



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
People's Democratic Republic of Algeria  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم  
Abdel Hamid Ibn Badis University - Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculty of Sciences and Technology  
قسم هندسة الطرائق  
Department of Process Engineering



**N° d'ordre : M2...../GPE/2021**

## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE**

**Filière : Génie des procédés**

**Option: Génie des procédés de l'environnement**

### **Thème**

## **Optimisation de la déshydratation de la charge d'alimentation GPL**

Présenté par

1-M<sup>elle</sup> HALLOU Sawssene

Soutenu le ...../...../ 2021 devant le jury composé de :

Président:	M <sup>f</sup> R. M. GHEZZAR	Grade Pr	Université de Mostaganem
Examinatrice :	M <sup>me</sup> Z. Mohamed seghir	Grade MAA	Université de Mostaganem
Examinateur :	M <sup>f</sup> B. SMAIL	Grade MAA	Université de Mostaganem
Encadrante :	M <sup>me</sup> N. BOUBEGRA	Grade MCA	Université de Mostaganem
invité :	M <sup>me</sup> K. BELHADJI	Grade MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2020/2021

# ***Dédicace***

**Je dédie ce travail.**

**A mes très chers parents pour leurs sacrifices pour mon bien être et à la mémoire de mes chers grands-mères et grand-père.**

**A mes chers frères, Imad, Louay , Abed el Malek , Abderrahmane .**

**A ma sœur, Asmaa**

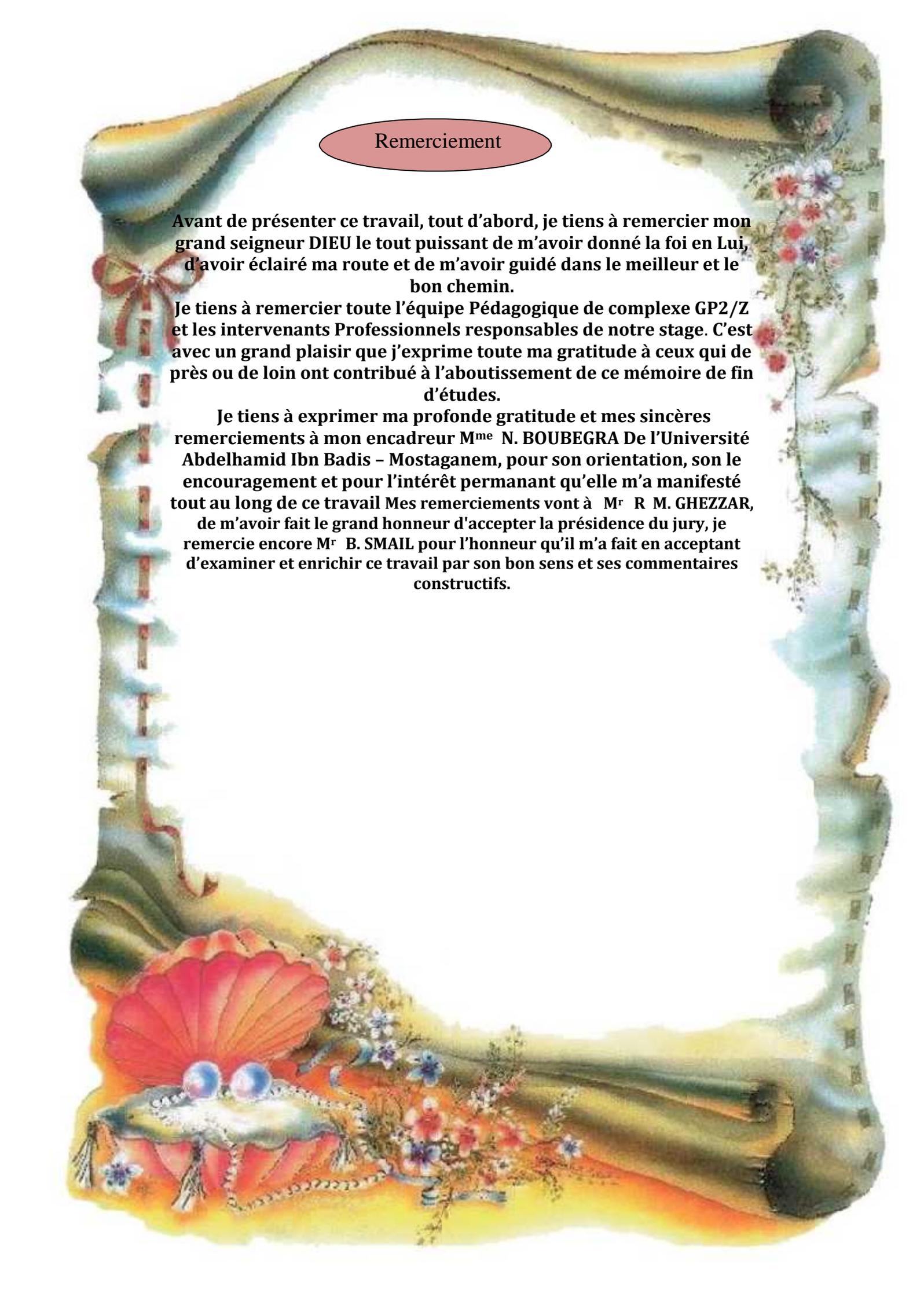
**A toute la grande famille HALLOU et la famille LATROCH**

**A mes meilleures copines Yousra et Hasnia**

**A mon marie Yacine.**

**A tous ceux qui me sont chers.**

***SAWSSENE***



## Remerciement

**Avant de présenter ce travail, tout d'abord, je tiens à remercier mon grand seigneur DIEU le tout puissant de m'avoir donné la foi en Lui, d'avoir éclairé ma route et de m'avoir guidé dans le meilleur et le bon chemin.**

**Je tiens à remercier toute l'équipe Pédagogique de complexe GP2/Z et les intervenants Professionnels responsables de notre stage. C'est avec un grand plaisir que j'exprime toute ma gratitude à ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire de fin d'études.**

**Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadreur M<sup>me</sup> N. BOUBEGRA De l'Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem, pour son orientation, son le encouragement et pour l'intérêt permanent qu'elle m'a manifesté tout au long de ce travail Mes remerciements vont à M<sup>r</sup> R M. GHEZZAR, de m'avoir fait le grand honneur d'accepter la présidence du jury, je remercie encore M<sup>r</sup> B. SMAIL pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'examiner et enrichir ce travail par son bon sens et ses commentaires constructifs.**

# **SOMMAIRE**

## **CHAPITRE I : Introduction et généralité sue le GPL**

I.1	INTRODUCTION.....	1
I.2	NOTIONS GENERALES SUR LES GPL.....	1
I.2.1	L'ORIGINE DES GPL.....	1
I.2.2	LES CARACTERISTIQUES DU GPL.....	1
I.2.3	L'UTILISATION DES GPL .....	2
I.2.4	LES RISQUE DES GPL .....	2
I.3	DESCRIPTION GENERALE DU PROCESS .....	2
I.3.1	PRESENTATION DU COMPLEXE GP2/Z .....	2
I.3.2	SECTION STOCKAGE TAMPON .....	5
I.3.3	SECTION DESHYDRARTION .....	5
I.3.3.1	INTRODUCTION .....	5
I.3.3.2	DONNEES DE BASE .....	6
I.3.4	SECTION SEPARATION .....	6
I.3.5	PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT DES DEUX COLONNES 407/6201/A ET B.....	8
I.3.5.1	PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT EN EXPLOITATION .....	8
I.3.6	LA SECTION DE RÉFRIGÉRATION .....	9
I.3.6.1	LE PROPANE COMMERCIAL .....	9
I.3.6.2	LE BUTANE COMMERCIAL C4 .....	9
I.3.6.3	CIRCUIT DE PROPANE PUR (REFRIGERANT).....	10
I.3.7	SECTION BOIL OFF.....	10
I.3.7.1	CIRCUIT DE RECUPERATION DU PROPANE.....	10
I.3.7.2	CIRCUIT DU PROPANE REFRIGERANT.....	11
I.3.8	SECTION STOCKAGE ET CHARGEMENT: .....	11
I.3.8.1	BUTANE AMBIANT .....	11
I.3.8.2	PROPANE REFRIGERE .....	12
I.3.8.3	BUTANE REFRIGERE .....	12
I.3.9	LES UTILITÉS .....	12

## **CHAPITRE II : déshydratation et régénération**

II.1	DESHYDRATATION .....	13
------	----------------------	----

II.1.1 INTRODUCTION.....	13
II.1.2 PROCEDE DE SECHAGE.....	13
II.1.2.1 SECHAGE PAR ABSORPTION.....	14
II.1.2.2 DESHYDRATATION PAR ADSORPTION.....	14
II.1.2.3DIFFERENTS TYPES D’ADSORBANTS UTILISES POUR LA DESHYDRATATION .....	15
II.2 TAMIS MOLECULAIRES.....	15
II.3DESCRIPTION DU PHENOMENE D’ADSORPTION.....	16
II.2.1 COLONNE D’ADSORPTION .....	16
II.2.2 LA PROCEDURE DE REMPLISSAGE DU SECHEUR .....	17
II.2.3 CONCEPT DE ZONE DE TRANSFERT DE MASSE.....	18
II.3 REGENERATION .....	19
II.3.1 DRAINAGE.....	20
II.3.2 2. DEPRESSURISATION .....	20
II.3.3 CHAUFFAGE.....	20
II.3.4 REFROIDISSEMENT .....	20
II.3.5 REMPLISSAGE .....	20
II.3.6 ATTENTE.....	21
II.4 EFFET DES VARIABLES DE PROCEDE.....	21
II.4.1 TEMPERATURE.....	21
II.4.2 PRESSION .....	21
II.4.3 TENEUR EN HUMIDITE DE LA CHARGE .....	21
II.4.4 DIRECTION DE L’ECOULEMENT .....	22
II.4.5 TYPE ET DIMENSION DU TAMIS .....	22
II.4.6 LES TAMIS MOLECULAIRES.....	23
II.5.1INTRODUCTION.....	23
II.5.2TAMIS MOLECULAIRE SOUS SES DIFFERENTES FORMES.....	23
II.6DESCRIPTION .....	24
II.6.1FICHE TECHNIQUE DU TAMIS MOLECULAIRE.....	24
II.6.2APPLICATION.....	25
II.6.3FORMULE CHIMIQUE.....	25
II.6.4REGENERATION .....	25
II.6.5PROPRIETES DE TAMIS MOLECULAIRE TYPE 4A-DG TRISIV™ 1/8’’ .....	25
II.6.6PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT .....	26
II.6.7COMPOSITION A L’ENTREE.....	26
II.6.8COMPOSITION A LA SORTIE [7] .....	26

## CHAPITRE III : Problématique et vérification du design

III.1PROBLEMATIQUE .....	27
III.2BUT .....	28
III.1INTRODUCTION .....	29
III.1.1DIMENSIONNEMENT DU SECHEUR .....	29
III.1.1.1PROPRIETE DU GPL .....	29
III.1.1.2COMPOSITION DE LA CHARGE .....	29
III.2DIMENSIONNEMENT D'UN DESHYDRATEUR .....	29
III.2.1CALCUL DE LA QUANTITE D'EAU ADSORBEE (BILAN DE MATIERE)	30
III.2.2LA HAUTEUR TOTALE DU LIT .....	30
III.2.2.1Calcul de la vitesse actuelle d'écoulement.....	30
III.2.3Calcul de débit d'eau .....	31
III.2.4Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse.....	31
III.2.4.1Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre .....	31
III.3ESTIMATION DE LA CAPACITE D'ADSORPTION A L'EQUILIBRE.....	31
III.3.1Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessinant .....	32
III.3.2Estimation de la quantité d'eau absorbée Mads .....	32
III.3.3Calcul du temps d'adsorption .....	32
III.3.4Détermination de l'efficacité d'adsorption.....	33
III.4CALCUL DU BILAN THERMIQUE .....	33
III.4.1. Propriété du gaz de régénération.....	33
III.4.1.1.La composition du gaz de régénération.....	33
III.4.2Le gaz naturel de réchauffage .....	33
III.4.2.1Calcul du coefficient de compressibilité (Z) [3] .....	34
III.4.2.2Calcul de la masse volumique du GN .....	34
III.4.2.3Calcul de la capacité calorifique du gaz de chauffage (CPg).....	34
III.4.3le gaz naturel de refroidissement .....	34
III.4.3.1Calcul du coefficient de compressibilité (Z) .....	35
III.4.3.2Calcul de la masse volumique du GN .....	35
III.4.3.3Calcul de la capacité calorifique de refroidissement (CPg) .....	35
III.5BILAN THERMIQUE DES TAMIS .....	35
III.5.1Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage du tamis $Q_{tamis}$ .....	35
III.5.1.1Calcul de la masse du tamis $m_t$ .....	35
III.5.1.2Calcul de la température moyenne du lit en fin de chauffage .....	36
III.5.2Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage de l'acier $Q_{acier}$ .....	36

III.5.3Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption $Q_{deshy}$	.....	37
III.5.4Calcul des pertes de chaleurs $Q_{perte}$	.....	37
III.6Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération $Q_{totale}$	.....	37
III.7Calcul de la chaleur l'économiseur par le four $H_f$	.....	37
III.7.1Calcul de la capacité calorifique moyenne du gaz $C_{Pg\ moye}$	.....	37
III.8CALCUL DU TEMPS DE RECHAUFFAGE DU TAMIS « TR »	.....	38
III.8.1Calcul de l'énergie totale fournie par l'économiseur	.....	38
III.8.2Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis $Q_{tamis}$	.....	38
III.8.3Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier $Q_{acier}$	.....	38
III.8.4Calcul des pertes de chaleur $Q_{perte}$	.....	39
III.8.5Calcul de la chaleur totale réelle consommé par le système « sécheur »	.....	39
III.9Calcul de l'efficacité thermique de l'économiseur EFF'	.....	39
III.10Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur par cycle	.....	39
III.11Calcul du temps de refroidissement du tamis « tref »	.....	40
III.12CALCUL DES PERTES DE CHARGES	.....	40
III.12.1Calcul de la perte de charge $\frac{\Delta P}{L_1}$ pour le GN chaud	.....	40
III.12.1.1calcul de la vitesse superficielle U1 à travers le lit	.....	40
III.12.1.2Calcul de la perte de charge Connaissant la densité relative et la pression de régénération	.....	40
III.12.1.3Calcul du nombre de Reynolds	.....	41
III.12.2Calcul de la perte de charge $\frac{\Delta P}{L_2}$ pour le GN froid	.....	41
III.12.2.1Calcul de la vitesse superficielle U2 à travers le lit	.....	41
III.12.2.2Calcul de perte de charge pour le GN froid	.....	41
III.12.2.3Calcul du nombre de Reynolds	.....	42
III.13RECAPITULATION DES RESULTATS	.....	42

## CHAPITRE IV : Prolongation et réduction du temps d'adsorption

IV.1 La prolongation du temps d'adsorption .....	44
IV.1.1 Calcul du temps d'adsorption .....	44
IV.1.1.1 Calcul de débit d'eau .....	44
IV.1.1.2 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse .....	44
IV.1.1.3 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre .....	44
IV.1.1.4 Estimation de la quantité d'eau absorbée $M_{ads}$ .....	45
IV.1.1.5 Donc le nouveau temps d'adsorption jusqu'à saturation est .....	45
IV.1.2 Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicants ..	45
IV.1.3 Détermination de l'efficacité d'adsorption .....	45
IV.2 CALCUL DU BILAN THERMIQUE .....	46
IV.2.1 Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption $Q_{deshy}$ .....	46
IV.2.2 Calcul des pertes de chaleurs $Q_{perte}$ .....	46
IV.2.3 Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération $Q_{totale}$ .....	46
IV.2.4 Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur $H_f$ .....	46
IV.2.5 Calcul du temps de réchauffage du tamis « tr » .....	47
IV.2.6 Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur par cycle .....	47
IV.2.7 Calcul du temps de refroidissement du tamis « tref » .....	47
IV.3 CALCUL DE LA PERTE DE CHARGE DE $\frac{\Delta P}{L_1}$ POUR LE GN CHAUD .....	48
IV.3.1 Calcul des pertes de charges .....	48
IV.3.1.1 Calcul de la vitesse superficielle $U_1$ à travers le lit .....	48
IV.3.1.2 Calcul de la viscosité du GN chaud $V_{1s}$ .....	48
IV.3.1.3 Calcul du nombre de Reynolds .....	48
IV.3.2 CALCUL DE LA PERTE DE CHARGE DE $\frac{\Delta P}{L_2}$ POUR LE GN FROID .....	49
IV.3.2.1 Calcul des pertes de charges .....	49
IV.4 INTERPRETATION DES RESULTATS .....	50
IV.5 LA PARTIE PRATIQUE .....	50

IV.5.1 La réduction du temps d'ADSORPTION .....	51
IV.5.1.1 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre.....	51
IV.5.1.1.1 Calcul de débit d'eau.....	51
IV.5.1.2 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse .....	51
IV.5.1.3 Estimation de la quantité d'eau absorbée $M_{ads}$ .....	51
IV.5.1.4 Calcul de la hauteur non utilisée $H'$ .....	52
IV.5.2 Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicants ..	52
IV.5.3 Détermination de l'efficacité d'adsorption .....	52
IV.6 CALCUL DU BILAN THERMIQUE .....	52
IV.6.1 Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption $Q_{deshy}$ .....	52
IV.6.2 calcul des pertes de chaleurs $Q_{perte}$ .....	53
IV.6.3 Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération $Q_{totale}$ .....	53
IV.6.4 Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur $H_f$ .....	53
IV.6.5 Calcul du temps de réchauffage du tamis « tr ».....	53
IV.6.6 calcul de la chaleur fournie par l'économiseur par cycle .....	54
IV.6.7 Calcul du temps de refroidissement du tamis « tref ».....	54
IV.7 INTERPRETATION DES RESULTATS.....	55
IV.8 ETUDE ECONOMIQUE.....	56
IV.9 INTRODUCTION .....	56
IV.10 INTERPRETATION ECONOMIQUE DES RESULTATS DE LA SOLUTION OPTIMALE .....	56
IV.11 CONCLUSION .....	56

## CONCLUSION GENERAL

## I.1. INTRODUCTION

Le GPL est considéré comme étant un mélange de gaz liquéfiés. Il est constitué essentiellement de propane et de butane en des proportions différentes selon la nature des gisements du pétrole traité.

La composition moyenne en général des GPL algériens se situe autour de 60% de propane et 40% de butane (dépendant de la provenance des GPL) avec des traces d'eau. Ce dernier produit dans les unités du sud notamment à HASSI MESSAOUD et HASSI RMEL. Cet hydrocarbure constitue une source d'énergie, est transporté à l'aide d'un oléoduc d'une longueur de l'ordre de 900 KM.

Le terme GPL ou gaz de pétrole liquéfié désigne un mélange d'hydrocarbures, qui sont gazeux aux conditions normales de température et de pression et qui ont la propriété de passer de l'état liquide par un abaissement de température ou de pression ou des deux à la fois. Il s'agit essentiellement de butane et de propane.

Cette propriété permet de stocker dans un volume réduit de ( $1\text{m}^3$  de GPL liquide occupe un volume de  $225\text{ m}^3$  à l'état gazeux dans les conditions normales).

Les GPL sont composés essentiellement du  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  avec de faibles proportions de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , et  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ .

## I.2. NOTIONS GENERALES SUR LES GPL

### I.2.1. L'ORIGINE DES GPL

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 provient des champs pétroliers (et aussi pendant la liquéfaction du gaz naturel particulièrement au niveau du stade du fractionnement du procédé).

### I.2.2 LES CARACTERISTIQUES DU GPL

Aux conditions normales de pression et de température, le GPL est un gaz plus lourd que l'air. Le butane commercial en phase vapeur est deux fois plus lourd que l'air, et le propane commercial est une fois et demie plus lourd.

- Les GPL sont non corrosifs à l'acier, au cuivre et à l'alliage du cuivre et d'aluminium.
- Les GPL sont incolores, que ce soit en phase liquide ou vapeur.
- Les GPL sont légèrement toxiques à l'état liquide ou vapeur.
- Les GPL pour des raisons de sécurité, un additif le mercaptan doit être ajouté et ce pour sa détection à l'odorat.

### I.2.3 L'UTILISATION DES GPL

Parmi les principales utilisations des GPL, on peut citer :

- La combustion ;
- La climatisation ;
- Matière première pour l'industrie, comme l'utilisation des GPL dans les centrales pour la production de l'énergie de l'électricité.

### I.2.4 LES RISQUE DES GPL

- 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 difficile à maîtriser.
- La limite inférieure d'inflammabilité du gaz 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 enflammé par un élément chaud ou une étincelle à distance d'un point de fuite.
- Les GPL liquides par évaporation peuvent causer des brûlures sévères, des protections individuelles (vêtements de protection, gants, lunettes). doivent être portés

## II. DESCRIPTION GENERALE DU PROCESS

### II.1. PRESENTATION DU COMPLEXE GP2/Z

Le complexe GP2/Z est l'un des deux complexes de séparation de GPL de la division liquéfaction de la branche LTH (Liquéfaction et Transformation des Hydrocarbures).

Il comporte deux trains (semi-modulaires) et un en arrêt, utilisant le procédé de distillation sous pression pour produire du propane et du butane.

## Fiche Technique

Construit par la société anglaise C.J.B (Compagnie John Brown) et mis en service le 17 Mars 1973

Localisation : Le complexe GP2Z est situé 4 Km de la ville d'Arzew à 40 Km à l'est d'Oran,

Superficie : Le complexe GP2Z s'étend sur une superficie de 13,5 Hectares,

Objet : Initialement conçu pour la stabilisation du condensat et la séparation des GP, actuellement ne traite que du GPL,

Produits : Propane et Butane,

Procédé utilisé: distillation sous pression,

Nombre de trains : 2 (semi-modulaires).

## Différentes Etapes vécues par le Complexe GP2Z

### ➤ Année 1973:

Démarrage de l'usine pour le traitement d'une capacité de 4 millions de tonnes par an de mélange de GPL/ Condensat. L'usine a été construite par la compagnie anglaise CJB (Constrictor John Brown).

### ➤ Année 1984:

Arrêt de l'usine au mois de Juillet suite à la mise en service des unités de stabilisation des condensats au niveau des champs du sud.

### ➤ Année 1990:

Redémarrage de l'usine au mois de novembre pour le traitement du GPL après modification du procédé pour une capacité de 0.6 millions Tonnes /an.

### ➤ De 1993 à 1996:

Projet de développement du Complexe à 1,2 MT/AN

### ➤ Année 2004:

Projet Sécurisation & Fiabilisation du complexe GP2Z Suite aux incidents de l'année 2003, le Complexe GP2.Z a fait appel au prestataire IHI/ITOCHU pour l'audit et L'engineering du complexe afin de dégager des plans d'actions pour en améliorer la sécurité et la fiabilité et d'en achever le développement à la capacité optimale soit 1,4 MT/AN.

## Caractéristiques Techniques

Le complexe comprend principalement :

Une zone de stockages et de chargement des produits finis,

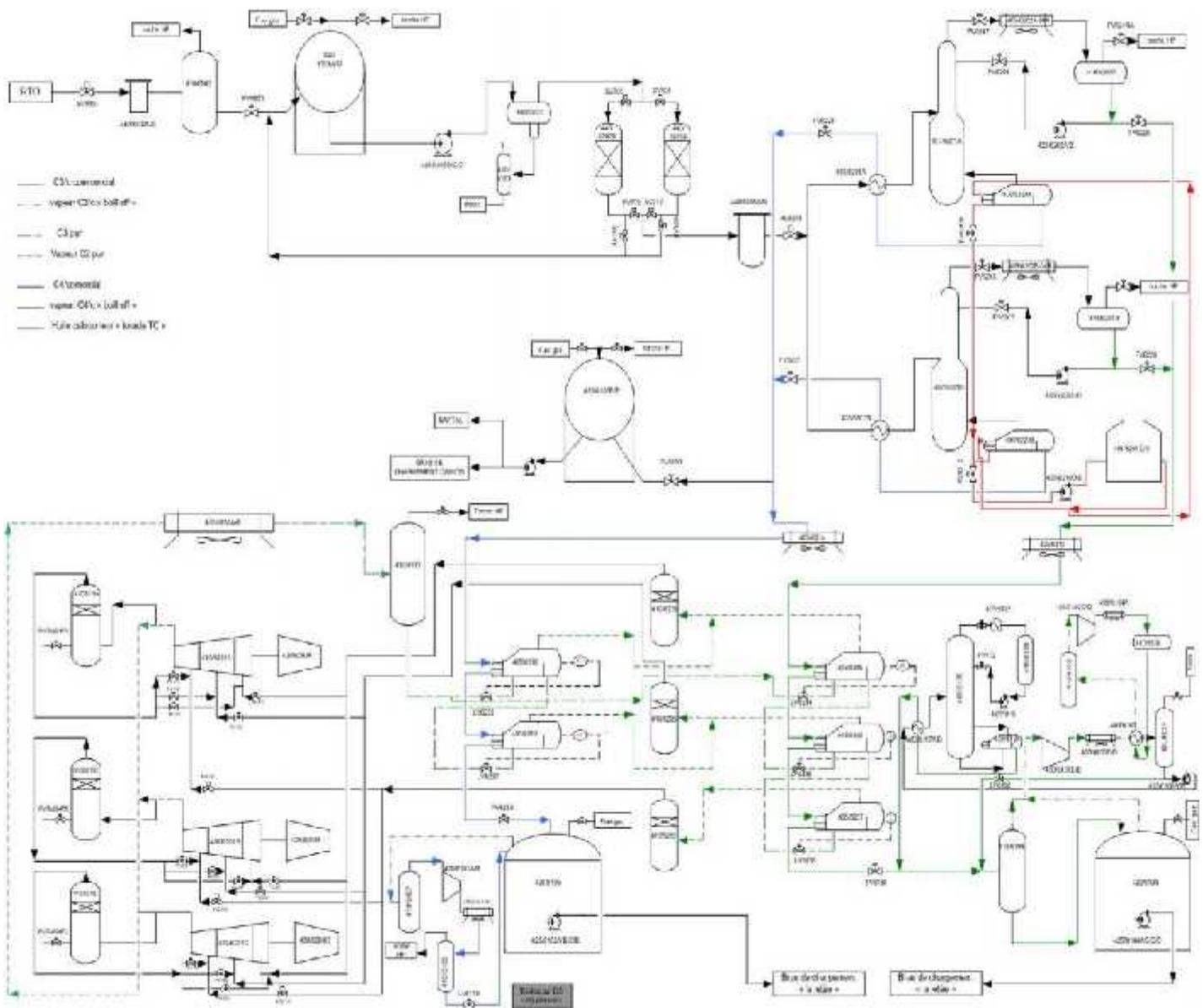
Optimisation de la déshydratation de la charge d'alimentation GPL

- Une (01) salle de contrôle DCS,
- Une (01) salle de contrôle sécurité,
- Deux (02) trains de traitement.

Les trains de traitement modulaires comprennent :

- Une section de déshydratation commune,
- Une section de séparation,
- Une section de réfrigération commune,
- Une section d'huile chaude commune.
- Une section Air Instrument Commune
- Une zone BOG Commune

Schéma d'implantation des équipements



La charge GPL est composée en grande partie de propane, de butane et d'un faible taux de méthane, éthane et de pentane. Elle provient de différents champs pétroliers du sud « Hassi R'mel, Hassi Messaoud etc... »

La charge est envoyée à travers des stations de pompages puis transite par RTO. A l'arrivée du complexe, la charge est filtrée et stockée dans les 02 sphères, pour assurer la marche de sécurité en cas de problème au niveau des stations de pompage et de transport.

A la sortie des sphères, le GPL est envoyé après la section déshydratation vers les deux splitter pour être séparé en butane et en propane, le propane est récupéré en tête de colonne et le butane est récupéré en fond de colonne, ce dernier passe dans le rebouilleur pour être chauffé par la TORADA (huile thermique) venant du four. La partie vapeur obtenue du butane retourne vers la colonne pour y maintenir la chauffe en fond de colonne. La partie liquide du butane sert à préchauffer la charge de GPL puis elle est envoyée vers la section réfrigération, où elle est refroidie en deux stades de pression (HP, MP).

Le propane obtenu en tête de la colonne est utilisé en partie comme reflux vers la colonne. L'autre partie est envoyée vers la section réfrigération, où elle est refroidie en trois stades (HP, MP, BP).

Le stockage des produits finis le propane commercial C3 et le Butane commercial C4 se fait respectivement dans deux bacs. Pour le Butane C<sub>4</sub> ambiant, le stockage se fait dans deux sphères.

### **II.1.1 SECTION STOCKAGE TAMPON**

L'alimentation est faite des champs gaziers et pétroliers de Hassi –R'mel et Hassi –Messaoud par le gazoduc « 24 pouces » via le terminal RTO.

Le GPL qui vient, subit une détente jusqu'à 20 bars et passe aux sphères de stockage où il est stocké à une pression de 07 Bars. Le GPL est un mélange de composants, auquel on injecte le fuel – gaz pour le rendre plus stable. La pression de 07 Bars est maintenue par un PIC Contrôleur, Indicateur de Pression qui permet l'admission ou l'évacuation du fuel -gaz à partir de la station fuel – gaz.

Ce genre de stockage est appelé un stockage tampon (le débit de la charge sortante égale au débit de la charge d'alimentation).

Le mélange GPL est pompé des sphères vers l'unité déshydratation pour éliminer l'eau contenue dans la charge (la plus grande quantité).

## II.2. SECTION DESHYDRATION

### II.2.1. INTRODUCTION

L'unité de déshydratation a été conçue pour sécher le produit GPL à une teneur inférieure à 1 ppm d'eau. Elle est constituée par les équipements suivants :

- Un coalesceur d'alimentation 440/6203.
- Deux sécheurs (adsorbours) 440/6202/A/B.
- Deux filtres de GPL 440/6205/A/B.
- Un préchauffeur des gaz de régénération 405/6203.
- Un aérocondenseur des gaz de régénération 405/6229.
- Un séparateur des gaz de régénération 410/6214.

La déshydratation a pour but d'éliminer l'eau libre et l'eau dissoute dans la charge afin d'éviter la formation d'hydrates au niveau des équipements en aval. En effet, le procédé va nécessiter l'abaissement de la température en dessous de 0°C ce qui exclue toute présence d'eau dans les circuits et les équipements des installations.

#### II.2.1.1. DONNEES DE BASE

- L'unité est conçue pour déshydrater 1.2 MT/An de GPL.
- L'eau dissoute dans le GPL d'alimentation est de 100 ppm en (Poids) et sera réduite à moins de 1 ppm à la sortie des sécheurs.
- Un tamis moléculaire est utilisé comme lit solide déshydratant du sécheur.
- L'unité fonctionne en continu, sous un contrôleur automatique et séquentiel.
- Le temps d'adsorption est de 24 heures.
- Les deux adsorbours (un en service l'autre en régénération) fonctionnent en alternance de leur capacité.

L'eau est adsorbée par les tamis moléculaires et vaporisée par le gaz chaud lors de la régénération. 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'adsorbours est refroidi par la circulation de gaz froid en by passant le réchauffeur 405/6203, lorsque le cycle de refroidissement est achevé,

l'adsorbent est rempli de GPL et dépressurisé. Ensuite il sera en attente jusqu'à sa remise en adsorption pour un nouveau cycle.

## II.1.2 SECTION SEPARATION

L'unité de séparation a été conçue pour séparer le mélange de la charge GPL en propane commercial comme produit de tête des colonnes et en butane commercial comme produit de fond des colonnes. Elle est constituée par 02 splitters 407/6201/A et B, chacun d'eux comprend les équipements respectivement :

### TRAIN A (407/6201/A) et TRAIN B (407/6201/B) :

- Une colonne de séparation **407/6201(A/B)** de 46 plateaux.
- Un préchauffeur de la charge GPL **405/6201(A/B)**.
- Une batterie d'aérocondenseurs **402/6202(A/B)** et **405/6204(A/B)**.
- Un ballon de reflux **410/6201(A/B)**.
- Deux pompes de reflux **425/6202(A et B/C et D)**.
- Un rebouilleur **405/6224(A/B)**.

La charge GPL est à une pression de 22.5 bars passe par le préchauffeur où elle est préchauffée par le butane venant du fond de colonne de dépropanisation. La température d'entrée GPL est régulée par la vanne TIC 6213 qui se trouve sur la ligne de sortie butane du fond de colonne. Le débit d'entrée du GPL est contrôlé par la FIC 6203.

Le courant de GPL venant du préchauffeur rentre au niveau du plateau n°24. Les hydrocarbures légers se séparent du courant d'alimentation et s'élèvent vers le sommet de la colonne à contre courant d'un reflux continu de propane.

Le propane commercial extrait comme produit de tête de distillation est condensé en totalité au niveau des aérocondenseurs 405/6202/A et 405/6204/A.

Le propane provenant du ballon de reflux 410/6201/A est aspiré par l'une des pompes de reflux 425/6202/A/B. Une partie est réintroduite en tête de colonne comme reflux dans la colonne. Le débit de reflux est contrôlé par la FIC 6205. L'autre partie du propane va s'écouler vers la réfrigération via la LV 6226 qui permet de maintenir un niveau liquide dans le ballon de reflux.

Le liquide du fond de colonne (butane) pénètre dans le rebouilleur où il se vaporise partiellement. La partie vaporisée retourne vers la colonne en dessous du 46ème plateau comme

reflux de vapeur alors que l'autre partie du butane s'écoule vers la réfrigération via la LV 6201 qui permet de maintenir un niveau liquide dans le rebouilleur. La chaleur nécessaire au rebouillage est fournie par de la TORADA (Huile Thermique) venant du four. La température du plateau N°46, TIC 6258 contrôle le débit de rebouillage en agissant directement sur la vanne de débit de TORADA la FIC 6219.

## **II.1.2. PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT DES DEUX COLONNES 407/6201/A et B**

### **II.1.2.1. PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT EN EXPLOITATION [1]**

#### **❖ Débits**

- Débit d'entrée du GPL = 87.5 T/hr.
- Débit de reflux de propane = 110 T/hr.
- Débit de propane vers réfrigération = 46.2 T/hr.
- Débit de butane sortie de colonne = 263 T/hr.
- Débit de butane vers réfrigération = 41.3 T/hr.
- Débit de TORADA TC vers rebouilleur = 421 T/hr.

#### **❖ Pressions**

- Pression d'entrée du GPL = 22.5 bars.
- Pression tête de colonne = 19.8 bars.
- Pression TORADA TC vers rebouilleur = 7.6 bars.

#### **❖ Températures**

- Température d'entrée du GPL = 60.8 °C.
- Température tête de colonne = 57.4 °C.
- Température reflux = 49.5 °C.
- Température fond de colonne = 106.3 °C.
- Température TORADA TC vers rebouilleur = 190 °C.

## II.4. LA SECTION DE RÉFRIGÉRATION

La section réfrigération a pour objet de refroidir les produits propane et butane commerciaux, aux températures de stockage  $-45^{\circ}\text{C}$  pour le propane et  $-15^{\circ}\text{C}$  pour le butane à la pression atmosphérique.

Le système de réfrigération est un système par cascade qui utilise du propane pur comme agent réfrigérant.

Le refroidissement est effectué à l'aide d'une boucle fermée à trois niveaux de températures  $11.8^{\circ}\text{C}$ ,  $-16.9^{\circ}\text{C}$  et  $-40.3^{\circ}\text{C}$  correspondants à la haute Pression HP (5 bars),

Moyenne Pression MP (1.5 bars) et basse pression BP (0.5 bars).

### II.4.1. LE PROPANE COMMERCIAL

Le propane commercial provenant des deux ballons de reflux (410/6201/A pour le train A et le 410/6201/B pour le train B) est acheminé sous contrôle de niveau (LV 6226 pour le train A et LV 6227 pour le train B) vers l'aéroréfrigérant 405/6213, puis entre dans le Schiller du stade HP le 405/6205 à une température de  $40^{\circ}\text{C}$  et sort à une température de  $14.3^{\circ}\text{C}$ . A la sortie du Schiller 405/6205, le produit passe par la déshydratation de garde conçue pour le séchage du propane commercial.

La teneur de ce dernier doit être inférieure à 1 ppm à la sortie de la déshydratation afin d'éviter toute formation d'hydrates (cause de bouchage) puis le produit passe au stade MP à travers le Schiller 405/6206 d'où il sort à une température de  $-14.6^{\circ}\text{C}$ . Le propane commercial passe ensuite au stade BP de réfrigération à travers le Schiller 405/6207 d'où il sort à une température de  $-37.7^{\circ}\text{C}$ .

Le produit passe ensuite par le ballon flash (ballon de détente) le 405/6206 via la PV 6247/B où il est détendu à 0.4 bars pour atteindre la température de  $-45^{\circ}\text{C}$  qui n'est autre que la température de stockage du produit fini au niveau du bac de stockage du C3c (420/6104). Le produit est finalement expédié vers le bac 420/6104 au moyen de l'une des pompes 425/6201/A/B.

### II.4.2. LE BUTANE COMMERCIAL C4

Le butane recueilli du fond de colonne 407 passe coté calandre du rebouilleur 405 où il est chauffé, la phase vapeur dirigée vers le fond de la colonne utilisée comme source de chaleur,

la partie liquide dirigée soit aux sphères s'il est hors spécification dans le cas contraire dirigé vers le préchauffeur puis vers les aérocondenseurs.

De là ; il admit dans les deux stades (Schiller de haute pression 6210, Schiller de basse pression 6212) en cascade coté faisceau ; ou il va être refroidi par le propane pur coté calandre venant du ballon 17, le butane refroidi expédié vers le bac de stockage (Bac 420/6105).

L'échange de chaleur entre le butane commercial et le propane pur donne des vapeurs qui sont aspirées par le turbo compresseur et refoulés vers les aéros puis vers le ballon 410/6217.

#### **II.4.3. CIRCUIT DE PROPANE PUR (REFRIGERANT)**

C'est un circuit fermé. Le propane pur (liquide réfrigérant) stocké dans le ballon 410/6217 à une pression d'environ 16 bars et à une température avoisinant les 40°C qui alimente le stade de haute pression (Schiller 05 et 10). Ces derniers vont alimenter le stade de moyenne pression (Schiller 06 et 12) ; puis le stade de basse pression (Schiller 07). Le propane pur refroidi les produits propane et butane commerciaux dans les Schiller par un échange de chaleur par convection. Les vapeurs produites sont dirigées vers des ballons séparateurs pour chaque stade ou ils sont aspirés par le turbo compresseur et refoulé vers les aéros et stockées dans le ballon 410/6217.

#### **II.5. SECTION BOIL OFF**

La section Boil Off à pour objet de récupérer les vapeurs de propane et butane commerciaux produits dans leurs bacs de stockage respectifs.

Les vapeurs sont récupérées des bacs par des compresseurs, condensées dans des aérocondenseurs récupérés dans des ballons puis retournées vers leurs bacs respectifs

Le système Boil Off empreinte des circuits différents selon que l'unité soit en marche (turbine en service) ou à l'arrêt (turbine à l'arrêt).

##### **II.5.1. CIRCUIT DE RECUPERATION DU PROPANE**

Les compresseurs Boil Off 430/6101/B ou 430/6102/A/B aspirent les vapeurs de propane émises au niveau du bac 420/6104 et les vapeurs émises au niveau du ballon flash (410/6206) Via la PIC 6254 à une pression de 0,4 bars et à une température de -44.3°C. Les vapeurs sont ensuite refoulées vers les aérocondenseurs 405/6104 puis rejoignent le Schiller 405/6102 côté tube à une pression de 7 bars et à une température de 60°C où elles seront refroidies par du propane réfrigérant puis dirigées vers le ballon 410/6102. Le propane ainsi condensé rejoint le

bac 420/6104 via la LV 6108. Les vapeurs émises au niveau du ballon 410/6102 sont envoyées via la PIC 6152 soit vers le circuit fuel gaz soit vers le réseau torchère.

## II.5.2. CIRCUIT DU PROPANE REFRIGERANT

Le côté calandre du Schiller 405/6102 est alimenté par du propane réfrigérant provenant de l'une des calandres des Schiller HP : 405/6205 ou 405/6210. Le produit est détendu en aval des LV 6109 puis entre dans le Schiller 405/6102 à une pression de 6 bars et à une température de 11.8°C. Les vapeurs émises au niveau du Schiller 405/6102 sont reprises le ballon séparateur du stade MP le 410/6105 via le séparateur 440/6102.

## II.6. SECTION STOCKAGE ET CHARGEMENT:

PRODUIT	PRESSION	TEMPERATURE
Propane commercial réfrigéré	1,1 bar	- 45 °C
Butane commercial réfrigéré	1,1 bar	- 15 °C
Butane commercial ambiant	3,5 bar	0 à 38 °C

**Tableau1.** Stockage du propane et butane commercial [1].

### II.6.1. BUTANE AMBIANT

#### II.6.1.1. SECTION DE STOCKAGE BUTANE AMBIANT

La section de stockage ambiant comporte 02 sphères 420/6105/E/F Le butane est stocké à température ambiante et la pression est maintenue dans les sphères à 8 bars au moyen de la PV604/A. Le circuit de maintien de pression des sphères de butane 420/6105/E/F et des sphères de GPL 420/6105/A/B est commun : la pression y est maintenue par la PV 604/A. En cas d'augmentation de pression dans les sphères, la PV 604/B s'ouvre vers torche via le ballon fuel gaz 440/6303.

#### II.6.1.2. CHARGEMENT CAMION DU BUTANE AMBIANT

Les installations de chargement camions sont conçues pour permettre le chargement du butane ambiant via respectivement les MOV 6105/E/F des sphères 420/6105/E/F.

Le butane est transféré par les pompes 425/6205/E/F lorsque le transfert s'effectue du complexe GP2Z vers NAFTAL.

## **II.6.2. PROPANE REFRIGERE**

### **II.6.2.1. SECTION DE STOCKAGE DE PROPANE REFRIGERE**

Cette section a pour but d'assurer le stockage du propane commercial au niveau du bac 420/6104 à une pression atmosphérique et à une température de - 45°C. Le bac 420/6104 a une capacité de 70.000 m<sup>3</sup> et il est muni de trois soupapes tarées à différents paliers de pression : RV 6149/A, B et C tarées respectivement à 1.010 mmH<sub>2</sub>O, 1.030 mmH<sub>2</sub>O, 1.060 mmH<sub>2</sub>O. Correspondant de l'ordre de 1/10 de la pression atmosphérique.

### **II.6.2.2. CHARGEMENT NAVIRE DU PROPANE REFRIGERE**

Le chargement navire se fait au moyen des pompes immergées, les 425/6101/G, /H, et /I. Le débit minimum est maintenu par la PIC 6165. Le remplissage des navires se fait au niveau de la S1 qui dispose de deux bras de chargement les 461/6401/A et /B. Le refroidissement de la ligne de chargement se fait par la pompe 425/6101/J qui aspire du propane réfrigéré et le retourne vers le bac 420/6104.

## **II.6.3. BUTANE REFRIGERE**

### **II.6.3.1. SECTION DE STOCKAGE DE BUTANE REFRIGERE**

Cette section a pour but d'assurer le stockage du butane commercial au niveau du bac 420/6105 à une pression atmosphérique et à une température de -15°C. Le bac 420/6105 a une capacité de 70.000 m<sup>3</sup> et il est muni de trois soupapes tarées à différents paliers de pression : RV 6150/A/B/C tarées respectivement à 1 010 mmH<sub>2</sub>O, 1 030 mmH<sub>2</sub>O et 1 060 mmH<sub>2</sub>O. en cas de surpression dans le bac, le PIC 6132 s'ouvre vers torche afin de soulager en pression le bac considéré.

### **II.6.3.2. CHARGEMENT NAVIRE DU BUTANE REFRIGERE**

Le chargement navire se fait au moyen des pompes immergées : les 425/6104/G et I pour les grands débits et par la 425/6104 /D pour des débits moindres. Le débit minimum est maintenu par la PIC 6167. Le remplissage des navires se fait au niveau de la S2 qui dispose de deux bras de chargement les 461/6401/C et D et de la S3 qui dispose de deux bras de chargement les 461/6401/E et F.

## **II.7 LES UTILITÉS**

Ils sont constitués des réseaux suivants :

- Réseau fuel gaz
- Il est destiné à alimenter les fours de rebouilleur, turbines, les pilotes de torches et le stockage de GPL et butane.
- Réseau d'électricité.
- Réseau d'air instrument.
- Réseau gaz inerte (azote).
- Réseau méthanol.
- Réseau d'eau d'incendie.

## I. DESHYDRATATION

### I.1 INTRODUCTION

La présence d'eau entraîne différents problèmes pour l'exploitation de la séparation du GPL, suivant les conditions de température et de pression qui règnent aux niveaux des équipements; la vapeur d'eau peut se condenser et provoquer la formation des hydrates, se solidifier ou favoriser la corrosion si le gaz contient du CO<sub>2</sub> par combinaison avec l'eau forme un acide carbonique H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Pour éviter ces phénomènes, il est nécessaire de réduire la teneur en eau de GPL 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.

La déshydratation en phase liquide de la charge comprend deux colonnes d'adsorption fonctionnant en parallèle ; de manière alternée et périodique.

A tout instant, une colonne est en ligne pour l'adsorption et la deuxième est en régénération. La durée d'adsorption est de 24 heures, mais elle était modifiée suivant les caractéristiques du GPL à l'entrée, elle est de l'ordre de 36 heures, à l'échéance de ce temps, la colonne en réserve est mise en service, et l'autre colonne passe en régénération.

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

#### **Pourquoi la deshydratation du GPL**

- Risque de corrosion des pipes (surtout en présence de gaz acide).
- Risque de formation des hydrates.
- Risque de solidification dans les procédés cryogéniques.

### I.2. PROCEDE DE SECHAGE

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

- Déshydratation du GPL par absorption.
- Déshydratation du GPL par adsorption.

### I.2.1. Séchage par absorption

Un absorbant liquide convenant au séchage des gaz naturels doit remplir de nombreuses conditions parmi les quelles :

- Grande affinité pour l'eau ;
- Faible cout ;
- Absence de caractère corrosif ;
- Facilité de régénération ;
- Stabilité pendant la régénération ;
- Viscosité faible ou modérée ;
- Faible tension de vapeur à la température de contact ;
- Faible solubilité pour les gaz naturels et les hydrocarbures liquides ;
- Faible tendance au moussage ou à l'émulsifiassions.

Les glycols qui peuvent être utilisés pour la déshydratation du gaz sont au nombre de quatre:

- Éthylène glycol
- Diéthylène glycol
- Triéthylène glycol
- Tetraéthylene glycol

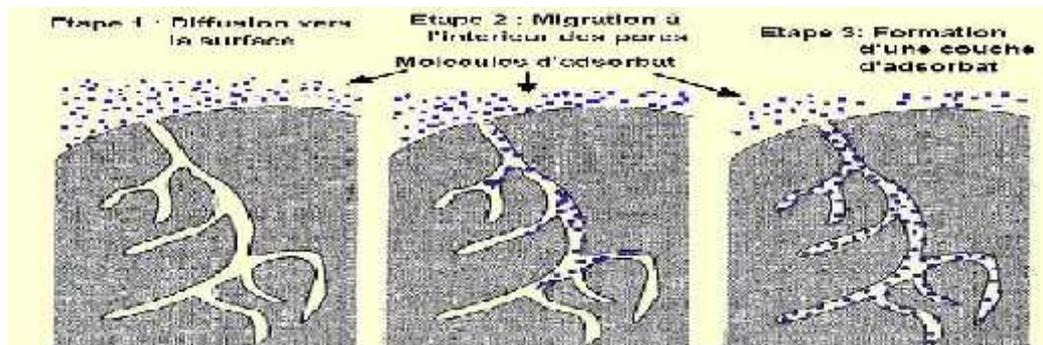
### I.2.2. Déshydratation par adsorption

Les propriétés adsorbants d'un solide microporeux sont créées par la résultante des forces existant entre deux molécules, les forces de Van der Waals. L'origine de ces forces attractives est l'interaction électrostatique entre atomes ou les interactions dipolaires. Puisque la répulsion liée au rapprochement des orbitales atomiques s'oppose à ces forces d'attraction, il existe une distance critique correspondant au minimum d'énergie potentielle du système composé des deux molécules.

Si l'on considère maintenant une molécule d'un fluide et un ensemble de molécules ou atomes à la surface d'un solide, la résultante des interactions conduit à la fixation de la molécule du fluide à la surface du solide. Ce phénomène est l'adsorption. On distingue deux types de phénomène, selon la nature de la fixation. Si l'adsorption conduit à la création d'une véritable liaison chimique entre le fluide et le solide, on parlera de chimisorption. Si la fixation est purement la résultante de forces d'interaction physiques, on emploiera le terme de

physisorption, les énergies mises en jeu lors de cette dernière étant généralement beaucoup plus faibles que la chimisorption et plus facilement réversibles.

### I.2.3. Différents types d'adsorbants utilisés pour la déshydratation



**Figure.** Diffusion d'eau à l'intérieur des pores

Il existe 4 dessiccants principaux utilisés dans les applications du GPL :

- ❖ Le gel de silice,
- ❖ Le gel d'alumine,
- ❖ L'alumine activée,
- ❖ Les tamis moléculaires.

## II. TAMIS MOLECULAIRES

Ils sont les aluminosilicates cristallisés de telle manière qu'ils forment des molécules poreuses dont le diamètre des pores est parfaitement défini.

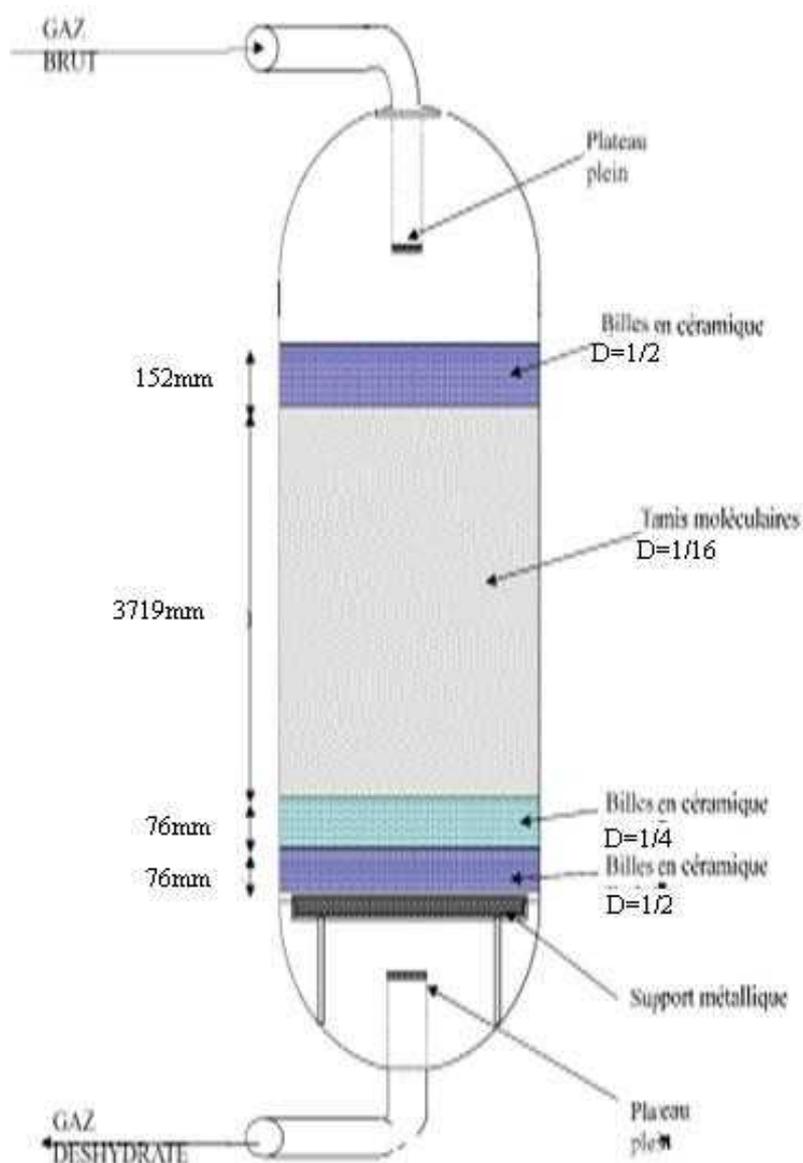
Désignation	3A	4A	5A	10X	13X
Nature du cation	Potassium	Sodium	Calcium	Calcium	Sodium
Taille des particules	Poudre cristallin 0.6 à 5				
Masse volumique globale	0.75	0.7	0.7	0.6	0.6
Chaleur spécifique à 40°C	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Volume des cavités (cm <sup>3</sup> /g)	0.28	0.28	0.28	0.36	0.36
Surface interne	700 à 800 m <sup>2</sup> /g				
Surface externe	3 à 10 m <sup>2</sup> /g				
Diamètre effectif des pores	3A	4.2 A	5A	8A	10A

**Tableau11.** Les propriétés du tamis moléculaires [1].

Les tamis moléculaire sont stables jusqu'à 700°C. On les régénère entre 200 et 400 °C. Ils sont extrêmement avides d'eau et fournissent les meilleurs adsorbants connus pour le séchage des gaz et des liquides dans le domaine des faibles teneurs en eau. La chaleur d'adsorption de l'eau est très grande : 18kcal/mole. En outre leur capacité d'adsorption reste élevée a haute température : ils peuvent être dessécher efficacement des gaz à plus de 100°C.

### III. DESCRIPTION DU PHENOMENE D'ADSORPTION

#### III. 1. Colonne d'adsorption



### III. 2 La procédure de remplissage du sécheur

La procédure de remplissage après dépressurisation et inertage de sécheur sera comme suite :

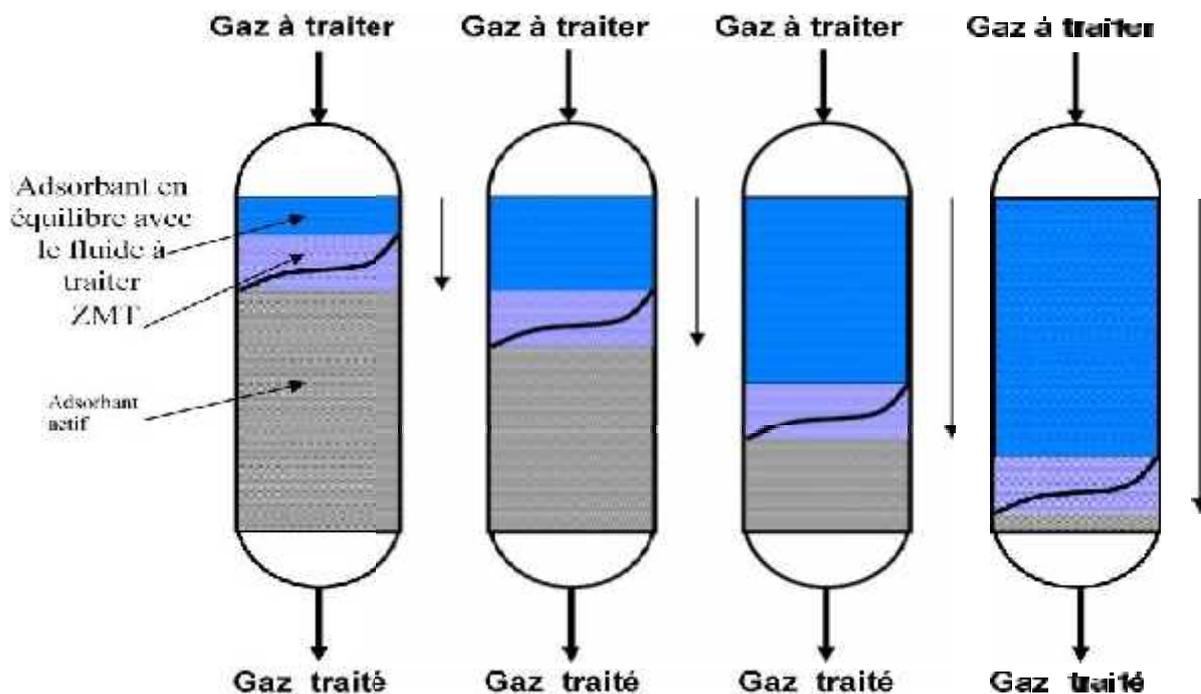
#### Du bat en haut :

- 1- Installer un extracteur d'air afin d'évacuer toute la poussière générée lors de l'opération de remplissage
- 2- Inspection de la bonne disposition du caillebotis.
- 3- Inspection du grillage (coudre les endroits déchirés)
- 4- Mise en place du grillage avec vérification de leurs bonnes fixations.
- 5- Mise en place d'un entonnoir de remplissage au niveau du trou d'homme de 18'' et l'enlèvement du spool de 10'' en dessus du sécheur et qui va servir comme un cheminée d'aération.
- 6- Remplissage des billes céramiques de ½'' à 76mm équivalent à trois futs de 200Kg.
- 7- Egaliser le niveau
- 8- Remplissage des billes céramiques de ¼'' à 76mm équivalent à trois futs de 200Kg.
- 9- Egaliser le niveau
- 10- Remplissage du tamis moléculaire à 3719mm (1/8'' 4A UOP « trisiv ») qui est en poids « 9990Kg » équivalent de 74 futs de 135Kg.
- 11- Egaliser le niveau
- 12- L'emplacement du grillage.
- 13- Remplissage des billes céramiques de ½'' à 152mm qui fait l'équivalent de six futs de 200Kg
- 14- Egaliser le niveau

#### NB :

- Le remplissage des billes sera suivi par la pénétration d'un agent ou deux pour s'assurer de la bonne dispersion des billes.
- Pour le tamis moléculaire en particulier il faut une pénétration d'un agent ou deux et ça après le dégagement totale de la poussière dégagée lors du remplissage et qu'ils soient dotés d'un masque poussière afin d'assurer de la bonne dispersion du tamis moléculaire.

### III. 3. Concept de zone de transfert de masse



**Évolution de la zone de transfert de matière au cours du temps**

Pendant le cycle d'adsorption, un lit de tamis moléculaire peut être divisé en 3 zones appelées la zone de saturation ou d'équilibre. Le tamis moléculaire de cette zone est en équilibre avec le gaz d'entrée humide, la zone du milieu est la zone de transfert de masse. La zone du bas est le lit non utilisé. Le tamis moléculaire dans cette région est en équilibre avec le gaz de sortie absolument sec. Si le lit fonctionne trop longtemps, la zone de transfert de masse commence à sortir du fond de sécheur. Cela s'appelle la percée et si cela persiste longtemps, l'unité cryogénique se bouche et ce suite à la saturation du lit du tamis moléculaire

Comme l'eau est adsorbée du gaz dans la section 1, la section 2 commence à traiter le gaz avec moins d'eau et de gradient de concentration. Pour que la section 2 retienne autant d'eau que la section 1, elle devrait être beaucoup plus grande. La section 3 devra être plus grande que la section 2, la région d'un lit à tamis moléculaire composée de quantités croissantes de tamis pour retenir des quantités égales d'eau est appelée la zone de transfert de masse.

La zone de transfert de masse est la longueur de lit requise pour réduire la teneur en eau du gaz depuis la saturation jusqu'à la spécification requise (moins de 0.1ppm). Cette longueur est normalement de 0.15 à 1.8 m et dépend de divers facteurs tels que la composition du gaz, la température et la pression, la vitesse du gaz, le type d'adsorbant, et sa granulométrie.

### IV. REGENERATION

Pour la description des cycles de régénération, on suppose que l'absorbeur a atteint les 24 heures d'absorption (durée d'adsorption du tamis moléculaire), en vu du cycle de régénération et qui se compose des étapes suivantes :

- Drainage : 02 heures
- Dépressurisation : (6 min)
- Chauffage : 12 heures
- Refroidissement : 06 heures
- Pressurisation ■ : (6 min)
- Remplissage : 02 heures
- Attente : 2,8 heures

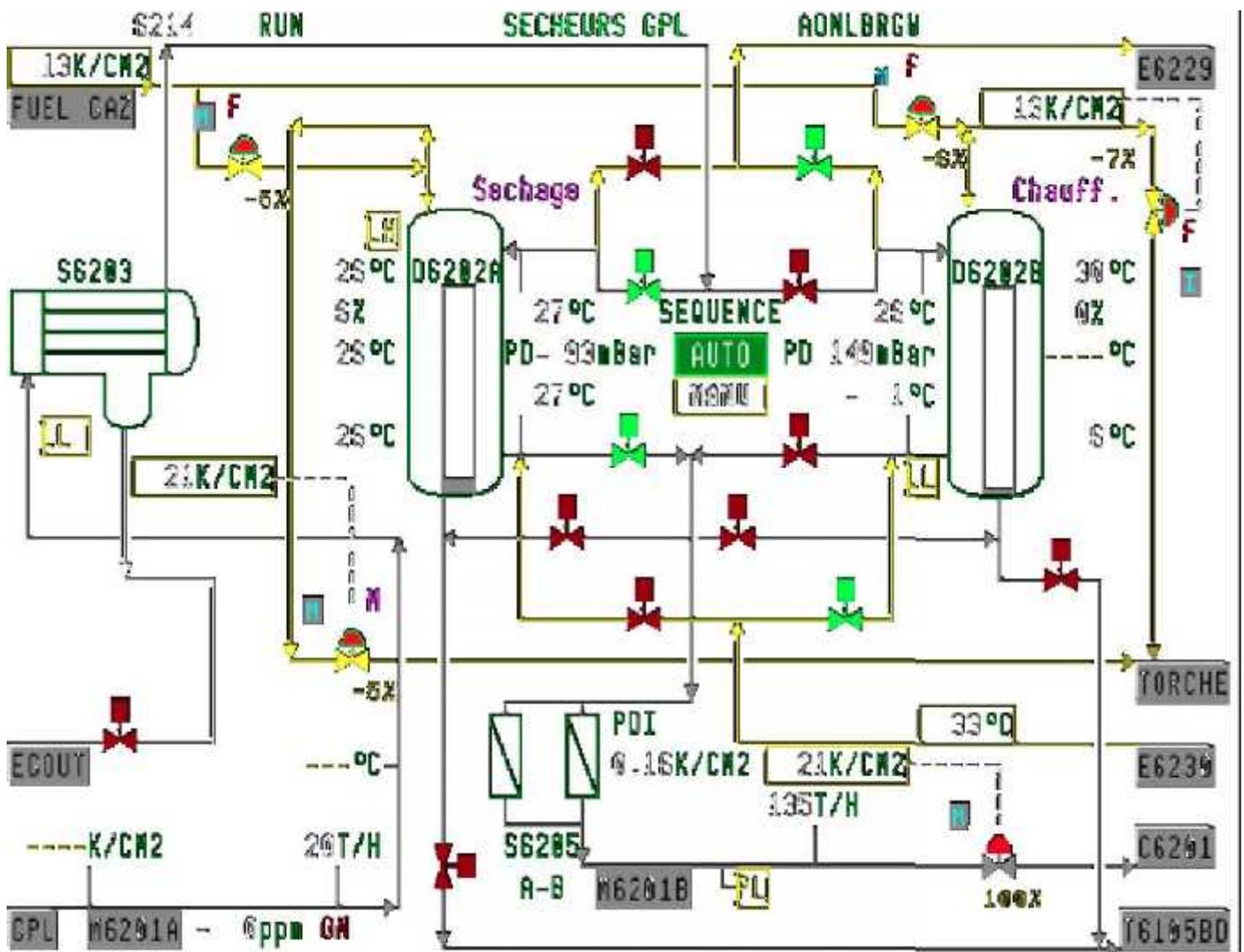


Schéma de la section de déshydratation

### **IV. 1. 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).

### **III. 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'adsorbeur 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 désactive pour la fermeture.

### **IV.3. 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 bas vers le haut (sens inverse de fonctionnement normal de l'opération d'adsorption).

Après la dépressurisation de l'absorbeur, 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. Le gaz chaud circule du bas vers le haut 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.

### **IV. 4. Refroidissement**

À 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 de 20 à 40°C.

### **IV. 5. Remplissage**

À 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.

#### **IV. 6. Attente**

Après la remise sous pression, le GPL liquide peut être réintroduit dans la colonne, la vanne s'ouvre pour admettre un faible débit de GPL liquide dans la colonne. En même temps, le contacte de niveau est mis en service.

Au fur et à mesure que le GPL liquide remonte dans la colonne, le gaz est refoulé sous contrôle de pression en tête. Lorsque le niveau de liquide atteint, la vanne se ferme, l'adsorbant demeure en stand by et près à être remis en fonction d'absorbant. Cette opération demande environ une durée de 2 heures.

### **V. EFFET DES VARIABLES DE PROCÉDE**

#### **V.1. Température**

L'efficacité d'un lit adsorbant est particulièrement sensible à la température du fluide d'entrée, en général l'efficacité de la déshydratation diminue lorsque la température augmente. Pour cette raison il est important de concevoir un système de séchage ayant une température aussi faible que possible, à condition que celle-ci soit au moins de 5°C au-dessus du point de formation d'hydrates.

La température du gaz chaud entrant et sortant d'un lit desséchant pendant le cycle de chauffage peut fortement affecter l'efficacité de l'unité et la vie du matériau desséchant. Une température de régénération élevée est nécessaire pour assurer une bonne désorption de l'eau.

#### **V.2 Pression**

En général, l'efficacité d'adsorption augmente avec la pression à une température constante, la teneur en eau de saturation du fluide d'entrée diminue lorsque la pression augmente, et par conséquent, si les déshydrateurs sont utilisés bien au-dessous de la pression nominale, le desséchant devra travailler plus dur pour éliminer l'eau supplémentaire et la valeur souhaitée du point de rosée de l'effluent.

#### **V.3 Teneur en humidité de la charge**

La saturation relative du gaz d'alimentation est la variable qui détermine la capacité d'un matériau desséchant donné à une température donnée.

#### V.4 Direction de l'écoulement

La direction de l'écoulement de la charge pendant le cycle de séchage est habituellement vers le bas pour le gaz, ceci permet d'avoir des vitesses plus élevées sans risques d'endommagement du matériau par une fluidisation.

En générale, la direction de l'écoulement du gaz de chauffage est à contre-courant de la direction du courant d'adsorption. Ceci permet une meilleure réactivation du lit desséchant.

Si le courant de gaz de chauffe est Co-courant avec le courant d'adsorption, toute l'eau et les autres contaminants doivent se déplacer à travers la longueur totale du lit. Ceci peut entraîner une contamination supplémentaire du matériau et un temps de régénération plus important.

#### V.5 Type et dimension du tamis

Le tamis moléculaire utilisé pour la déshydratation du GPL est du type 4°A. Ce dessicant adsorbe les molécules ayant un diamètre effectif inférieur à 4°A y compris H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, l'éthane et les hydrocarbures les plus légères, en excluant toutes les molécules ayant un diamètre effectif supérieur à 4°A.

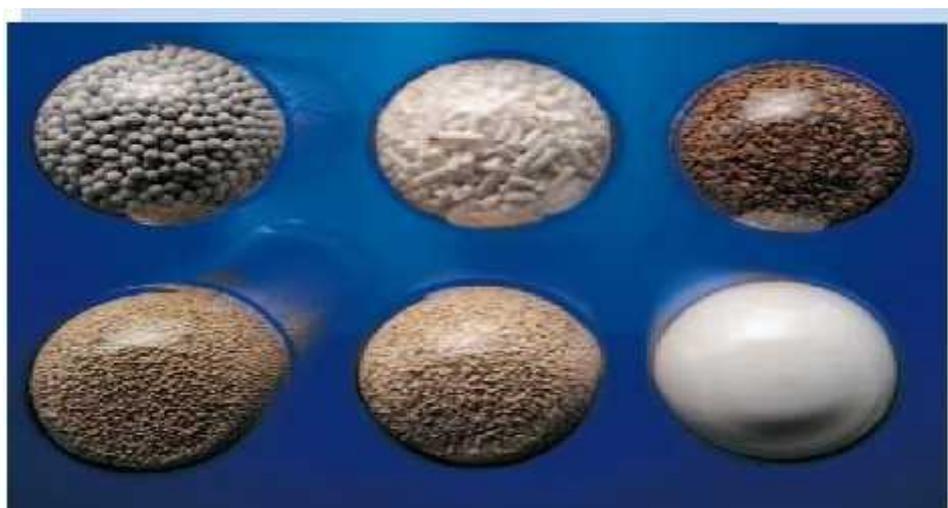
Les usines de GPL préfèrent utiliser des granulés de 1.588 mm au lieu de 3.175 mm, car les granulés de petits diamètres offrent une surface plus importante par unité de volume pour le transfert de masse. et par conséquent une meilleure efficacité d'adsorption

## I. II.LES TAMIS MOLECULAIRES

### I.1. Introduction

Les tamis moléculaires sont différents 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 basées sur les différences de tailles des molécules.

Les tamis moléculaires sont des aluminosilicates de métaux hydratés cristallins offrant un certain nombre de propriétés inhabituelles.



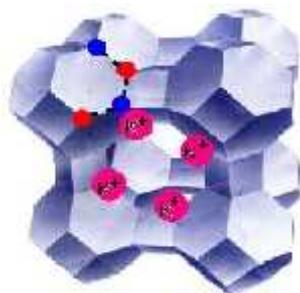
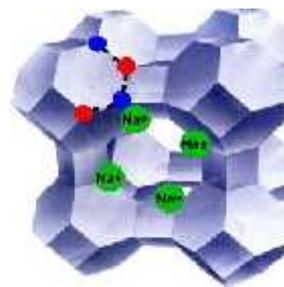
**Différent type de tamis moléculaires**

### I.2. Tamis moléculaire sous ses différentes formes

Les tamis moléculaires 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.

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**

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.

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.

Les tamis moléculaire utiliser dans le traitement du gaz au niveau du GP2Z sont les tamis UOP type 4A-DG TRISIV 1/8''.

## II. DESCRIPTION

Le tamis moléculaire UOP TYPE AG-DG est un adsorbant a base d'alumino –silicate, il adsorbe les molécules avec un diamètre critique jusqu'à 4 Angstrom.

### II.1. Fiche technique du tamis moléculaire

Propriétés	Caractéristiques	
<b>Diamètre nominale des pores</b>	4	°A
<b>Diamètre des particules</b>	1.6	Mm
<b>Densité tassée</b>	700	kg/m <sup>3</sup>
<b>Chaleur de désorption de l'eau</b>	1800	kcal/kg d'eau
<b>Teneur en eau résiduelle</b>	2	%
<b>Capacité en eau à l'équilibre</b>	21	%
<b>Capacité calorifique</b>	0.22	kcal/kg°C

**Tableau13.** Fiche technique du tamis moléculaire [4] et [2].

## II.2. Application

LE TYPE A4-DG a été spécialement développé pour les applications de séchage des hydrocarbures saturés. Sa excellente capacité dynamique combinée à sa faible perte de charge en font un choix idéal pour le séchage du gaz naturel et des GPL ou des spécifications très strictes de séchage sont nécessaires dans la durée.

## II.3. Formule chimique : $\text{Na}_{12}(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12} \cdot \text{H}_2\text{O}$

## II.4. Régénération

Le tamis moléculaire UOP type 4A-DG peut être régénéré par purge à haute température, l'efficacité de la régénération dépend de la température, de la pression et de la teneur en humidité du gaz de purge.

## II.5. Propriétés de tamis moléculaire type 4a-dg TRISIV™ 1/8'' :

PROPRIETE TYPIQUE	4A-DG TRISIV™ 1/8''
Formule de la particule	Extrudé trilobique (brevet UOP)
Diamètre de la particule	3.2 mm
Masse volumique apparente (kg/cm <sup>3</sup> )	641
Resistance à l'encrassement	8
Chaleur d'adsorption (kJ/kg h <sub>20</sub> )	4186
Capacité en eau à l'équilibre (%wt)**	22
Teneur en eau résiduelle (à l'expédition)	<1.5

Tableau14. Les propriétés du tamis moléculaire [7].

**II.6. Paramètres de fonctionnement :**

<b>DEBIT DE CHARGE GPL</b>	<b>195000kg/hr</b>
<b>Direction de l'écoulement GPL</b>	Vers le bas à travers couches
<b>Pression de design</b>	39kg/cm <sup>2</sup> (555psia)
<b>Pression de service</b>	24kg/cm <sup>2</sup> (341psia)
<b>Température de service</b>	280°c
<b>Température de design</b>	A déterminer

**Tableau15.** Les paramètres de fonctionnement [7].**II.7. Composition a l'entrée :**

<b>COMPOSITION</b>	<b>POURCENTAGE</b>
<b>ETHANE</b>	1-2%
<b>PROPANE</b>	62-65%
<b>I-BUTANE</b>	13-15%
<b>N-BUTANE</b>	23-30%
<b>I-PENTANE</b>	21ppm
<b>H<sub>2</sub>O</b>	320PPM

**Tableau16.** La composition de GPL a l'entrée [7].**II.8. Composition a la sortie [7]**

- Débit GPL 195000 kg/hr
- H<sub>2</sub>O <1PPM
- Lit de tamis moléculaire 9990 kg de UOP MOLSIV 4A(1/16)
- Dimension 2286\*4801 mm
- Profondeur du lit 3719 mm
- Température minimum design 14°f -10°c at 555 psia 3827 kpa

- 76 mm couche billes céramique de ½’’ pour le support du lit (partie supérieure)
- 76 mm couche de billes céramique de ¼ ‘’ pour le support du lit
- 76 mm couche de bille céramique de ½ ‘’ pour le support du lit (Partie inférieure)

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 ;
- Le pourcentage résiduel d’eau est très faible ;
- Il nécessite un fonctionnement discontinu ;
- L’adsorbant est un produit cher et doit être remplacé tous les 3 ans.

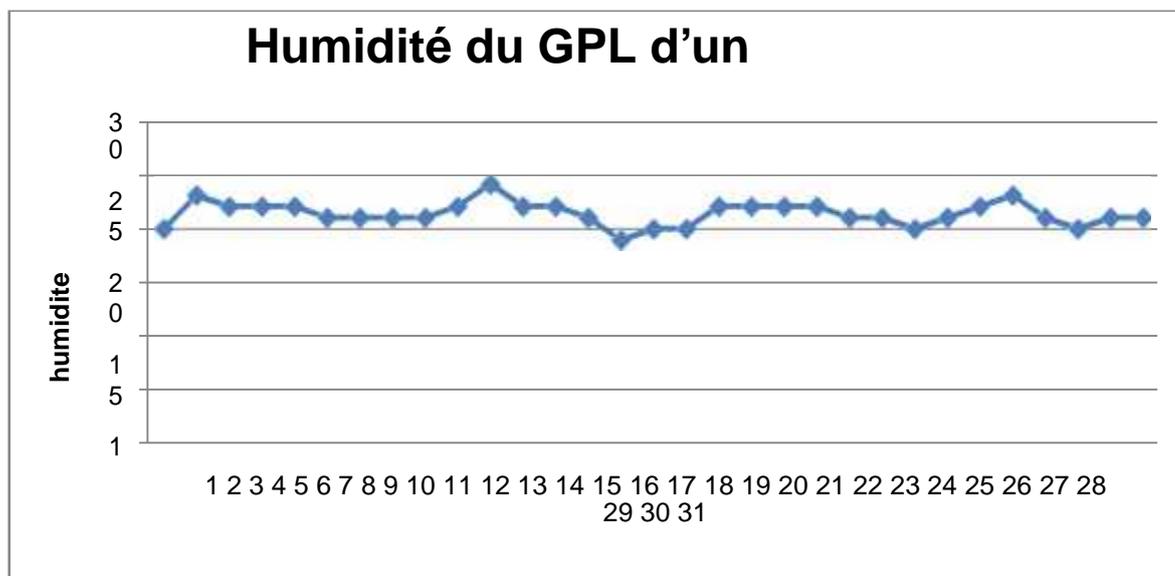
#### IV.1 PROBLEMATIQUE

Le problème qui nous a été soumis pour une étude étant d'évaluer les performances des sécheurs, rechercher l'optimisation du tamis moléculaire particulièrement du temps de passage du GPL en fonction des différentes phases d'opérations, sans pour autant négliger la qualité du gaz de charge avec sa concentration en eau.

Il est à noter que le design de la section de déshydratation de charge du complexe GP2/Z a été conçu pour une teneur en eau dissoute dans la charge du GPL égale à 100 ppm, avec un temps d'adsorption et de régénération fixé à 24 heures.

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.

#### Relèves de l'humidité contenue dans la charge



**Tableau18** . humidite de GPL d'une durée d'un mois.

#### REMARQUE

D'après les suivis effectués dans des périodes différentes allant de 24h à un mois, et les résultats du laboratoire, nous avons constaté que la teneur en eau dans la charge n'a pas dépassé les 25 ppm.

Donc le sécheur travaille bien au dessous de ses performances, et ceci induit des pertes considérables en énergie et une dégradation au niveau des tamis moléculaire.

L'objet de notre travail consiste à effectuer une étude théorique et pratique en prenant en considération les différentes concentrations en eau.

C'est pourquoi nous allons procéder à la recherche des solutions possibles à notre problème, cette préoccupation est axée sur les variables suivantes :

- **La prolongation du temps d'adsorption ;**
- **Variation du temps de régénération.**

On choisira la solution qui nous permet le plus d'économiser de l'énergie, et de préserver la durée de vie du dessicant sans pour autant perturber la capacité de production et la qualité du produit final.

La durée de vie du dessicant augmente suite à la diminution du nombre de séquences :

- Dépressurisation ;
- Pressurisation ;
- Chauffage ;
- Refroidissement.

## **IV.2 BUT**

Dans cette partie, notre travail consiste à optimiser le fonctionnement de la section de déshydratation de la charge, en déterminant le temps d'adsorption nécessaire pour exploiter l'adsorbent jusqu'à son point de saturation, en fonction de la teneur d'eau dans la charge, tout en essayant d'optimiser les paramètres de fonctionnement du cycle de chauffage, avec une partie calcul qui se compose comme suit :

- Un bilan thermique ;
- Un bilan de matière.

## V.1 INTRODUCTION

Avant de commencer notre travail nous allons vérifier le dimensionnement du déshydrateur et sa conformité avec la marge du design afin qu'on puisse appliquer notre méthode de calcul pour le cas actuel.

### V.1.1 DIMENSIONNEMENT DU SECHEUR

#### V.1.1.1 PROPRIETE DU GPL

- Débit de traitement :  $Q = 180 \text{ t/h} = 335.5 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- $P = 21 \text{ bars}$
- $T = 22^\circ\text{C}$
- $d_{\text{GPL}} = 0.54$

#### V.1.1.2 COMPOSITION DE LA CHARGE

COMPOSANT	Poids Molaire ( $y_i$ )	% Molaire ( $M_i$ )
$C_1$	16	0.8
$C_2$	30	1.65
$C_3$	44	55.76
i- $C_4$	58	12.66
n- $C_4$	58	28.79
i- $C_5$	72	0.25
n- $C_5$	72	0.09
$C_6$	86	0.00

Poids moléculaire du GPL est calculé par :

$$M_{\text{GPL}} = \sum Y_i \times M_i$$

$$M_{\text{GPL}} = 49.44 \text{ Kg/Kmole}$$

- Solubilité de l'eau dans le GPL à  $T = 25^\circ\text{C}$ .
- Teneur en eau à l'entrée de sécheur :  $X_E = 100 \text{ PPM}$ .
- Teneur en eau à la sortie de sécheur :  $X_S = 5 \text{ PPM}$ .
- Phase liquide
- Masse volumique de GPL

$$\rho_{\text{GPL}} = 536.6 \text{ Kg/m}^3 = 33.5 \text{ Lb/ft}^3$$

## V.2 DIMENSIONNEMENT D'UN DESHYDRATEUR

**V.2.1 CALCUL DE LA QUANTITE D’EAU ADSORBEE (BILAN DE MATIERE)  
II.1.1. DIAMETRE MINIMUM DU LIT**

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

$$D_{\min} = \left[ \frac{4 \times 10^{-1} \times Q}{f \times G} \right]^{0.5} \dots\dots\dots(15)$$

Pour les tamis moléculaires, la vitesse de l’écoulement est donnée par la formule suivante :

$$G = 3600 \times (1.06 \times G_{\text{GPL}} \times \text{tamis} \times D_p)^{0.5} \dots\dots\dots(16)$$

**Puisque**

- $D_p = 0.00525 \text{ ft.}$
- $G_{\text{GPL}} = 536.6 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 33.5 \text{ Lb} / \text{ft}^3.$
- $Q = 335.5 \text{ m}^3 / \text{hr} = 11848.07 \text{ft}^3 / \text{hr}.$
- $\text{tamis} = 700 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 43.69 \text{ Lb} / \text{ft}^3.$
- $G = 103021 \text{ Lb} / \text{ft}^2 \text{hr}.$

**Donc**

$D_{\min} = 7 \text{ ft} = 2.13 \text{ m}$
--

C’est le diamètre minimum que nous devons respecter où le sécheur doit avoir un diamètre  $D_{\min}$ .

**V.2.2 LA HAUTEUR TOTALE DU LIT**

La hauteur totale du lit est donnée par l’équation suivante :

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

**V.2.2.1 Calcul de la vitesse actuelle d’écoulement**

$$U_{\text{act}} = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots(18)$$

Avec:

$$S = \frac{\pi D_L^2}{4}$$

$$S = 38.465 \text{ ft}^2; \quad \Rightarrow$$

$U_{\text{act}} = 0.085 \text{ft/s} = 5.1 \text{ ft/min}$
---

**V.2.3 Calcul de débit d'eau**

$$q_w = \frac{Y_{in} Q_{GPL}}{f D_L^2} \dots\dots\dots(19)$$

Avec :

$Y_{in}$  : teneur de l'adsorbat dans l'alimentation.

$Y_{in} = 100 \text{ kgH}_2\text{O} / 10^6 \text{ kg de tamis}$

Donc :

$$\Rightarrow q_w = 1.038 \text{ LbH}_2\text{O/ft}^2\text{hr}$$

**V.2.4 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse**

$$H_z = \frac{225}{U_{act}^{0.5506} \times R_s^{0.2646}} q_w^{0.7895} \dots\dots\dots(20)$$

Le GPL saturé a  $T=20^\circ\text{C}$  contient 300 ppm d'eau (voir figure courbe de solubilité de  $\text{H}_2\text{O}$  dans le GPL).

300 ppm mole = 107.46 ppm en poids

$R_s = 100 / 107.46 = 93.05 \%$

$$H_z = 28.7 \text{ inch} = 2.4 \text{ ft} = 0.731 \text{ m}$$

**V.2.4.1 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre**

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

Avec la hauteur totale du lit  $H_t = 11.2 \text{ ft} = 3.4 \text{ m}$  (fiche technique du tamis)

Donc  $H_s = 8.8 \text{ ft}$

**V.3 ESTIMATION DE LA CAPACITE D'ADSORPTION A L'EQUILIBRE**

La capacité d'adsorption est de 21 Lb d'eau / Lb de tamis moléculaire qui représente la saturation complète du tamis moléculaire. (Voir fiche technique)

$$X_s = 21 - X_1$$

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

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

■ La capacité d'adsorption de la 1ere année est

$$\text{Cap} = 100 - 100 \times 0.05 \implies \text{Cap} = 95 \% .$$

■ La capacité d'adsorption de la 2eme année est

$$\text{Cap} = 95 - 95 \times 0.05 \implies \text{Cap} = 90.25 \% .$$

■ La capacité d'adsorption de la 3eme année est

$$\text{Cap} = 90.25 - 90.25 \times 0.05 \implies \text{Cap} = 85.73 \% .$$

Donc la perte des 3 années est la suivante

$$\text{Perte} = 100 - 85.73 \implies \text{perte} = 14.27 = 0.1427\%$$

La capacité sera enfin :

$$X_s = (21 - X_1) \times (1 - 0.15) \quad \text{Avec } X_1 = 2\%$$

$X_1$  : teneur de l'adsorbant résiduelle dans l'adsorbant à l'état neuf.

Donc  $X_s = 16.15 \text{ Lb d'eau / 100Lb adsorbant}$

**V.3.1 Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessinant**

$$X = X_s \times \left[ \frac{1 - C \times \frac{H_z}{H_s}}{1 - C} \right] \dots\dots\dots(22)$$

$X = 14.16 \text{ Lb d'eau / Lb d'adsorbant}$

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

**V.3.2 Estimation de la quantité d'eau absorbée  $M_{ads}$**

$$M_{ads} = \frac{[H_s - (C \times H_z)] \times (X_s \times D_L^2 \times \dots_{tamis})}{254.76} \dots\dots\dots(23)$$

$M_{ads} = 1047.7 \text{ Lb}$

**V.3.3 Calcul du temps d'adsorption**

$$t_{ads} = \frac{M_{ads}}{Y_{in} \times Q \times \dots \frac{1}{GPL}} \dots\dots\dots(24)$$

$t_{ads} = 26.3 \text{ hr}$

**V.3.4 Détermination de l'efficacité d'adsorption**

$$EFF = \frac{X}{X_s} \dots\dots\dots(25)$$

⇒ EFF = 0.875 = 87.5%

**V.4 CALCUL DU BILAN THERMIQUE**

**V.4.1 1. Propriété du gaz de régénération**

**V.4.1.1 .La composition du gaz de régénération**

Composition	% Molaire	Poids moléculaire	T <sub>c</sub> (°K)	P <sub>c</sub> (atm)
<b>N<sub>2</sub></b>	5.451	28	126.2	33.5
<b>CO<sub>2</sub></b>	0.203	44	304.2	72.9
<b>C<sub>1</sub></b>	83.678	16	190.56	45.8
<b>C<sub>2</sub></b>	7.499	30	305.5	48.2
<b>C<sub>3</sub></b>	1.979	44	370	42
<b>i-C<sub>4</sub></b>	0.295	58	407.82	36
<b>n-C<sub>4</sub></b>	0.456	58	425.1	32.9
<b>i-C<sub>5</sub></b>	0.096	72	460.35	37.5
<b>n-C<sub>5</sub></b>	0.106	72	469.65	33.3
<b>C<sub>6</sub></b>	0.053	86	506.37	29.9
<b>He</b>	0.184	4	5.2	2.26

Poids moléculaire du GN :

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

⇒ M<sub>GN</sub>= 18.7585 Kg/Kmole

**V.4.2 Le gaz naturel de réchauffage**

$$\left. \begin{array}{l} T= 280^{\circ}C. \\ P= 10bars. \end{array} \right\}$$

**V.4.2.1 Calcul du coefficient de compressibilité (Z)**

[3]

$$Z = f (Tr, Pr)$$

Avec :

$$Pr = \frac{P}{Pc} \quad \text{Et} \quad Tr = \frac{T}{Tc}$$

- Tc, Pc : température et pression pseudo-critiques.
- Tr, Pr : température et pression réduite.

D’après l’abaque 1 de calcul de facteur de compressibilité Z

$$Z = 0.99$$

**V.4.2.2 Calcul de la masse volumique du GN**

$$\rho_{GN} = \frac{P M_{GN}}{Z RT} \dots\dots\dots(27)$$

Puisque

- Z= 0.99.
- M<sub>GN</sub> = 18.7585 Kg/Kmole.
- T =280 °C = 553K.
- P = 10 bars = 9.871 atm.
- R = 0.082 l.atm/mole. K.

Alors

$$\rho_{GN} = 4.124 \text{ Kg/m}^3$$

**V.4.2.3 Calcul de la capacité calorifique du gaz de chauffage (CPg)**

Pour faciliter les calculs on a utilisés le logicielhsys pour calculer les capacités calorifiques du gaz naturel qui nous à donner le résultat suivant :

$$Cpg = 2.864 \text{ KJ/ Kg } ^\circ\text{C} = 0.8642 \text{ Btu / Lb mole } ^\circ\text{F}.$$

**V.4.3 Le gaz naturel de refroidissement**

$$\left. \begin{array}{l} T= 40^\circ\text{C}. \\ P= 10 \text{ bars}. \end{array} \right\}$$

**V.4.3.1 Calcul du coefficient de compressibilité (Z)**

$Z = f (Tr, Pr)$

Avec :

$P_r = \frac{P}{P_c}$  Et  $T_r = \frac{T}{T_c}$

- $T_c, P_c$  : température et pression pseudo-critiques.
- $T_r, P_r$  : température et pression réduite.

$T_c = Y_i \times T_{ci} \dots \dots \dots (29)$

$\Rightarrow T_c = 363.091 \text{ K}$

$P_c = Y_i \times P_{ci} \dots \dots \dots (30)$

$\Rightarrow P_c = 675.75 \text{ psia}$

Et d'après l'abaque 1 :

$\Rightarrow \boxed{Z = 0.98}$

**V.4.3.2 Calcul de la masse volumique du GN**

$\rho_{GN} = \frac{P}{Z R T} M_{GN} \Rightarrow$

$\rho_{GN} = 7.36 \text{ kg} / \text{m}^3$

**V.4.3.3 Calcul de la capacité calorifique de refroidissement (CPg)**

On utilise le logiciel hysys pour le calcul de la capacité calorifique de refroidissement on trouve :

$C_{pg} = 2.130 \text{ KJ} / \text{Kg } ^\circ\text{C} = 0.5080 \text{ Btu} / \text{Lb mole } ^\circ\text{F}.$

**V.5 BILAN THERMIQUE DES TAMIS**

**V.5.1 Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage du tamis  $Q_{tamis}$**

**V.5.1.1 Calcul de la masse du tamis  $m_t$**

$m_t = \frac{f D_L^2}{4} H_t \dots \dots \dots (32)$

Puisque :

- $D_L = 7\text{ft}.$
- $H_t = 11.2 \text{ ft}.$

$$\blacksquare \quad m_{\text{tamis}} = 700 \text{ Kg/m}^3 = 43.69 \text{ Lb/ft}^3.$$

Donc :

$$m_t = \Rightarrow \boxed{18822 \text{ Lb}}$$

### V.5.1.2 Calcul de la température moyenne du lit en fin de chauffage

$$T = T_s - \left( \frac{T_e}{T_s} \right)^2$$

Puisque :

$$\blacksquare \quad T_s = 200 \text{ }^\circ\text{C} = 473 \text{ K.}$$

$$\blacksquare \quad T_e = 280 \text{ }^\circ\text{C} = 553 \text{ K.}$$

Donc :

$$\Rightarrow \boxed{T = 198.04 \text{ }^\circ\text{C} = 471.04 \text{ K}}$$

Donc la chaleur nécessaire pour le réchauffage du tamis est :

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

Puisque :

$$\blacksquare \quad T = 198.04 \text{ }^\circ\text{C} = 388.47 \text{ }^\circ\text{F.}$$

$$\blacksquare \quad T_{\text{ads}} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 77 \text{ }^\circ\text{F.}$$

$$\blacksquare \quad m_t = 18822 \text{ Lb.}$$

$$\blacksquare \quad C_{p_{\text{tamis}}} = 0.22 \text{ Btu / Lb }^\circ\text{F.}$$

Donc :

$$\Rightarrow \boxed{Q_{\text{tamis}} = 1289747.45 \text{ Btu}}$$

### V.5.2 Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage de l'acier $Q_{\text{acier}}$

$$Q_{\text{acier}} = m_{\text{acier}} \times C_{p_{\text{acier}}} \times (T - T_{\text{ads}})$$

$$\blacksquare \quad m_{\text{acier}} = 28268.30564 \text{ Lb.}$$

$$\blacksquare \quad C_{p_{\text{acier}}} = 0.12 \text{ Btu / Lb }^\circ\text{F.}$$

$$\blacksquare \quad T = 198.04 \text{ }^\circ\text{C} = 388.47 \text{ }^\circ\text{F.}$$

$$\blacksquare \quad T_{\text{ads}} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 77 \text{ }^\circ\text{F.}$$

Donc la chaleur nécessaire pour le réchauffage de l'acier est :

$$\boxed{Q_{\text{acier}} = 1056567.499 \text{ Btu}}$$

**V.5.3 Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption  $Q_{deshy}$**

$$Q_{deshy} = M_{ads} \times H$$

Puisque

$$H = 1800 \text{ Btu/LbD'après figure 2.}$$

$$M_{ads} = 1047.7 \text{ LB}$$

Donc

$$\Rightarrow Q_{deshy} = 1885860 \text{ Btu}$$

**V.5.4 Calcul des pertes de chaleurs  $Q_{perte}$**

$$Q_{perte} = 0.1 \times (Q_{deshy} + Q_{tamis} + Q_{acier})$$

Puisque

- $Q_{deshy} = 1885860 \text{ Btu.}$
- $Q_{tamis} = 1289747.45 \text{ Btu.}$
- $Q_{acier} = 1056567.499 \text{ Btu}$

Donc

$$Q_{perte} \Rightarrow 423217.5 \text{ Btu}$$

**V.6 Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération  $Q_{totale}$**

$$Q_{totale} = Q_{tamis} + Q_{deshy} + Q_{acier} + Q_{perte}$$

- $Q_{deshy} = 1885860 \text{ Btu.}$
- $Q_{tamis} = 1289747.45 \text{ Btu.}$
- $Q_{acier} = 1056567.499 \text{ Btu.}$
- $Q_{perte} = 423217.5 \text{ Btu.}$

$$\Rightarrow Q_{totale} = 4655392.45 \text{ Btu}$$

**V.7 Calcul de la chaleur l'économiseur par le four  $H_f$**

**V.7.1 Calcul de la capacité calorifique moyenne du gaz  $C_{Pg moy}$**

$$C_{Pg moy} = \frac{C_{Pg_{40^\circ C}} + C_{Pg_{280^\circ C}}}{2} \dots\dots\dots(34)$$

$$C_{pgmoy} = 2.497 \text{ KJ/ Kg } ^\circ\text{C} = 0.5961 \text{ Btu/ Lb } ^\circ\text{F}$$

D'après l'équation :

$$H_f = M_g \times C_{pg} \times (T_e - T_{ads})$$

Puisque

- $C_{pg} = 0.5961 \text{ Btu / Lb } ^\circ\text{F}$ .
- $M_g = 1300 \text{ Kg/hr} = 2866.6 \text{ Lb/hr}$ .
- $T_e = 280^\circ\text{C} = 536^\circ\text{F}$ .
- $T_{ads} = 25^\circ\text{C} = 77^\circ\text{F}$ .

Donc

$$\Rightarrow H_f = 784330 \text{ Btu /hr}$$

### V.8 CALCUL DU TEMPS DE RECHAUFFAGE DU TAMIS « TR »

On détermine d'abord l'efficacité thermique durant la régénération (EFF)

Débit de GN de chauffage ( $Q_1$ : Kg/hr)	1300
Température du GN à l'entrée de l'économiseur ( $T_i$ :K)	298
Température du GN sortant de l'économiseur ( $T_e$ :K)	626
Capacité calorifique moyenne ( $CP_g$ :BTU/Lb $^\circ$ F)	2.374

#### V.8.1 Calcul de l'énergie totale fournie par l'économiseur

$$E_{totale} = C_{pg_{moy}} \times Q_i \times (T_i - T_e) \dots \dots \dots (35)$$

$$\Rightarrow E_{totale} = 1221093194 \text{ Btu / hr}$$

#### V.8.2 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis $Q_{tamis}$

$$Q_{tamis} = m_t \times C_{pt} \times (T_f - T_i)$$

$$\Rightarrow Q_{tamis} = 190064556 \text{ Btu}$$

#### V.8.3 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier $Q_{acier}$

$$Q_{acier} = m_{acier} \times C_{pacier} \times (T_f - T_i)$$

- $m_{acier} = 28268.30564 \text{ Lb}$ .

$$\blacksquare C_{\text{acier}} = 0.12 \text{ Btu / Lb } ^\circ\text{F.}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{acier}} = 103126213 \text{ Btu}$$

#### V.8.4 Calcul des pertes de chaleur $Q_{\text{perte}}$

$$Q_{\text{perte}} = 0.1 \times (Q_{\text{deshy}} + Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{acier}})$$

$$\Rightarrow Q_{\text{perte}} = 481776.77 \text{ Btu}$$

#### V.8.5 Calcul de la chaleur totale réelle consommé par lesystème « sécheur »

$$Q_{\text{totale}} = Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{deshy}} + Q_{\text{acier}} + Q_{\text{perte}}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{totale}} = 5299544.46 \text{ Btu}$$

#### V.9 Calcul de l'efficacité thermique de l'économiseur EFF'

$$EFF' = \frac{Q_{\text{totale}}}{E_{\text{totale}}} \text{ EFF} = 0.434 \Leftrightarrow$$

. Donc Le temps de réchauffage du tamis est :

$$t_r = \frac{Q_{\text{totale}}}{(H_f \times \text{Eff})}$$

Puisque  $H_f$  : 784330 BTU/hr

$$t_r = 13.5 \text{ hr}$$

$\Rightarrow$

#### V.10 Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur par cycle

Puisque  $t_{\text{ads}} = 26.3 \text{ hr}$

$$H_{\text{cycle}} = \frac{H_f \times t_r}{t_{\text{ads}}}$$

$$H_{\text{cycle}} = \Rightarrow 403523.43 \text{ Btu}$$

**V.11 Calcul du temps de refroidissement du tamis « tref »**

$$t_{ref} = \left[ \frac{(Q_{tamis} + Q_{acier})}{Q_{totale}} \right] \times t_r$$

- $Q_{tamis} = 1289747.45$  Btu.
- $Q_{totale} = 4655392.45$  Btu.
- $Q_{acier} = 1056567.499$  Btu.
- $t_r = 13.5$  hr.

⇒  **$t_{ref} = 8$  hr**

**V.12 CALCUL DES PERTES DE CHARGES**

**V.12.1 Calcul de la perte de charge  $\frac{\Delta P}{L_1}$  pour le GN chaud**

**V.12.1.1 calcul de la vitesse superficielle U1 à travers le lit**

- $S = \frac{f D^2}{4} = 38.465$  ft<sup>2</sup>
- $GPL = 4.018$  Kg/ m<sup>3</sup> = 0.2515 Lb/ ft<sup>3</sup>.
- $M_g = 1300$  Kg / hr = 2866.6 Lb/hr.

$$U_1 = \frac{M_g}{60 \times S \times \dots_{GN}} \dots\dots\dots(36)$$

⇒  **$U_1 = 5.5$  ft / min**

**V.12.1.2 Calcul de la perte de charge Connaissant la densité relative et la pression de régénération**

- **P = 10 bars.**
- $d_r = \frac{M_{GN}}{M_{air}} = 0.643$
- T= 280°C
- VIS=0.0151 Cp=0.0365 Lb/ft<sup>3</sup>hr d’après la figure3

$$\frac{\Delta P}{L} = (A \times VIS \times U) + (B \times \dots_{GN} \times U^2)$$

Avec

A = 0.0561 et B = 0.0000889



A = 0.0561 ;  
 B = 0.0000889.

$\Rightarrow$   $P/L = 0.01 \text{ psi/ft}$

**V.12.2.3 Calcul du nombre de Reynolds**

$$R_e = \frac{G \times D_L}{VIS}$$

$G = \frac{M_g}{S} \Rightarrow G = 74.524 \text{ Lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$

Donc :  $R_{e1} = 18304.14$

**V.RECAPITULATION DES RESULTATS**

	Les valeurs calculées		Les valeurs de design	
<b>D</b>	= 7ft	= 2.13m	= 7.5 ft	= 2,28 m
<b>H<sub>t</sub></b>	= 11.2ft	= 3.4m	= 11.2ft	= 3.4 m
<b>H<sub>f</sub></b>	= 784300 BTU/hr	= 175000 Kcal /hr	<b>0.15×10<sup>6</sup> H<sub>f</sub></b>	<b>0.33×10<sup>6</sup> Kcal/hr</b>
<b>t<sub>r</sub></b>	= 13.5hr		= 11 hr	
<b>t<sub>ref</sub></b>	= 8hr		= 6hr	
<b>M<sub>g</sub></b>	= 2866.6 Lb/hr	= 1300Kg/hr	<b>1000 débit 2500Kg/hr</b>	
<b>M<sub>ref</sub></b>	= 2866.6 Lb/hr	= 1300Kg/hr		
$\frac{\Delta P_1}{L}$	= 0.127	psi/ft	$0.01 \leq \frac{\Delta P}{L} \leq 0.25 \text{ psi / ft}$	
$\frac{\Delta P_2}{L}$	= 0.01	psi/ft		
<b>R<sub>e1</sub></b>	= 14292.27		<b>R<sub>e</sub> 2500</b>	
<b>R<sub>e2</sub></b>	= 7994.73			
<b>t<sub>ads</sub></b>	= 26.3hr		= 24 hr	

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

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

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

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

## IV.1 La prolongation du temps d'adsorption

Puisque le déshydrateur est dans la marge design nous pouvons appliquer notre méthode de calcul pour une teneur d'eau de 25 ppm.

### IV.1.1 Calcul du temps d'adsorption

#### IV.1.2 Calcul de débit d'eau

$$q_w = \frac{4 \times Y_{in} \times Q \times \dots_{GPL}}{f \times D_L^2}$$

$Y_{in}$  : La teneur en eau dans la charge à l'entrée du déshydrateur exprimée en PPM  
massique  $Y_{in} = 25$  ppm

$$\Rightarrow q_w = 0.285 \text{ LbH}_2\text{O/ft}^2 \text{ hr}$$

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

#### IV.1.1.2 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse

$$H_z = \frac{225}{U_{act}^{0.5506}} \times \frac{q^{0.07895}}{R_s^{0.2646}}$$

- $U_{act} = 0.085 \text{ ft/s} = 5.1 \text{ ft/min}$
- $R_s = 25/107.46 = 23.26\%$

$$H_z = 13.69 \text{ inch} = 1.14 \text{ ft}$$

Nous remarquons que la zone de transfert est en une relation directe avec le débit d'eau qui implique la diminution de la zone de transfert.

#### IV.1.3 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre

$$H_s = H_t - H_z$$

$$H_s = 8.8 \text{ ft}$$

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

### V.1.1. Estimation de la quantité d'eau absorbée $M_{ads}$

$$X_s = 16.15 \text{ Lb d'eau / 100 Lb d'adsorbant}$$

$$\Rightarrow X = 15.67 \text{ Lb d'eau / Lb d'adsorbant}$$

$$M'_{ads} = \frac{[H_s - (C \times H_z)] \times (X_s \times D_L^2 \times \dots_{tamis})}{254.76}$$

$$M'_{ads} = 1295.64 \text{ Lb}$$

C'est une quantité d'eau qui devrait être adsorbé par le sécheur mais puisque la section de déshydratation est assez ancienne elle n'a pas la même capacité d'adsorption qui nous oblige d'utiliser un Coefficient de correction  $Cr = 0.65$

$$M_{ads} = 0.65 M'_{ads}$$

$$M_{ads} = 842.16 \text{ Lb}$$

### V.1.2 Donc le nouveau temps d'adsorption jusqu'à saturation est

$$t_{ads} = \frac{M_{ads}}{Y_{in} \times Q \times \dots \times 1_{GPL}}$$

$$T_{ads} = 80 \text{ heures}$$

### V.1.3 Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicants

$$X = X_s \times \left[ \frac{1 - C \times H_z}{H_s} \right]$$

$$\Rightarrow X = 15.32 \text{ Lb d'eau / Lb d'adsorbant}$$

### V.1.4 Détermination de l'efficacité d'adsorption

$$EFF = 0.94$$

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

## VI.1 CALCUL DU BILAN THERMIQUE

### VI.1.1 Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption $Q_{deshy}$

$H = 1800 \text{ Btu/Lb}$  D'après figure 2.

$$Q_{deshy} = M_{ads} \times H$$

$$\Rightarrow Q_{deshy} = 1515888 \text{ Btu}$$

### VI.1.2 Calcul des pertes de chaleurs $Q_{perte}$

$$Q_{perte} = 0.1 \times (Q_{deshy} + Q_{tamis} + Q_{acier})$$

Puisque

- $Q_{deshy} = 1515888 \text{ Btu}$
- $Q_{tamis} = 1289747.45 \text{ Btu.}$
- $Q_{acier} = 1056567.499 \text{ Btu}$

$$Q_{perte} = 386220.29 \text{ Btu}$$

### VI.1.3 Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération $Q_{totale}$

$$Q_{totale} = Q_{tamis} + Q_{deshy} + Q_{acier} + Q_{perte}$$

$$\Rightarrow Q_{totale} = 4248423.244 \text{ Btu}$$

### VI.1.4 Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur $H_f$

D'après l'équation :

$$H_f = Mg \times C_{pg} \times (T_e - T_{ads})$$

$$\Rightarrow H_f = 784330 \text{ Btu / hr}$$

### VI.1.5 Calcul du temps de réchauffage du tamis « tr »

$$t_r = \frac{Q_{totale}}{(H_f \times Eff)}$$

$$EFF' = \frac{Q_{totale}}{Q_{totale}'}$$

$$EFF = 0.434$$

$$t_r = 12.5 \text{ hr}$$

### VI.1.6 Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur par cycle

- $t_r = 12.5 \text{ hr}$  ;
- $H_f = 784330 \text{ Btu}$
- $T_{ads} = 80 \text{ hr}$

$$H_{(\text{cycle})} = \frac{H_f \times t_r}{t_{ads}}$$

$$\Rightarrow H_{\text{cycle}} = 12251.56 \text{ Btu / hr}$$

### VI.1.7 Calcul du temps de refroidissement du tamis « tref »

$$t_{ref} = \left[ \frac{(Q_{tamis} + Q_{acier})}{Q_{totale}} \right] \times t_r$$

- $Q_{tamis} = 1289747.45 \text{ Btu}$ .
- $Q_{totale} = 4248423.244 \text{ Btu}$ .
- $t_r = 12.5 \text{ hr}$ .

$$t_{ref} = 7 \text{ hr}$$

## VI.2 CALCUL DE LA PERTE DE CHARGE $\frac{\Delta P}{L_1}$ POUR LE GN CHAUD

### VI.2.1 Calcul des pertes de charges

#### VI.2.1.1 Calcul de la vitesse superficielle $U_1$ à travers le lit

- $S = \frac{f D^2}{4} = 38.465 \text{ ft}^2$
- $\rho_{GPL} = 4.018 \text{ Kg/ m}^3 = 0.2515 \text{ Lb/ ft}^3$ .
- 
- $M_g = 1300 \text{ Kg / hr} = 2866.6 \text{ Lb/hr}$

$$U_1 = \frac{M_g}{60 \times S \times \rho_{GN}} \dots\dots\dots(36)$$

$$\Rightarrow \boxed{U_1 = 5.5 \text{ ft / min}}$$

#### VI.2.1.2 Calcul de la viscosité du GN chaud $V_{IS_1}$

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

- $P = 10 \text{ bars}$ .
- $d_r = \frac{M_{GN}}{M_{air}} = 0643$
- $T = 280^\circ\text{C}$
- $VIS = 0.0151 \text{ Cp} = 0.0365 \text{ Lb/ft hr}$  d'après annexes 11, 12

$$\frac{\Delta P}{L} = (A \times VIS \times U) + (B \times \rho_{GN} \times U^2)$$

Avec

- $A = 0.0561$  ;
- $B = 0.0000889$ .

$$\Rightarrow \boxed{P/ L = 0.127 \text{ psi/ft}}$$

**VI.2.1.3 Calcul du nombre de Reynolds**

$$R_e = \frac{G \times D_L}{VIS}$$

$$G = \frac{M_g}{S} \quad \boxed{G = 74.524 \text{ Lb/ft}^2 \cdot \text{hr}} \quad \text{donc} \quad R_{e1} = 14292.27$$

**VI.2.2 CALCUL DE LA PERTE DE CHARGE  $\frac{\Delta P}{L_2}$  POUR LE GN FROID**

**VI.2.2.1 Calcul des pertes de charges**

**VI.2.2.1.1 Calcul de la vitesse superficielle U2 à travers le lit**

- $S = \frac{f D^2}{4} = 38.465 \text{ ft}^2$
- $\rho_{GPL} = 7.36 \text{ Kg/ m}^3 = 0.455 \text{ Lb/ft}^3$
- $M_g = M_{ref} = 2866.6 \text{ Lb/hr}$

$$U_2 = \frac{M_{ref}}{60 \times S \times \rho_{GN}} \dots\dots\dots(37)$$

$$\Rightarrow \boxed{U_2 = 0.997 \text{ ft /min}}$$

**VI.2.2.1.2 Calcul de la viscosité du GN froid  $V_{IS_2}$**

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

- $P = 10 \text{ bars}$
- $d_r = \frac{M_{GN}}{M_{air}} = 0643$
- $T = 40^\circ\text{C}$
- $V_{IS_2} = 0.0118C_p = 0.0285 \text{ Lb / ft}$

$$\frac{\Delta P}{L} = (A \times VIS \times U) + (B \times \rho_{GN} \times U^2)$$

Avec

- $A = 0.0561 ;$
- $B = 0.0000889.$

$$\Rightarrow \boxed{P/L = 0.01 \text{ psi/ft}}$$

**VI.2.2.1.3 Calcul du nombre de Reynolds**

$$R_e = \frac{G \times D_L}{VIS} \quad G = \frac{M_g}{S} \quad G = 32.55 \text{ Lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$$

Donc :

$$R_{e1} = 7994.73$$

**VI.3 INTERPRETATION DES RESULTATS**

D'après tous les résultats obtenus, nous avons réalisé le but de notre travail en modifiant le temps d'adsorption du déshydrateur de charge de 24H (le temps de design) et 36H (le temps actuel), au temps obtenu après les calculs qui correspond à 80 H. Cette modification doit être suivie d'une petite variation de la durée de régénération de 12.23H pour le réchauffage (au lieu de 11h pour un cycle de 24 h), et de 8,71H pour le refroidissement (au lieu de 6h pour un cycle de 24 h).

Mais on doit prendre en considération

- ✓ Le système de travail dans l'entreprise (service quart)

Le temps d'adsorption doit donc correspondre à une durée permettant une adaptation à l'organisation du service. Nous avons donc choisi un temps de 72 H et le temps de réchauffage à 12H et avec cette augmentation du temps d'adsorption, il y aura :

- Une diminution de nombre de cycle, par conséquent une augmentation de l'efficacité du tamis ;
- Un pourcentage total d'utilisation du tamis en phase d'adsorption meilleure dans un cycle de 72 h.
- Une conservation du tamis et une augmentation de sa durée de vie.
- Des pertes de charges pour le réchauffage et le refroidissement vérifiant l'intervalle recommandé ;
- Un régime d'écoulement turbulent qui favorise un bon transfert de masse, ainsi qu'une bonne distribution des gaz à travers le lit.

**VI.4 LA PARTIE PRATIQUE**

Afin de vérifier pratiquement la fiabilité de cette solution et pour vérifier que la prolongation du temps d'adsorption n'influe pas sur la qualité du produit fini, nous devons effectuer un suivi de la teneur en eau du GPL sortant du déshydrateur de charge pour un temps d'adsorption prolongé de 36H et une teneur d'eau dissoute dans la charge de 25 PPM.

La teneur désirée à la sortie est de l'ordre de 1 PPM.

**VII.1 LA REDUCTION DU TEMPS D'ADSORPTION**

**VII.1.1 CALCUL DE LA HAUTEUR DE LA ZONE D'EQUILIBRE**

Cette solution est basée sur l'optimisation des paramètres de régénération avec un temps d'adsorption de 72 h sans modifier les dimensions du tamis moléculaires, et celui de l'adsorbent  $H_t = 7.5ft$ .

On étudie l'impact de la réduction du temps de réchauffage sur la quantité de chaleur nécessaire pour la régénération du sécheur et celle fournie par l'économiseur.

**VII.1.1.1 I.1.1. CALCUL DE DEBIT D'EAU**

$$q_w = \frac{4 \times Y_{in} \times Q \times \dots_{GPL}}{f \times D_L^2}$$

$Y_{in}$  : La teneur en eau dans la charge à l'entrée du déshydrateur exprimée en PPM  
massique  $Y_{in} = 25PPM$

$$\Rightarrow q_w = 0.285 \text{LbH}_2\text{O/ft}^2 \text{ hr}$$

**VII.1.1.2 CALCUL DE LA HAUTEUR DE LA ZONE DE TRANSFERT DE MASSE**

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

- $U_{act} = 0.085ft/s = 5.1 \text{ ft/min}$
- $R_s = 25/107.46 = 23.26\%$

$$\Rightarrow H_z = 13.69 \text{ inch} = 1.14 \text{ ft}$$

**VII.1.1.3 ESTIMATION DE LA QUANTITE D'EAU ABSORBEE MADS**

D'après la relation précédente et pour une teneur en eau de 25 ppm et un temps d'adsorption de 72 h on trouve

$$M_{ads} = Y_{in} \times t_{ads} \times \dots_{GPL} \times Q \dots\dots\dots(37)$$

$$\Rightarrow M_{ads} = 716.57 \text{Lb}$$

Qui donne une zone d'équilibre égale à

$$H_s = \left[ \frac{254.76 \times M_{ads}}{X_s \times \dots_{tamis} \times D_L^2} \right] + (C \times H_z)$$

⇒ Hs = 5.79 ft

**VII.1.1.4 CALCUL DE LA HAUTEUR NON UTILISEE H'**

$$H' = H_t - H_s - H_z$$

⇒ H' = 4.27 ft

Il y a une hauteur de lit qui n'est pas utilisée puisque la zone d'équilibre à diminuer donc elle va être chauffée sans avoir adsorbé d'eau.

**VII.1.2 ESTIMATION DE LA QUANTITE REELLE D'EAU ADSORBEE PAR 100 LB DE DESSICANTS**

D'après l'équation 22 du chapitre 8

$$X = X_s \times \left[ 1 - C \times \frac{H_z}{H_s} \right]$$

⇒ X = 14.72 Lb d'eau / Lb d'adsorbant

**VII.1.3 DETERMINATION DE L'EFFICACITE D'ADSORPTION**

$$EFF = \frac{X}{X_s} \dots\dots\dots(25)$$

EFF = 0.90

L'efficacité va décroître car la quantité d'eau adsorbée réellement à diminuer puisque nous n'avons pas utilisé tous le lit.

**VII.2 CALCUL DU BILAN THERMIQUE**

**VII.2.1 CALCUL DE LA CHALEUR NECESSAIRE A LA DESORPTION**

$Q_{deshy}$   
 $H = 1800 \text{ Btu/Lb}$  D'après figure 2.

$$Q_{\text{deshy}} = M_{\text{ads}} \times H$$

$$\Rightarrow Q_{\text{deshy}} = 1289826 \text{ Btu}$$

### VII.2.2 CALCUL DES PERTES DE CHALEURS $Q_{\text{perte}}$

$$Q_{\text{perte}} = 0.1 \times (Q_{\text{deshy}} + Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{acier}})$$

Puisque

- $Q_{\text{deshy}} = 1289826 \text{ Btu}$
- $Q_{\text{tamis}} = 1289747.45 \text{ Btu.}$
- $Q_{\text{acier}} = 1056567.499 \text{ BTU}$

Donc

$$\Rightarrow Q_{\text{perte}} = 363614 \text{ Btu}$$

### VII.2.3 CALCUL DE LA CHALEUR TOTALE NECESSAIRE A LA

#### REGENERATION $Q_{\text{totale}}$

$$Q_{\text{totale}} = Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{deshy}} + Q_{\text{acier}} + Q_{\text{perte}}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{totale}} = 3999754.94 \text{ Btu}$$

### VII.2.4 CALCUL DE LA CHALEUR FOURNIE PAR L'ECONOMISEUR $H_f$

D'après l'équation :

$$H_f = Mg \times C_{pg} \times (T_e - T_{\text{ads}})$$

Puisque

- $C_{pg} = 0.5961 \text{ Btu / Lb } ^\circ\text{F.}$
- $Mg = 1300 \text{ Kg/hr} = 2866.6 \text{ Lb/hr.}$
- $T_e = 280^\circ\text{C} = 536^\circ\text{F.}$
- $T_{\text{ads}} = 25^\circ\text{C} = 77^\circ\text{F.}$

Donc

$$H_f = 784330 \text{ Btu / hr}$$

### VII.2.5 CALCUL DU TEMPS DE RECHAUFFAGE DU TAMIS « TR »

$$t_r = \left( \frac{Q_{\text{totale}}}{H_f \times \text{Eff}} \right)$$

- $\text{Eff}$  : l'efficacité thermique durant la régénération ;
- $t_r$  : le temps de chauffage (hr).

- $H_f : 784330 \text{ BTU/hr}$

$$\Rightarrow \boxed{t_r = 11.75 \text{ hr}}$$

D'après les calculs on a trouvé le même temps de réchauffage, puisque ce dernier ne dépend que de l'efficacité et la chaleur fournie par l'économiseur mais ce qui est remarquable que ce temps et pour :

- Le réchauffage d'une charge de 100ppm et un cycle de 24h.
- et une quantité d'eau absorbée  $M_{ads}$  égale à  $M_{ads} = 1295.64 \text{ Lb}$  tandis que nous avons une quantité d'eau adsorbé  $M_{ads} = 716.57 \text{ Lb}$ .

- Et une zone de transfert de masse  $H_z = 28.7 \text{ inch} = 2.4 \text{ ft}$  alors que nous avons une zone égale à  $H_z = 13.69 \text{ inch} = 1.14 \text{ ft}$

**VII.2.6 CALCUL DE LA CHALEUR FOURNIE PAR L'ECONOMISEUR PAR CYCLE**

- $t_r = 11.75 \text{ hr.}$
- $H_f = 784330 \text{ Btu/hr.}$
- $T_{ads} = 24\text{hr.}$

$$H_{(cycle)} = \frac{H_f \times t_r}{t_{ads}}$$

$$\Rightarrow \boxed{H_{cycle} = 3444166.66 \text{ Btu / hr}}$$

**VII.2.7 CALCUL DU TEMPS DE REFROIDISSEMENT DU TAMIS « TREF »**

$$t_{ref} = \left[ \frac{(Q_{tamis} + Q_{acier})}{Q_{totale}} \right] \times t_r$$

- $Q_{tamis} = 1289747.45 \text{ Btu.}$
- $Q_{totale} = 3999754.94 \text{ Btu.}$
- $Q_{acier} = 1056567.499 \text{ Btu.}$
- $t_r = 11.75 \text{ hr.}$

$$\Rightarrow \boxed{t_{ref} = 7 \text{ hr}}$$

### VII.3 INTERPRETATION DES RESULTATS

Au cours de l'étape d'adsorption, les dessiccants sont chargés d'humidité. Ceci se traduit à l'équilibre par un état de saturation, le dessiccant saturé n'adsorbe plus, une régénération doit être effectuée avant le chargement.

Ayant conservé un temps d'adsorption à 36H, cas usuel au complexe GPL2/z, nous remarquons qu'une partie du tamis est réchauffée sans pourtant avoir adsorbé, ce qui induit donc une dépense d'énergie inutile.

Au cours de cette séquence de régénération, l'humidité est éliminée par un chauffage, et dans notre cas où le lit est loin d'être totalement saturé, le chauffage de la partie sèche du lit devient inutile et peut provoquer la dégradation du tamis et par conséquent la diminution de son efficacité. Ce résultat est vérifié quelque soit la teneur d'eau dans la charge.

## X.1 ETUDE ECONOMIQUE

### X.1.1 INTRODUCTION

Pour mettre en valeur notre étude, nous avons trouvé intéressant de finaliser cette étude par un petit calcul économique traduisant les gains qui peut bénéficier le complexe GP2 par la mise en exploitation de nos résultats.

### X.1.2 INTERPRETATION ECONOMIQUE DES RESULTATS DE LA SOLUTION OPTIMALE

D'après nos résultats on peut passer d'un temps d'adsorption de 24H à un temps d'adsorption de 72H pour une teneur d'eau de la charge à l'arrivée du déshydrateur de 25 ppm et une teneur à la sortie moins de 1 ppm.

On constate que la durée déshydratation obtenu est 3 fois la durée de design et par conséquent une durée de vie des tamis prolongée

## IIX.2 CONCLUSION

D'après les résultats obtenus on constate qu'il ya un gain économique considérable par apport au design qui est estimé a 67% pour le cas de notre étude qui a beaucoup d'avantage :

Optimisation des paramètres de régénération des sécheurs

Possibilité d'arrivé au point de saturation du tamis pour une durée de 72 hr d'adsorption qui nous permis de la Conservation du tamis moléculaire et la prolongation de sa duré de vie jusqu'à **9 ans** de service (**3 ans** de service pour design)

A cette effet et sachant que le prix de tamis moléculaire est de **1,810,000.00 DA** (service finance) on peut obtient un gain financier de **3,620,000.00 DA**

## RECOMENDATIONS

Pour effectuer cette étude on 'a cité les problèmes de la section de déshydratation et quelques solution dans le tableau ci-dessus sans oublier de mettre en service le déshydrateur de garde:

PROBLEMES	SOLUTION
1- Impossible de connaitre la teneur réelle du GPL en eau.	Réparation et maintenance régulière de l'hygromètre.
2- Perte du GPL vers torche lors la séquence de remplissage.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Révision générale des vannes XV721 et XV722 et PV703 et PV704.</li> <li>• Réparation ou changement de LSH des deux sécheurs.</li> </ul>
3- Arrachement des métaux des organes internes des vannes de la section de déshydratation.	Entretien et nettoyage régulier des vannes, et les lignes de la sortie du sécheur jusqu'au filtres 440/6205A/B.
4- Dégradation rapide et diminution d'efficacité d'adsorption des tamis moléculaires.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entretien régulier des filtres, pipes, ballons...etc.</li> <li>• Prévenir des filtres a haute performance qui empêche le passage de cette poudre.</li> </ul>
5-la température en sécheurs n'atteint pas 200 °C lors de la séquence de chauffage au temps de design "12h".	Révision générale des vannes XV709 et XV712 et leurs vannes de gardes.
6-Un choc qui peut détériorer le lit des tamis moléculaires après la séquence de stand-by et a l'entrée du GPL pour séchage.	Révision générale des vannes.
7-Perte d'huile des vannes de régénération XV713 et XV716.	Modification et contrôle régulier afin de garantir un bon fonctionnement de ces vannes a ces températures élevées.
8-Introduction GPL vers réseau fuel-gaz.	Révision générale des vannes d'alimentation des sécheurs en GPL XV709 et XV712.

## CONCLUSION GENERAL

Il est nécessaire de rappeler qu'actuellement les sources d'énergie ont une part considérable 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.

Le traitement du gaz (séchage) sur les tamis moléculaire au niveau du complexe est de ramener la teneur en eau dans l'alimentation d'une valeur maximale de 100 ppm à 5 ppm a la sortie des sécheurs au niveau de la section de déshydratation.

Par contre l'exploitation actuelle de ces équipements reçoit une charge de l'ordre de 25ppm sans variation de paramètres, a cet effet

Il nous a paru indispensable et sur proposition des responsable de l'exploitation d'étudier ce problème en vue d'optimiser les paramètres de fonctionnement de la section déshydratation particulièrement aux sécheurs.

Selon les résultats obtenus de notre étude nous pouvons réaliser les points suivants :

- Une élévation du temps d'adsorption en tenant compte de la teneur en eau dans la charge.

A noter que ce temps décroît avec la croissance de la teneur en eau.

- Un temps plus grand d'adsorption entraîne un gain en énergie puisque la même quantité de gaz naturel que pour le cycle d'adsorption actuel sera dépensée pour un cycle plus long.

En plus de gain obtenue en GN, un gain supplémentaire sera réalisé dans :

- La durée de vie du tamis qui va être plus longue du fait que le vieillissement du tamis est dut surtout aux aléas de l'effet d'entraînement d'hydrocarbure, d'effritement, de tassement à haute température. elle sera plus longue qu'avec un nombre de cycle moins important, le matériel sera exposé à moins de contraintes de pression (moins de séquences de pressurisation /Dépressurisation / Refroidissement).

- Cette optimisation nous a permis de déceler un gain financier soit une économie d'une quantité de fuel gaz qui se traduit par une valeur financière de **3, 620,000.00 DA**

## LA THEORIE DE CALCUL [2] [4] [13]

### I. Le bilan énergétique

#### I.1. Calcul de la quantité totale de chaleur nécessaire à la régénération

La quantité de chaleur nécessaire à la régénération est :

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

- a.  $Q_{tamis}$  : la chaleur nécessaire au réchauffage de tamis de la température d'adsorption [la température de désorption en (BTU)] ;
- b.  $Q_{acier}$  : la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier de la température d'adsorption [la température de désorption en (BTU)] ;
- c.  $Q_{deshy}$  : la chaleur nécessaire à la désorption de l'eau fixée sur tamis (BTU) ;
- d.  $Q_{pertes}$  : considérées comme étant égales à 10% de la somme.

#### I.2. Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption $Q_{deshy}$

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

$$Q_{deshy} = M_{ads} \times \Delta H \quad \dots\dots\dots(2)$$

$\Delta H$  : La chaleur spécifique de la désorption de l'eau.

#### I.3. Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis

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

- a.  $m_t$  : la masse totale du tamis moléculaire (Lb) ;
- b.  $C_{Pt}$  : la capacité calorifique du tamis (BTU/Lb. °F) ;
- c. T : la température moyenne du lit en fin de réchauffage (°F) ;
- d.  $T_{ads}$  : la température d'adsorption (°F).

#### I.4. Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier $Q_{acier}$

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

- a.  $m_c$  : la masse totale de l'acier (Lb) ;
- b.  $C_{Pc}$  : la capacité calorifique de l'acier (LTU/Lb.°F) .

**I.5. Calcul des pertes de chaleur  $Q_{perte}$** 

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

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

- a. Calcul de la température du lit «  $T$  » :

On peut l'obtenir par la relation suivante :

$$T = T_S - \left( \frac{T_e}{T_S} \right)^2 \dots\dots\dots(6)$$

- a1  $T_e$  : La température d'entrée de gaz de régénération (°F) ;  
 a2  $T_S$  : La température de sortie de gaz de régénération (°F) ;

**I.6. Calcul de la chaleur  $H_f$  fournie par le four**

$$H_f = M_g \times C_{pg_{moy}} \times (T_e - T_{ads}) \dots\dots\dots(7)$$

- a.  $H_f$  : la chaleur fournie par le four (BTU/hr) ;  
 b.  $M_g$  : le débit du gaz de chauffage (Lb/hr) ;  
 c.  $C_{pg_{moy}}$  : la capacité calorifique moyenne du gaz (BTU/LB.°F).

**I.7. Calcul du temps de réchauffage du tamis moléculaire «  $t_r$  »**

$$t_r = \frac{Q_{totale}}{(H_f \times Eff)} \dots\dots\dots(8)$$

- a.  $Eff$  : l'efficacité thermique durant la régénération ;  
 b.  $t_r$  : le temps de chauffage (hr).

**I.8. Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle  $H_{(f)_{cycle}}$** 

Puisque 
$$\frac{H_{(f)_{cycle}}}{t_{cycle}} = \frac{3 \times H_f \times t_r}{t_{cycle}}$$

et on  $t_{cycle} = 3 \times t_{ads}$  donc :

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

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

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

### I.9. Calcul du temps de refroidissement du tamis « $t_{ref}$ »

$$t_{ref} = \left[ \frac{(Q_{tamis} + Q_{acier})}{Q_{totale}} \right] \times t_r \dots\dots\dots(10)$$

### I.10. Calcul de la chaleur soutirée au système $Q_{ref}$

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

## II. le bilan de la matière de la régénération

### II.1. Calcul du débit du gaz de refroidissement

Le débit du gaz de refroidissement est calculé comme suit :

$$M_{ref} = \frac{Q_{ref}}{C_{pg\ moy}} \times (T_S - T_E) \dots\dots\dots(12)$$

- a.  $M_{ref}$  : Le débit du gaz de refroidissement (Lb/hr) ;
- b.  $Q_{ref}$  : la chaleur soutirée au système (BTU/hr) ;
- c.  $T_E$  : la température d'entrée du gaz de refroidissement (°F).

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

### II.2. Calcul de la chute de pression

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

$$\frac{\Delta P}{L} = (A \times VIS \times U) + (B \times \dots_{GN} \times U^2) \dots\dots\dots(13)$$

où :

- a.  $\frac{\Delta P}{L}$  : la perte de charge par unité de longueur (psi/ft) ;
- b. VIS : la viscosité du GN ( $C_p$ ) ;
- c. U : la vitesse superficielle (ft/min) ;
- d.  $\dots_{GN}$  : la masse volumique du GN ( $Lb/ft^3$ ) ;
- e. A et B : sont des constantes relatives aux dimensions des particules du tamis.
  - 1) A = 0.0561 ;

$$2) B = 0.0000889.$$

### II.3. Calcul du nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est calculé par la formule suivant :

$$R_e = \frac{G \times D_p}{VIS} \dots\dots\dots(14)$$

# CONVERSION D'UNITES

<b>Distance</b>	
<b>1ft</b>	<b>0.3048m</b>
<b>1ft</b>	<b>12 pouce</b>
<b>Température</b>	
<b>1°C</b>	<b>33.8 °F</b>
<b>1°C</b>	<b>274.15°K</b>
<b>1°C</b>	<b>493.47°R</b>

<b>Masse</b>	
<b>1kg</b>	<b>0.001 T. métrique</b>
<b>1kg</b>	<b>0,001102 T</b>
<b>1Lb</b>	<b>0,45359 kg</b>
<b>Surface</b>	
<b>1m<sup>2</sup></b>	<b>10000cm<sup>2</sup></b>
<b>1m<sup>2</sup></b>	<b>1E-6 km<sup>2</sup></b>
<b>1m<sup>2</sup></b>	<b>1550,0031 pouces carrés</b>

<b>Volume</b>	
<b>1ft<sup>3</sup></b>	<b>0,02831 m<sup>3</sup></b>
	<b>28,3168 litre</b>
<b>1m<sup>3</sup></b>	<b>1000 litre</b>
<b>Pression</b>	

<b>1 bar</b>	<b>1000 milibar</b>
<b>1 bar</b>	<b>100000 pascal</b>
<b>1 bar</b>	<b>14,5037 PSI</b>
<b>1 bar</b>	<b>0,98692 atm</b>

<b>Vitesse</b>	
<b>Ft<sup>2</sup></b>	<b>M<sup>2</sup></b>
<b>Force</b>	
<b>N</b>	<b>J/m</b>
<b>N</b>	<b>0,10197k. force</b>

# NOMENCLATURE

Symbole		Unité
<b>D<sub>min</sub></b>	<b>Diamètre minimum du lit de tamis</b>	<b>ft</b>
<i>...GPL</i>	<b>Masse volumique de la charge</b>	<b>Lb/ft<sup>3</sup></b>
<b>Q</b>	<b>débit volumique de la charge</b>	<b>ft<sup>3</sup>/hr</b>
<b>G</b>	<b>vitesse massique de l'écoulement de fluide</b>	<b>Lb/ft<sup>3</sup>.hr</b>
<i>...tamis</i>	<b>Masse volumique du dissicant</b>	<b>Lb/ft<sup>3</sup></b>
<b>g</b>	<b>accélération du pesanteur</b>	<b>ft/s<sup>2</sup></b>
<b>C</b>	<b>constante relative aux tamis moléculaires</b>	
<i>H<sub>s</sub></i>	<b>La hauteur de la zone d'équilibre</b>	<b>ft</b>
<i>H<sub>z</sub></i>	<b>La longueur de la zone de transfert de masse</b>	<b>ft</b>
<b>S</b>	<b>Surface du lit</b>	<b>ft<sup>2</sup></b>
<i>D<sub>L</sub></i>	<b>le diamètre de lit</b>	<b>ft</b>
<i>Y<sub>in</sub></i>	<b>la teneur en eau dans la charge à l'entrée du déshydrateur exprimée en PPM massique</b>	
<i>H<sub>t</sub></i>	<b>la hauteur total du lit</b>	<b>ft</b>
<i>H<sub>z</sub></i>	<b>la hauteur de la zone de transfert de masse</b>	<b>ft</b>
<i>X<sub>s</sub></i>	<b>la capacité d'adsorption à l'équilibre</b>	
<i>X<sub>1</sub></i>	<b>la teneur en eau résiduelle</b>	
<b>P</b>	<b>la pression du travail</b>	<b>Psia</b>

$\Delta C_p$	<b>l'augmentation de la capacité calorifique</b>	<b>BTU/ Lb. K</b>
$C_{Pi}$	<b>la capacité calorifique du gaz de régénération</b>	<b>BTU/ Lb. K</b>
$C_{P0}$	<b>la capacité calorifique du gaz de régénération à pression constante</b>	<b>BTU/ Lb. K</b>
$V_C$	<b>le volume de l'acier</b>	<b>ft<sup>3</sup></b>
$S_{ext}$	<b>la surface externe de sécheur</b>	<b>ft<sup>2</sup></b>
$S_{int}$	<b>la surface interne de sécheur</b>	<b>ft<sup>2</sup></b>
<b>L</b>	<b>la hauteur de la colonne</b>	<b>ft</b>
$C_{Pg\ moy}$	<b>la capacité calorifique du GN</b>	<b>Kcal/Kmole.°K</b>
$Q_i$	<b>le débit du GN sortant du l'économiseur</b>	<b>°K</b>
$T_i$	<b>la température du GN à la sortie du l'économiseur</b>	<b>°K</b>
$T_E$	<b>la température du GN à l'entrée du l'économiseur</b>	<b>°K</b>
$m_t$	<b>la masse totale du tamis moléculaire</b>	<b>Lb</b>
$C_{Pt}$	<b>la capacité calorifique du tamis</b>	<b>BTU/Lb. °F</b>
<b>T</b>	<b>la température finale du sécheur après le réchauffage</b>	<b>°F</b>
$T_{ads}$	<b>la température initial du sécheur avant le réchauffage</b>	<b>°F</b>
$m_c$	<b>la masse totale de l'acier</b>	<b>Lb</b>
$C_{PC}$	<b>la capacité calorifique de l'acier</b>	<b>LTU/Lb.°F</b>
$Eff$	<b>l'efficacité thermique durant la régénération</b>	
$V_{IS_1}$	<b>la viscosité du GN</b>	<b>Lb / ft</b>
<b>tch</b>	<b>le temps de chauffage</b>	<b>hr</b>



- [1] Manuel opératoire complexe GP2/Z.
- [2] Soft Déshydratation, Département technique service étude
- [3] Estimation des propriétés physiques, par le Dr. BELAHSANE
- [4] Projet GPL/Z, formation du personnel Exploitation  
Manuel de stage section Déshydratation
- [5] Dimensionnement des colonnes d'adsorption « institut Algérien du pétrole »  
« Institut Algérien du pétrole » Mme AZROU
- [6] Cours de Dr. boulaamri
- Gas processing (LNG programm 2015)
  - Deshydratation du gaz naturel
  - Séparateur chIII
- [7] Department technique (service etude et developpement).  
Specification technique pour la fourniture de tamis moleculaire pour l'adsorption de charge  
(juillet 2009).
- [8] Perry "chemical eng. HANDBOOK"
- [9] Technique l'ingenieur
- [10] LE GAZ NATUREL (production traitement et transport)  
A.Rojet, B.Durand, C.Jahret, S.Jullian, M.Valais  
Publication de l'institut française du pétrol
- [11] Yaws, C.L. et al ; « Hydrocarbonés : Deshydratation Data » ; chem. Eng. Vol.97 april 1990
- [12] Recueil d'abaques du DATA BOOK of HYDROCARBON
- [13] RUTHVEN D.M ; principes of adsorption and adsorption process.  
John Willey et sons new york.