C- Calcul de la hauteur totale du tamis H<sub>t</sub>**

$$H_t = H_s + H_z$$

$$H_t = 6,4 \text{ ft} = 1.95 \text{ m}$$

**D- Calcul du bilan thermique : [12]**

**-Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage du tamis Q<sub>tamis</sub> : [36]**

**-Calcul de la masse du tamis m<sub>t</sub> :**

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

$$D_L = 2.1 \text{ m} = 6.89 \text{ ft}$$

$$H_t = 6,4 \text{ ft}$$

$$\rho_{tamis} = 641 \text{ kg} / \text{m}^3 = 40.02 \text{ Lb} / \text{ft}^3$$

$$T = 533 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$m_t = 9.31 \times 10^3 \text{ Lb.}$$

**-Calcul de la température moyenne du lit en fin de chauffage :**

$$T_S = 227 \text{ }^\circ\text{C} = 440.6 \text{ }^\circ\text{F} = 500 \text{ }^\circ\text{K.}$$

$$T_{e\_} = 280 \text{ }^\circ\text{C} = 536 \text{ }^\circ\text{F} = 553 \text{ K.}$$

$$\text{D'après l'équation ( 6 ) : } T = 200.5 \text{ }^\circ\text{C} = 392.9 \text{ }^\circ\text{F} = 473.65 \text{ K}$$

$$C_{p_t} = 0.22 \text{ BTU} / \text{Lb.}^\circ\text{F} .$$

$$m_t = 8812 \text{ Lb} .$$

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

$$Q_{tamis} = m_t \times C_{p_t} \times (T - T_{ads})$$

$$Q_{tamis} = 8.12 \times 10^5 \text{ BTU}$$

**-Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q<sub>des</sub> : [36]**

$$\text{La quantité d'eau adsorbée } M_{ads} = 257.65 \text{ Lb.}$$

$$\text{La chaleur de désorption } \Delta H = 1800 \text{ BTU/Lb} .$$

D'après l'équation (2) :

$$Q_{des} = 5.14 \times 10^5 \text{ BTU}$$

**-Calcul des perte de chaleur  $Q_{\text{perte}}$  :**

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

$$Q_{\text{tamis}} = 8.12 \times 10^7 \text{ BTU} .$$

$$Q_{\text{des.}} = 5.12 \times 10^5 \text{ BTU} .$$

D'après l'équation ( 5 ) :

$$Q_{\text{perte}} = 2.7 \times 10^5 \text{ BTU}$$

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

D'après l'équation ( 1 ) :

$$Q_{\text{totale}} = 2.9 \times 10^6 \text{ BTU}$$

**-Calcul de la chaleur fournie par le four  $H_f$  : [37]**

D'après l'équation ( 7 ) :  $H_f = Q_{\text{totale}} / (1/\varepsilon)$

$$1/\varepsilon = 0.3898.$$

$$Q_{\text{totale}} = 2.9 \times 10^6 \text{ BTU} .$$

$$H_f = 6.87 \times 10^6 \text{ BTU}$$

**-Calcul du temps de réchauffage du tamis «  $t_r$  » : [12]**

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

$$H_f = 6.87 \times 10^6 \text{ BTU}$$

$$\Delta H = 507,42 \text{ BTU} / \text{Nm}^3 .$$

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

$$t_r = 6,78 \text{ hr}$$

**-Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle  $H_F / \text{CYCLE}$  : [36]**

$$t_r = 6,78 \text{ hr} .$$

$$H_f = 6.87 \times 10^6 \text{ BTU} / \text{hr} .$$

$$t_{\text{ads}} = 36 \text{ hr} .$$

D'après l'équation ( 9 ) :

$$H_F / \text{CYCLE} = 1.61 \cdot 10^6 \text{ BTU} / \text{hr}$$

**Interprétation des résultats :**

Suite à l'étude de la troisième variante (diminution de la masse du tamis), on peut dire que cette solution n'est pas convenable et elle ne présente pas une économie importante d'énergie contrairement à celle obtenue par la première variante.



**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 quelque 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.

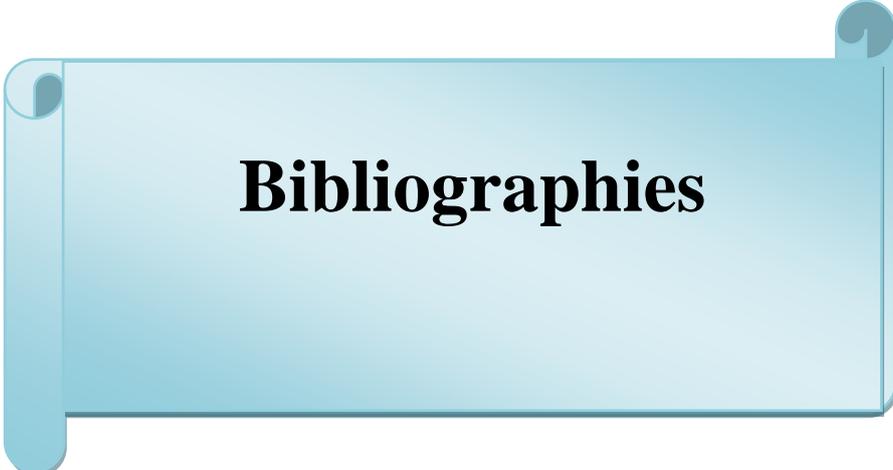
Le design de la section de déshydratation de charge du complexe GP1/Z à été conçu pour une teneur en eau dissoute dans la charge du GPL égale à 100 ppm, avec un temps fixé à 36 heures pour d'adsorption et de 19 heures pour la régénération. Par contre actuellement nous avons remarqué que cette teneur est loin d'être atteinte, ceci est due à une amélioration de la qualité de la charge provenant du sud à 25ppm et dont le temps de traitement sur les tamis moléculaire méritent d'être revu pour son efficacité.

Il est utile d'étudier ce genre de problème afin d'optimiser les paramètres de fonctionnement de la section déshydratation de charge.

Pour le gain d'énergie il me faut :

- Respecter le temps nécessaire d'adsorption.
- La régénération du tamis (vieillesse du tamis provoque des dépôts de coke à haute température).

Cette optimisation nous permettra d'économisée une quantité de GN.

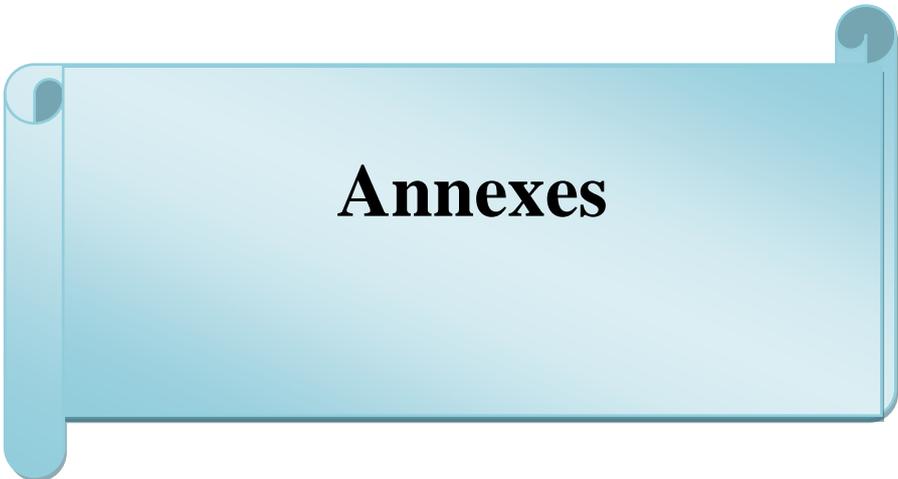


# **Bibliographies**

## Bibliographies:

- [1]. Manuel operatoire ; process : volume 1 et 2 . Document Gp1-Z .
- [2]. P.Wuithier Raffinage et génie Chimique, Edition tech.paris 1972 TOME 1.
- [3]. J. P. Wauquier, procedes de separation, Tome II, Edition Technip, 1998.
- [4]. Engineering Data Book Volume (I) & (II) by GPSA Twelfth Edition (2004).
- [5]. Pipe drafting and design – (second edition). Roy A. Parisher-Robert A. Rhea.
- [6]. F-Ztalatikite: « sumposium binnal» 1997.volume I
- [7]. Natural gas Processing Principles and Technology-partII.April2004-Author :Dr.A. H Younger , P. Eng
- [8]. Catalogue Mécanique "Tuyauterie" volume 19.Document GP1/Z.
- [9]. [www.ace.mmu.ac.uk/eae/french/GlobalWarming/Older/ClimateChange.html](http://www.ace.mmu.ac.uk/eae/french/GlobalWarming/Older/ClimateChange.html).  
[www.ec.gc.gc/energ/oilgas/flaring/flaring\\_exesumm\\_f.mate.htm](http://www.ec.gc.gc/energ/oilgas/flaring/flaring_exesumm_f.mate.htm).
- [10]. Manuel Opérateur GP1/Z, Stockage de la charge, Section 1, Volume 2.
- [11]. Gouvernement du Québec, Les effluents liquides du secteur des raffineries de pétrole, Bilan de conformité environnementale *de 2009*, (2011),
- [12]. Manuel opératoire de l'unité (Gpl2).
- [13]. [www.total.com/...energies/.../specialites-900138.html](http://www.total.com/...energies/.../specialites-900138.html)
- [14]. ] V.G. Snell, "CANDU Safety, - CANDU Nuclear Power Plant Design", AECL, 24 May 2001
- [15]. Sonatrach commercialisation Gaz & développement à l'international, 5<sup>ème</sup> édition, 2012
- [16].Algerian petrolum institue Ipa Spa.
- [17]. Le process de la deshydratation du Gaz. Manuel de formation Cours Exp-PrPr-130 Révision 0.1
- [18]. Déshydratation Bloc 11, module 3.
- [19]. [www.fremer.fr/exploitation/en\\_jeux/hydrates/index.htm/2004/16.04.2011/](http://www.fremer.fr/exploitation/en_jeux/hydrates/index.htm/2004/16.04.2011/) a la découvertes des grands fonds.
- [20]. Coulson and richrdson's. chemical engineering, particles technologies and separation process. fifth edition, volume 2. butterworth heinemann, 2002.1208p. isbn 0-7506-4445-1.
- [21]. A.ROJEY ; « Le gaz naturel : production, traitement et transport »,2004
- [22]. Gaz conditioning fact book, Dow chemical's USA 2008
- [23]. Engineers data book, gas process suppliers association (GPSA), third revision, USA 2003.

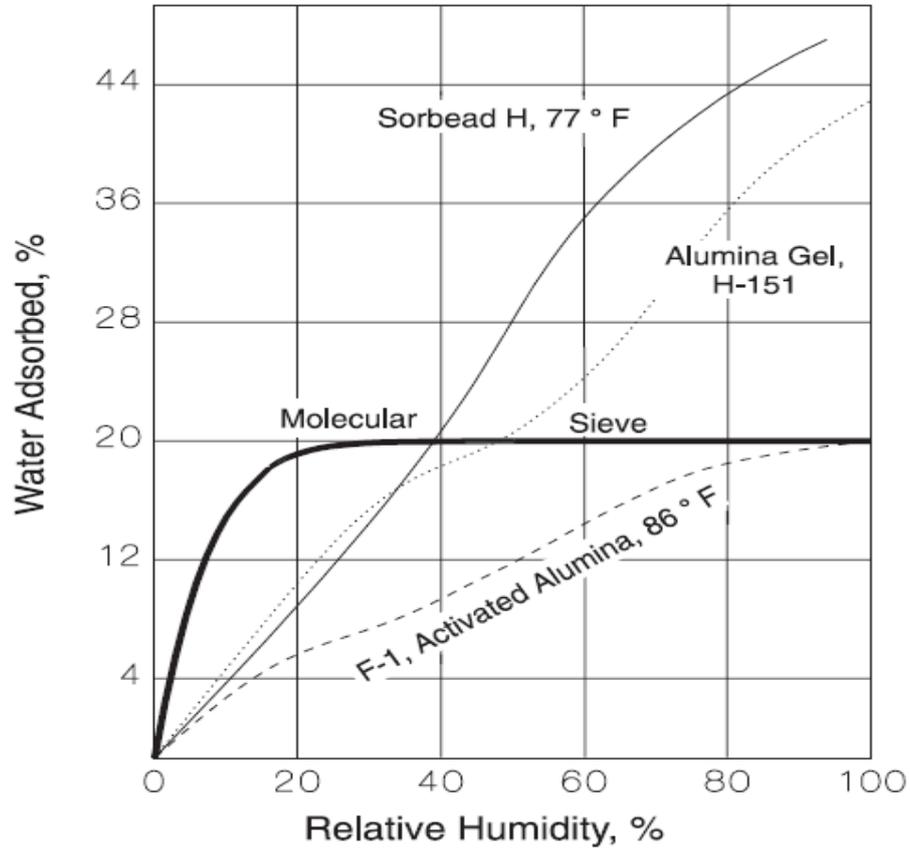
- [24]. Dr. Ulrich Daiminger.;Dr. Waldemar Lind., Adsorption Processes for Natural Gas Treatment A Technology Update, 2004
- [25]. WILLIAMC. LYONS.,- Standard Hand Book of Petroleum and Natural Gas Engineering, Volume1, Texas,2006.
- [26]. etude de l'effet de changement du diamètre des tamis moléculaires sur le système de séchage (Unité Gla / Hbk
- [27]. Kohl & Richard - Gas Purification 5E[1]
- [28]. A. Rojey ; le gaz naturel, production- traitement – transport ; edition technip paris ;1994.
- [29]. Manuel Opérateur GP1/Z, Process, Section 2, Volume 4.
- [30]. Polycope I.A.P “ propane liquide déshydratation usine moléculaire Seive .
- [31]. DATA BOOK Déshydratation and treating. Section 15,9<sup>ème</sup> edition , Rev ( 1974 - 1976).
- [32]. Manuel Opérateur GP1/Z, Utilités, Section 7, Volume 1.
- [33]. Catalogue mécanique, Section 4 Volume 1 et 2.
- [34]. Catalogue mécanique ; manuel : volume 1.Document GP1-Z
- [35]. Catalogue Mécanique ; process 3 : volume 1.IHI GP-1Z.
- [36]. RUTHVEN D. M ; principles of adsorption and adsorption process John Wiley et sons, new York.
- [37]. Formation perfectionnement d'ingénieur
- [38]. Sherwood; propriétés des gaz et liquides



## **Annexes**

## Annexe 01

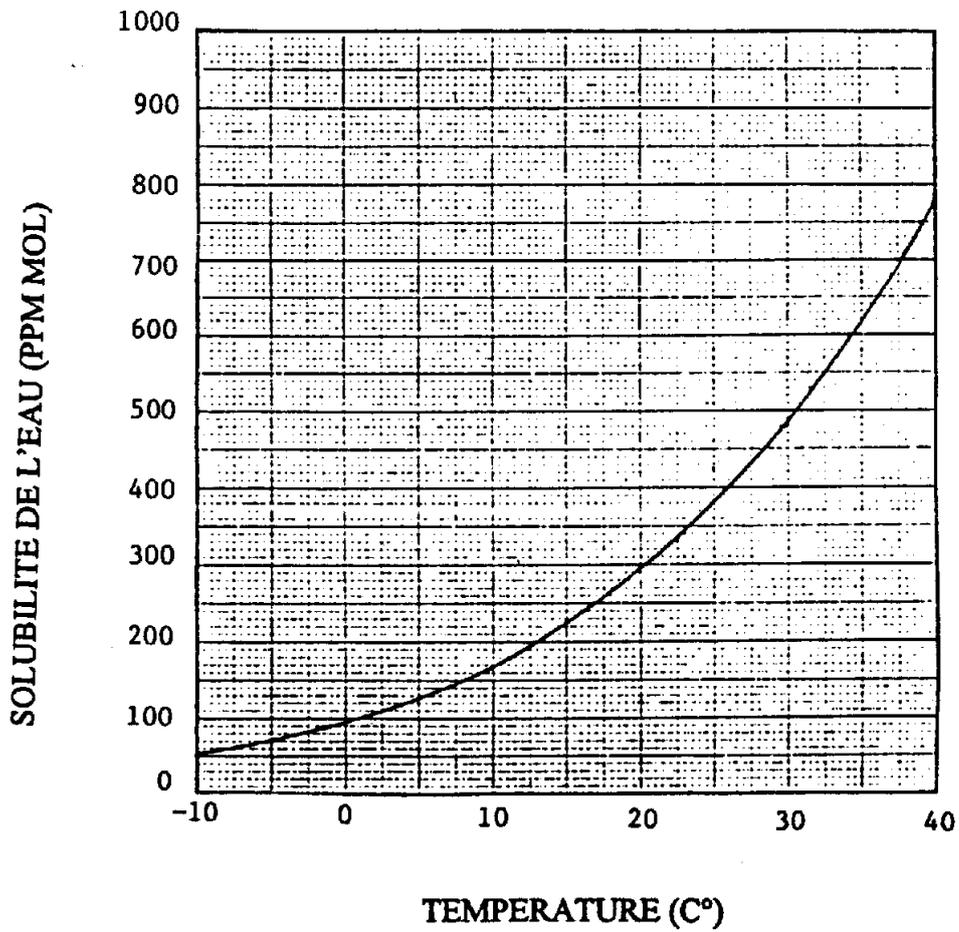
Static Equilibrium Capacity vs. Relative Humidity for Selected Solid Desiccants<sup>43</sup>



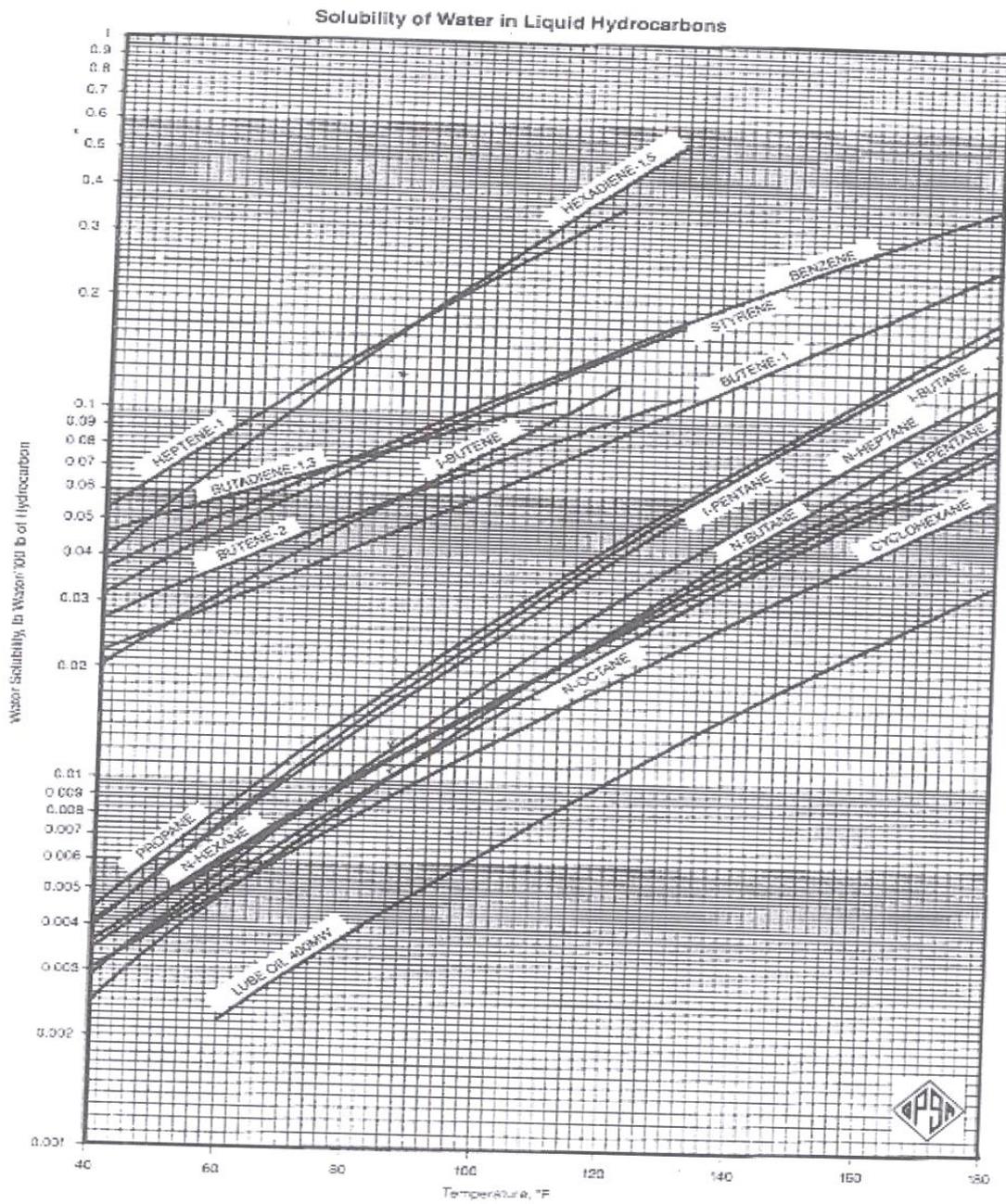
## Annexe 02

### SOLUBILITE DE L'EAU DANS LA CHARGE DE GPL

- Note 1. Calcul selon la procédure API  
2. Source de charge = 13 (moyenne)

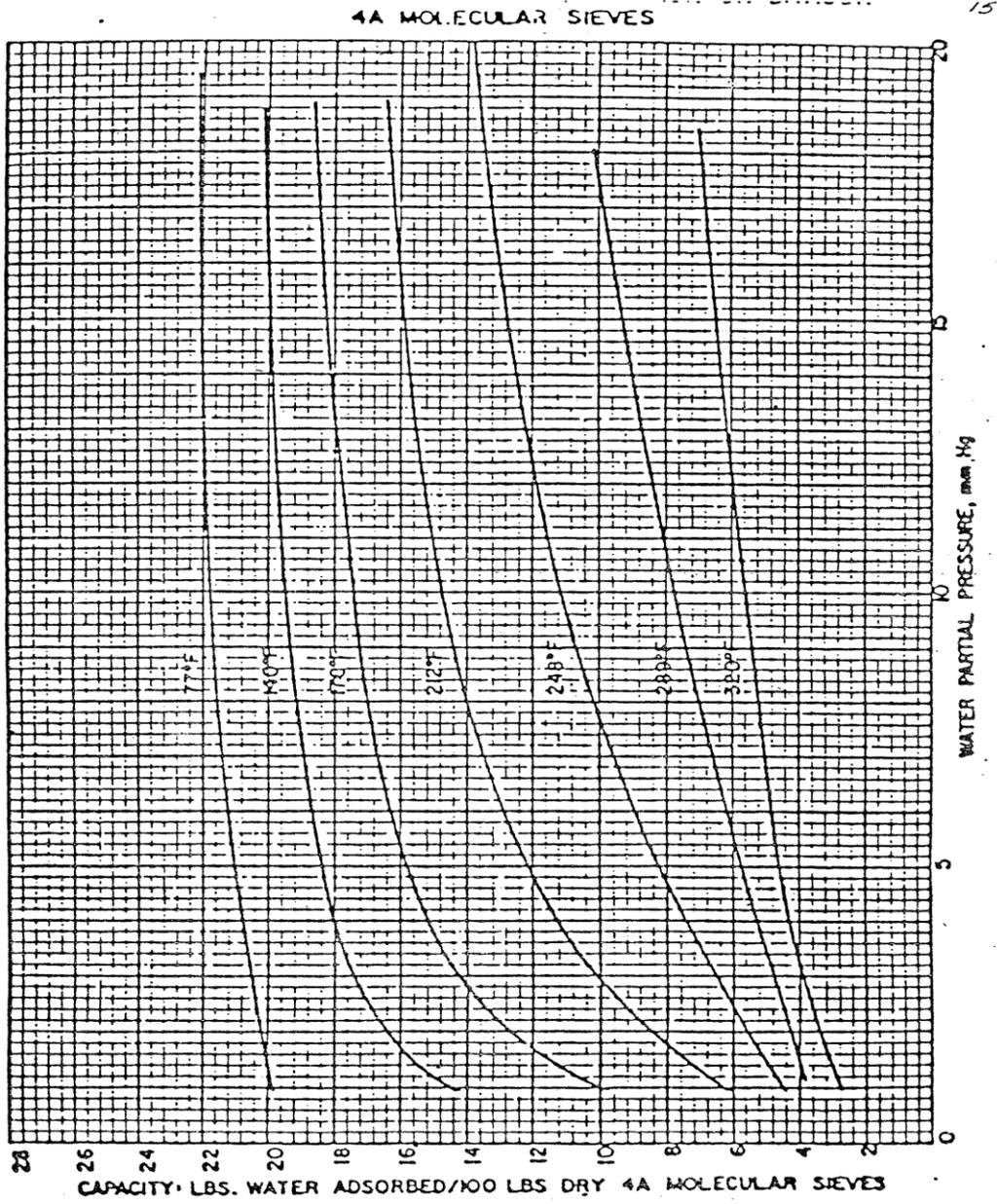


# Annexe 03



La solubilité de l'eau dans les hydrocarbures liquide

Annexe 04



Capacité d'adsorption de l'eau en fonction de température

## Annexe 05

**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>8</sup>	F x 10 <sup>9</sup>	G	Intervalle °C
<i>Non-Hydrocarbonées</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	Ethane	-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	-1,206014	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

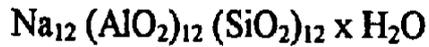
Les unités sont le kJ/kg pour l'enthalpie, le kJ/kg K pour le pouvoir calorifique et l'entropie.

Coefficient de l'équation d'enthalpie H<sup>0</sup>

## Annexe (06)

### PROPRIETES PHYSIQUE DE L'ADSORBANT (TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES)

#### CHEMICAL FORMULA



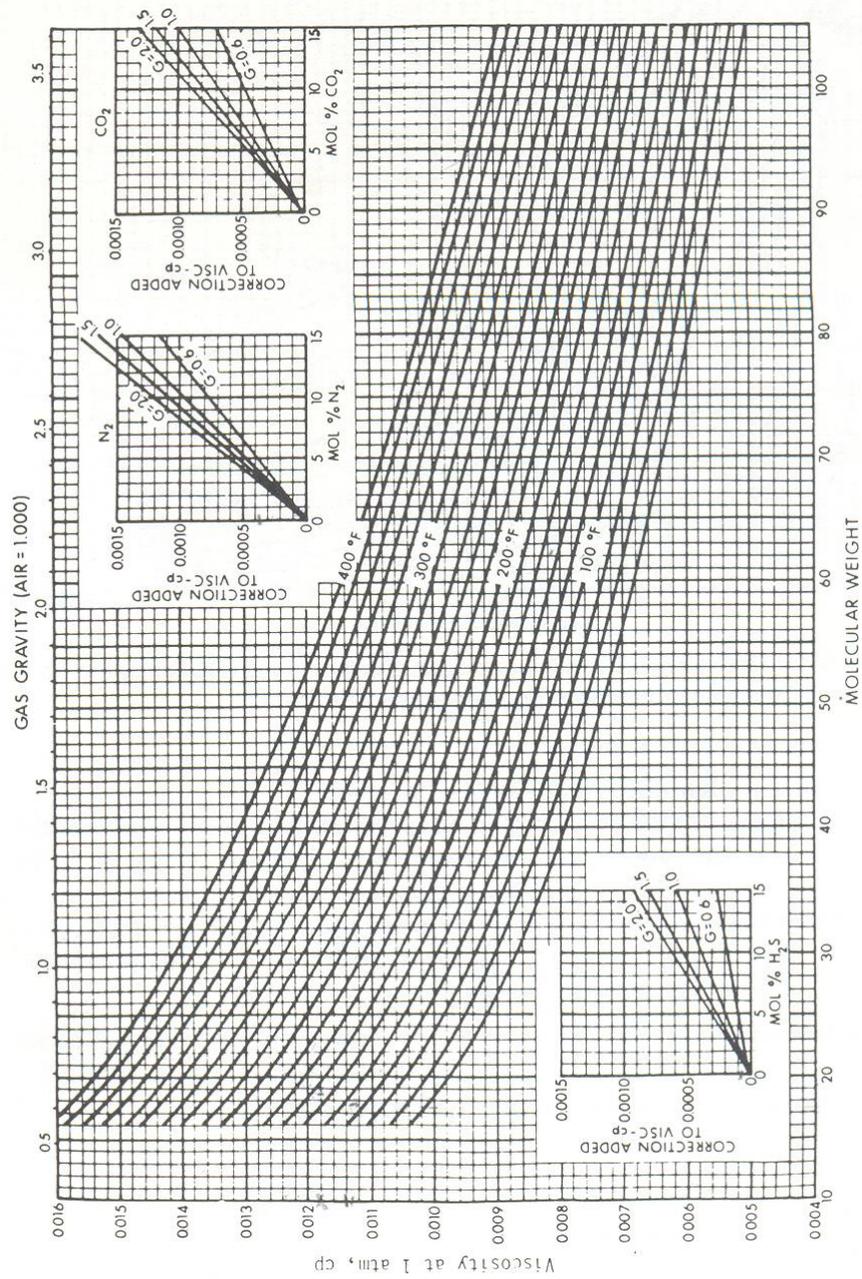
#### Conditions d'expédition

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

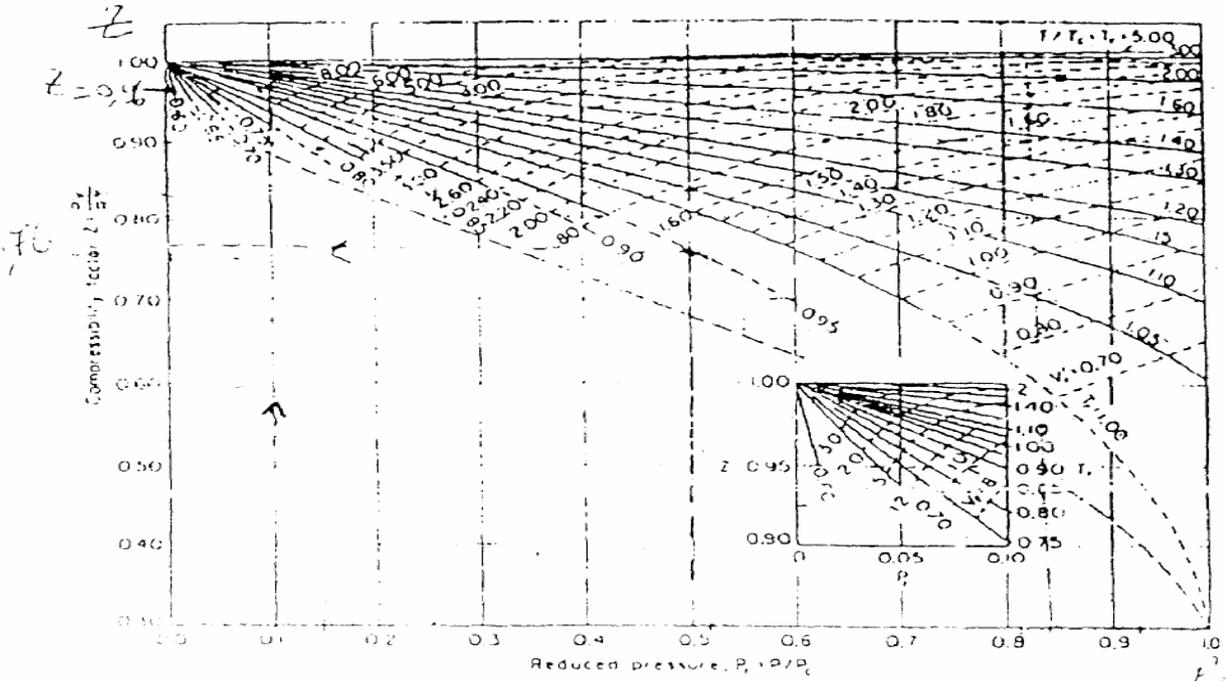
\* En Lbs d'eau/100 lbs d'adsorbant activité à 17,5 mm Hg, 25°C.

### Annexes (07)



**Figure3.** La viscosité  $\mu_g$  du gaz à la pression et température d'intérêt.

# Annexe (08)



12a - General of compressibility charts

$$\frac{V}{V_c} = \frac{Z}{Z_c}$$

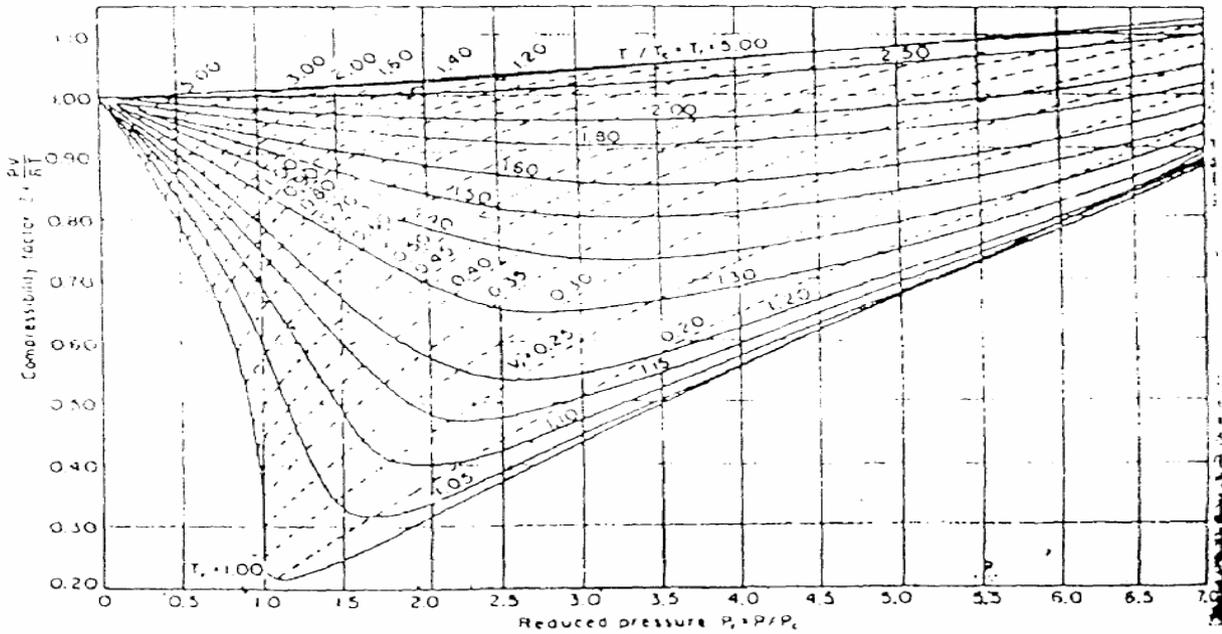


Figure VI- Détermination du coefficient de compressibilité Z.

# Annexe (09)

## 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	See Note No. →  Compound	Formula	A.		B.		C.		D.			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	Critical constants				
								Pressure, psia	Temperature, °F	Volume, ft <sup>3</sup> /lb		
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	

### Résumé

Le Gaz Pétrolier Liquéfié (GPL) est essentiellement constitué de propane et du butane à l'état liquide. Cet état est atteint lorsque le gaz est refroidi à une température d'environ  $-42^{\circ}\text{C}$  pour propane et  $-10^{\circ}\text{C}$  pour le butane à pression atmosphérique.

Le GPL subit plusieurs étapes de traitements successifs : Epuration ; Déshydratation ; séparation; réfrigération. L'enchaînement de ces étapes s'appelle procédé de liquéfaction.

La liquéfaction permet de condenser le GPL en réduisant son volume d'un facteur de près de 150 litres pour un même pouvoir calorifique, ce qui facilite son stockage et son transport par voie maritime..

La présence d'eau entraîne différents problèmes pour l'exploitation, suivant les conditions de température et de pression ; la vapeur d'eau peut se condenser et provoquer la formation des hydrates, se solidifier ou favoriser la corrosion si le gaz contient des composants acides.

Pour éviter ces phénomènes, il est nécessaire de réduire la teneur en eau du GPL au moyen de techniques de traitement appropriées.

La préoccupation au niveau du complexe étant de ramener la teneur en eau dans l'alimentation d'une valeur maximale de 100 ppm à 5 ppm dans la section de déshydratation.

**Mots clés:** gaz pétrolier liquéfié, liquéfaction, traitement de gaz, déshydratation, hydrate.

### Abstract:

Liquefied Petroleum Gas (LPG) consists essentially of propane and butane in liquid form. This state is reached when the gas is cooled to a temperature of about  $-42^{\circ}\text{C}$  to  $-10^{\circ}\text{C}$  and propane to butane at atmospheric pressure.

LPG undergoes several successive stage of treatment: Treatment; dehydration; separation; refrigeration. The sequence of these steps will appeal liquefaction process

Liquefaction condenses LPG reducing its volume by a factor of close to 150 litres for the same calorific value, which facilitates its storage and transportation by sea.

The presence of water causes various problems for the operation, according to the conditions of temperature and pressure; water vapor can condense and cause hydrate formation, solidify or promote corrosion if the gas contains acid components.

To avoid these phenomena, it is necessary to reduce the water content of the GPL by appropriate processing techniques.

The concern at the complex is to bring the water content in the feed to a value of 100 ppm to 5 ppm in the dewatering section.

**Keywords:** Liquefied Petroleum Gas, liquéfaction, treatment of gaz, dewatering, hydrat

### ملخص:

GPL غاز البترول المميع الذي يتكون أساسا من البروبان و البوتان على شكل حالة سائلة يتم التوصل إلى هذه الحالة عن طريق تبريد الغاز إلى درجة حوالي 42- درجة مئوية بالنسبة للبروبان و 10- درجة مئوية بالنسبة للبوتان عند واحد اتموسفير.

غاز البترول المميع يخضع لعدة مراحل متتالية من أجل العلاج تتمثل في : التجفيف، الفصل التبريد ، نزع الماء ، ان تسلسل هذه المراحل يسمى بعملية التميع .  
إن عملية التميع تسمح بتكثيف غاز البترول المميع و تقليل حجمه بمعدل 150 ل من القيمة الحرارية ، مما يسهل عملية تخزينه ونقله .

وجود الماء يتسبب في مشاكل مختلفة لعملية التميع وفقا لظروف درجة الحرارة و الضغط بخار الماء يمكن أن يتكثف و يتسبب في تشكيل الهيدرات ، التصلب ، التآكل إذا كان الغاز يحتوي على مكونات حامضية .  
من أجل تجنب هذه الظواهر، فمن الضروري تقليل المحتوى المائي للـ GPL بواسطة تقنيات المعالجة المناسبة.

من بين أولويات المجمع هو إنقاص كمية الماء من غاز البترول المميع وذلك من 100 جزء في المليون إلى 5 جزء في المليون على مستوى قسم نزع المياه.

كلمات مفتاحية: غاز البترول المميع، التميع، معالجة الغاز، نزع المياه، الهيدرات