



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

N° d'ordre : M2...../GPM/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES  
DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Industries pétrochimiques

Option:Génie pétrochimique

Thème

Optimisation du fonctionnement de la section déshydratation de Charge  
au niveau du complexe GP1/Z

Présenté par

- 1- BENSMAIL AYMEN
- 2- BENARABI MAHIEDDINE

Soutenu le 06/07/ 2022 devant le jury composé de :

|                |                         |       |                          |
|----------------|-------------------------|-------|--------------------------|
| Présidente :   | BENDENIA SOUHILA        | Pr    | Université de Mostaganem |
| Examinatrice : | MOHAMED SGHIR<br>ZAHIRA | M.A.A | Université de Mostaganem |
| Rapporteur :   | FEDDAL IMENE            | M.C.A | Université de Mostaganem |

Année Universitaire 2021/2022

---

## *Remerciements*

Je tiens tous d'abord à remercier Dieu qui ma donné la capacité et le courage d'achever ce travail, et qui ma aidé à surmonter toutes les difficultés et les épreuves que j'ai pu rencontrer au cours de ce mémoire.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à madame FEDDAL Imène, qui a accepté de m'encadrer, en me soutenant tout le long de l'élaboration du mémoire. Je la remercie également pour son soutien moral, sa disponibilité, sa tolérance et sa gentillesse. Qu'elle soit assurée de ma profonde gratitude.

Mes remerciements à Mme BENDENIA SOUHILA d'avoir accepté de présider le jury et juger mon travail.

Je tiens à remercier madame MOHAMED SGHIR ZAHIRA, maitre assistante A à l'université de Mostaganem, l'intérêt qu'ils ont porté à cette recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions

Sans oublier mes collègues de la promotion, qui m'ont aide à terminer ce travail.

---

## **Dédicaces**

### **A mes très chers parents**

Avec mes sentiments les plus sincères et un énorme plaisir, que je dédie ce mémoire à mon très chers défunt père et ma très chères mère, en témoignage de ma profonde gratitude, et de ma pleine reconnaissance, à la confiance et au soutien qu'ils m'accordent.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis pour mon éducation et mon bien être.

### **A mes très chers frères et sœurs**

Je vous souhaite une vie pleine de succès, de joie et de bonheur.

Que Dieu vous garde et illumine vos chemins.

### **A tous les membres de ma famille petits et grands**

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

### **A mes chères amies**

---

En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie ce travail.

## Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure I.1:</b> Organigramme du complexe GP1/Z.....  | 2  |
| <b>Figure I.2:</b> Procédé de traitement du GPL.....  | 5  |
| <b>Figure I.3:</b> Sphères de stockage .....  | 6  |
| <b>Figure I.4:</b> bacs de stockage.....  | 6  |
| <b>Figure II.1 :</b> schéma de la phase de drainage.....  | 9  |
| <b>Figure II.2 :</b> schéma de la phase de dépressurisation.....                                | 10 |
| <b>Figure II.3:</b> schéma de la phase de réchauffage.....                                      | 11 |
| <b>Figure II.4 :</b> schéma de la phase de refroidissement.....                                 | 11 |
| <b>Figure II.5:</b> schéma de la phase de pressurisation .....                                  | 12 |
| <b>Figure II.6 :</b> schéma de la phase de remplissage.....                                     | 12 |
| <b>Figure III.1:</b> La zone ZMT se déplace lors de l'adsorption .....                          | 17 |
| <b>Figure III.2:</b> Tamis moléculaire sous ses différentes formes.....                         | 19 |
| <b>Figure III.3 :</b> Tamis moléculaire 3A et 4A.....   | 20 |
| <b>Figure III.4 :</b> schéma de la section déshydratation.....                                  | 24 |
| <b>Figure III.5 :</b> La variation de la teneur en eau durant les mois (avril et mai 2022)..... | 25 |

---

## Liste des tableaux

Tableau II.1 : Paramètre de température de pression et de temps pour le cycle de régénération ..... 13

Tableau III.1: Diamètres de certaines molécules..... 22

---

## Liste des abréviations

Bog : Boil- Off- Gas

CH<sub>4</sub> : méthane

C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> : l'éthane

C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> : propane

C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> : butane

C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> : pentane

DCS : digital combat simulator

GPL : gaz pétrole liquéfié

GN : gaz naturel

Ppm : partie par million

---

## Résumé

Afin de préparer notre mémoire de mise en situation professionnelle, un thème nous a été attribué, qui est l'étude de l'impact de la diminution de la teneur en eau du GPL sur les paramètres de fonctionnement de la section de déshydratation de charge.

Pour optimiser énergétiquement l'unité de deshydratation, nous avons effectué un calcul des différentes quantités de chaleur de toute la section de déshydratation, après une étude du bilan massique de la colonne d'adsorption, en commençant par présenter les données du problème ainsi que la méthodologie poursuivie pour mener à bien nos calculs.

Un travail de vérification a été, aussi, effectué pour s'assurer de la validité de la méthode de calcul.

---

A la fin de notre étude, une proposition d'un programme de calcul pour la détermination des paramètres optimums de fonctionnement de déshydrateur de charge pour faire face au problème

**Remerciements**

**Liste des Figures**

**Liste des Tableaux**

**Liste d'abréviation**

**Résumé**

Introduction générale..... 1

**Chapitre 1 : Généralités sur le GPL et Présentation du Complexe GP-1 Z**

I.1 Introduction.....2

I.2 Organisation du complexe .....2

I.3 Fiche technique du complexe gp1/z.....2

I.4 Date de mise en production.....3

I.5 Principale installation du complexe.....3

I.6 Description de système defroduction.....4

    I.6.A Traitement du GPL brut.....4

        I.6.A.a) Section du déshydratation.....4

        I.6.A.b) Section de séparation.....4

        I.6.A.c) Section de réfrigération.....4



|  |   |
|--|---|
| I.6.A.d) Section de huile chaude.....        | 5 |
| I.6.B Stockage des produits finis.....       | 6 |
| I.6.B.a) Stockage a temperature ambient..... | 6 |
| I.6.B.b) Stockage a basses temperature.....  | 6 |

## **Chapitre 2 : Présentation de la section déshydratation de charge**

|   |    |
|---|----|
| II.1 Introduction.....                      | 9  |
| II.2 Le cycle de regirination.....          | 9  |
| II.2.A Drainage.....                        | 9  |
| II.2.B Dépressurisation.....                | 10 |
| II.2.C Réchauffage.....                     | 10 |
| II.2.D Refroidissement.....                 | 11 |
| II.2.E Pressurisation.....                  | 12 |
| II.2.F Remplissage.....                     | 12 |
| II.3 Description général.....               | 13 |
| II.3.1 Equipement statique.....             | 13 |
| II.3.2 Vannerie déshydrateur de charge..... | 13 |
| II.3.2.A) Vannes individuelles.....         | 13 |
| II.3.2.B) Vannes communes.....              | 14 |

## **Chapitre 3 : Les modes de déshydratation et tamis moléculaires**

|   |    |
|---|----|
| III.1 Généralité.....                               | 16 |
| III.2 Les modes de déshydratation.....              | 16 |
| III.3 Les hydrate.....                              | 16 |
| III.3.1 Les structures des hydrates.....            | 16 |
| III.3.2 Les conditions de formation d'hydrates..... | 16 |
| III.3.2.A) Les conditions primaires.....            | 16 |
| III.3.2.B) Les condition secondaires.....           | 16 |

---

|   |    |
|---|----|
| III.4 La zone de transfert de masse.....              | 17 |
| III.4.1 Concept de la zone de transfert de masse..... | 18 |
| III.4.1.A) Les adsorbants.....                        | 18 |
| III.5 Tamis moléculaire.....                          | 19 |
| III.6 Type et dimension du tamis.....                 | 23 |
| III.7 Régénération des tamis moléculaires.....        | 23 |
| III.7.1 Augmentation de la température.....           | 23 |
| III.7.2 Diminution par variation de pression.....     | 24 |
| III.8 Exposition du problème.....                     | 25 |
| III.8.1 Explication du graphe.....                    | 25 |

---

# **INTRODUCTION GENERALE**

---

## INTRODUCTION GENERALE

L'histoire de la civilisation est en grande partie l'histoire de la conquête de l'énergie par l'homme. Grâce à des techniques de plus en plus perfectionnées, l'homme a su découvrir et exploiter l'une après l'autre, les cachettes où la nature avait stocké l'énergie : les gisements de charbon, le pétrole et le gaz.

Incontestablement, le pétrole et le gaz sont les richesses naturelles les plus importantes de notre pays.

Le gaz de pétrole liquéfié connu sous le terme GPL, est de notre temps le challenge dans le marché mondial des combustibles tels que le kérosène et le naphta.

Avant quelques années, l'énergie coûtant peu, l'industrie d'une manière générale ne prêtait pas une attention très particulière à ce sujet. Mais au cours de ces dernières années le coût de cette énergie pesant de plus en plus dans le bilan d'exploitation des entreprises, ces dernières se sont tout naturellement intéressées à ce poste qui prend une part très importante dans le coût du produit fini.

Ainsi, il est apparu progressivement que dans les unités industrielles la fonction objective à maximiser, n'est pas seulement le profil à court terme ou l'augmentation de la quantité du travail production, mais rendre les équipements fonctionnels à leur juste mesure avec un rendement maximum.

Actuellement, on peut dire que pour l'entreprise la consommation d'énergie a autant d'importance que la sécurité, la pollution ou le contrôle de qualité.

---

L'aspect d'économie d'énergie est précisément l'une des préoccupations essentielles des exploitants du complexe GP1/Z.

L'objectif de notre travail qui s'inscrit dans le cadre du projet de mise en situation professionnelle consiste à optimiser le fonctionnement de la section déshydratation de la charge, car une consommation excessive d'énergie a été observée au niveau de cette dernière.

Nous devons essayer de trouver les sources de ce problème, d'analyser les causes et de rechercher les solutions, en dehors de toute perturbation du fonctionnement normal du complexe d'une part, et d'investissement d'autre part.

Nous présentons dans un premier lieu une description du complexe GP1/Z. Nous détaillons en suite l'étude de la section déshydratation de charge.

Nous cherchons, dans une troisième partie, à localiser le problème de la consommation excessive d'énergie, pour cela nous procédons au calcul des différentes quantités de chaleur de toute la section.

## **I.1. INTRODUCTION**

Dans ce chapitre, nous présentons les généralités du gaz de pétrole liquéfié « GPL » ainsi que le complexe GP1/Z.

Le sud Algérien possède des richesses naturelles, parmi lesquelles nous citons les réserves en hydrocarbures d'où la présence d'une large gamme de produits relatifs aux gisements de pétrole et gaz. Pour la séparation de ces produits et de leurs dérivés, notre pays a investi des sommes colossales dont la nécessité est d'acquérir et installer ces grands complexes de traitement qui sont répartis en plusieurs unités comme c'est le cas du complexe GP1/Z.

Le complexe GP1/Z dénommé Jumbo a été construit pour le traitement du gaz de pétrole liquéfié « GPL » brut en provenances différents champs situés au sud Algérien afin de produire du propane et du butane destinés pour la consommation local et l'exportation.

## **I.2. ORGANISATION DU COMPLEXE**

La description des structures nous permet de connaître la situation géographique, l'effectif, les objectifs et le rôle de chaque département ainsi de connaître tout le fonctionnement du complexe GP1/Z.

Le complexe GP1/Z est géré suivant un organigramme bien déterminé de façon à bien maîtriser les tâches. Il est composé d'une direction général et deux sous directions et des départements de contrôle. L'organigramme suivant (figure I.1) montre le fonctionnement du complexe GP1/Z.

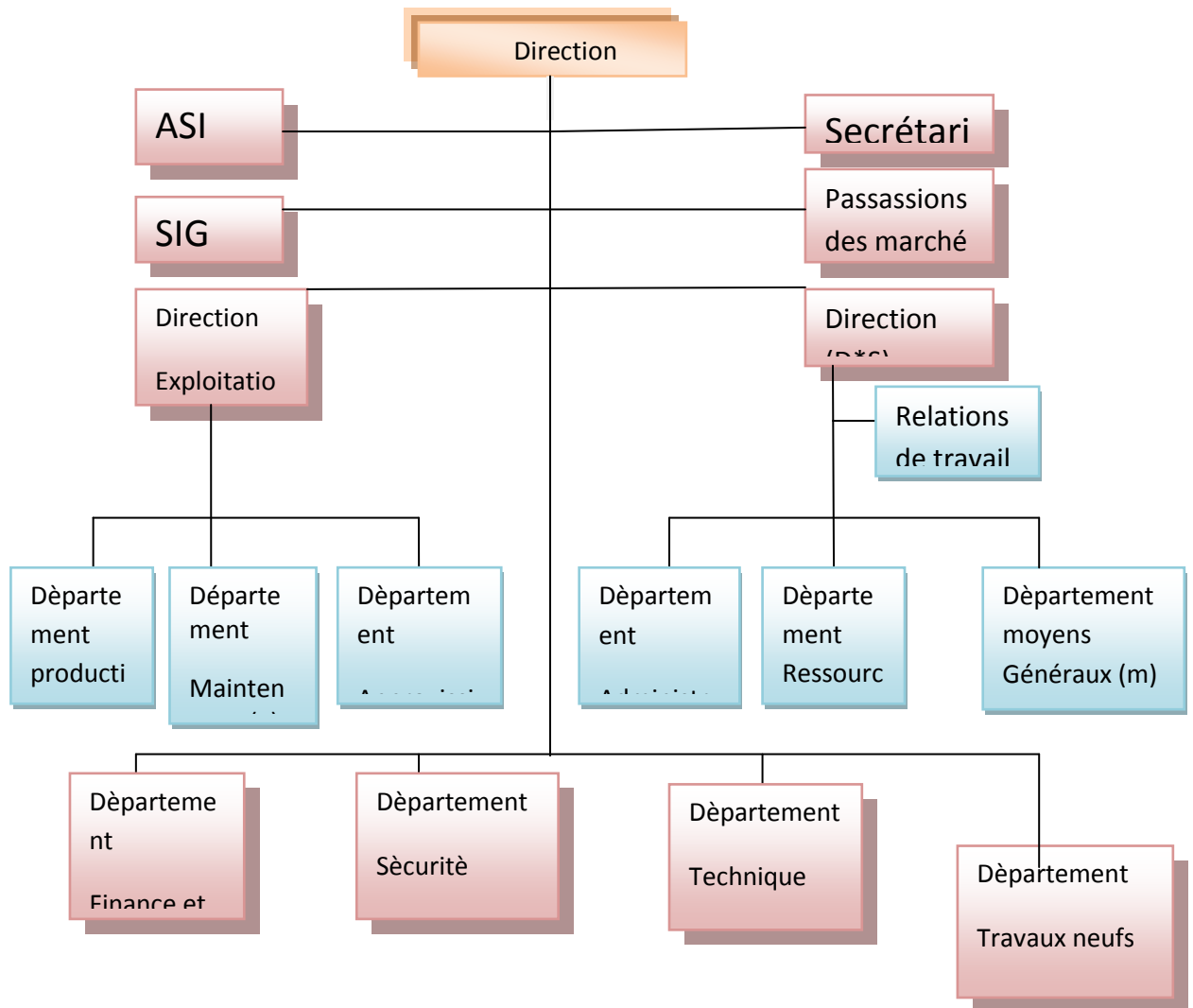


Figure I.1 : Organigramme du complexe GP1/Z

### I.3. FICHE TECHNIQUE DU COMPLEXE GP1/Z

Le complexe a pour mission la production du GPL (Propane et Butane) commerciaux destinées aussi bien au marché national qu'au marché international. L'objectif de ce complexe est la séparation du GPL en propane et butane.

Les complexe GP1/Z est caractérisé par :

- Le complexe GP1/Z est situé à Mers El-Hadjadj à 40 Km à l'Est d'Oran.
- Le complexe GP1/Z s'étend sur une superficie de 120 hectares.
- Procédé utilisé : Distillation sous pression.
- Nombre de trains (9 trains) : (Phase I : 4), (Phase II : 2) et (phase III
- Constructeur : Consortium japonais IHI-ITOCHU.

## **I.4. DATE DE MISE EN PRODUCTION**

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

(phase II) : 24 Février 1998. La mise en production du 1<sup>ème</sup> train (phase III) : Février 2010.

Capacité de production : 10 Millions de tonnes par an. Destination de la production : Exportation et marché national

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

## **I.5. PRINCIPALES INSTALLATIONS DU COMPLEXE GP1/Z**

Les principales installations du complexe GP1/Z sont :

- 22 sphères de stockage de la charge d'alimentation de 1000 m<sup>3</sup> chacune.
- 9 trains de traitement du GPL.
- 2 unités de reliquéfaction des boil-off.
- 1 station électrique alimentée par SONALGAZ.
- 4 générateurs de secours pour assurer l'électricité en cas de coupure de courant.
- 4 bacs de stockage de propane à basse température.
- 4 bacs de stockage de butane à basse température.
- 4 sphères de stockage de produit ambiant (propane, butane).
- 1 sphère de stockage de pentane.



- 5 salles de contrôle.
- Une station de pomperie eau de mer pour le réseau eau incendie.
- 2 quais de chargement (jetées D1 et M6).
- 1 rampe pour chargement camions.
  
- Système de télésurveillance.
- Bâtiment administratif.
- Laboratoire d'analyses et de contrôle.
- Atelier de maintenance.
- Magasin approvisionnement

### **I.6. DESCRIPTION DU SYSTEME DE PRODUCTION**

Une fois le GPL introduit dans le train, il passe par le traitement puis le stockage

#### **I.6.1. Traitement du GPL brut**

Le GPL venant de l'extérieur est stocké dans 22 réservoirs sphériques dans la section destockage de la charge, ensuite le GPL brut est acheminé vers les 9 trains identiques installés en parallèle. Chaque train est conçu de manière à produire 10.800.000 de tonnes/an et comprend les sections suivantes.

##### **I.6.1. 1) Section de déshydratation**

Le but de cette section est de réduire la teneur en eau de 100 ppm à 5 ppm dans le déshydrateur de charge et de 5 ppm à environ 1 ppm dans le déshydrateur de garde (dans la section réfrigération) et cela pour éviter la formation du givre dans les équipements enaval.

##### **I.6.1. 2) Section de séparation**

Le GPL provenant de la section déshydratation est introduit dans le fractionnateur à un débit nécessaire de telle manière à obtenir la quantité requise de produits.

- **Passage par les préchauffeurs**

Le GPL déshydraté entre dans le fractionnateur à une température 71°C après un passage par trois préchauffeurs.

- **Fractionnateur**

C'est une colonne de fractionnement équipée de 55 plateaux à clapets. C'est dans cette colonne que l'on effectue la récupération de l'Éthane et du Propane en tête, tandis que le butane et le pentane seront récupérés en fond. Le produit de tête du fractionnateur est envoyé vers le dé-éthaniseur au moyen d'une pompe de reflux qui assure en même temps la charge de dé-éthaniseur et le reflux du fractionnateur. Le butane sortant du fond est dirigé vers la section de réfrigération.

- **Dé-éthaniseur**

C'est une colonne de fractionnement équipée de 25 plateaux à clapets. Cette colonne est utilisée pour l'élimination de l'éthane contenu dans le propane, l'éthane sort en tête et le propane sort au fond de la colonne.

- **Dépentaniseur**

C'est une colonne de fractionnement équipée de 50 plateaux à clapets. Cette colonne est utilisée pour éliminer le pentane contenu dans le butane et ceci selon la teneur en pentane de la charge d'alimentation, elle fonctionne seulement si la teneur en butane dans la charge dépasse 10%.

Il existe deux dépentaniseurs pour les neuf trains.

### **I.6.1. 3) Section de réfrigération**

Le propane et le butane provenant de la section de séparation sont refroidis à des températures correspondantes à leur point de saturation liquide soit (- 40 °C) pour le propane et (-5 °C) pour le butane. Ils sont ensuite canalisés vers les bacs de stockage à basse température.

Le refroidissement se fait par l'intermédiaire de trois chillers pour le propane et trois chillers pour le butane suivant un cycle fermé formant une boucle de

réfrigération au propane pur (agent réfrigérant) fonctionnant sous trois stades de pression distinctes HP, MP et BP. Les vapeurs issues de l'évaporation du propane pur au niveau des trois stades de réfrigération sont collectées dans les trois ballons d'aspiration où elles sont aspirées par un compresseur centrifuge à trois étages entraîné par une turbine à gaz, pour être ensuite condensées dans les aérocondenseurs.

## I.6.1. 4) Section d'huile chaude

Le circuit du fluide forme une boucle fermée, comprenant un ballon d'expansion, une pompe de circulation et un four. Le fluide caloporteur circule en provenant du four vers les différents consommateurs de calories. La figure I.2 montre le procédé de traitement du GPL.

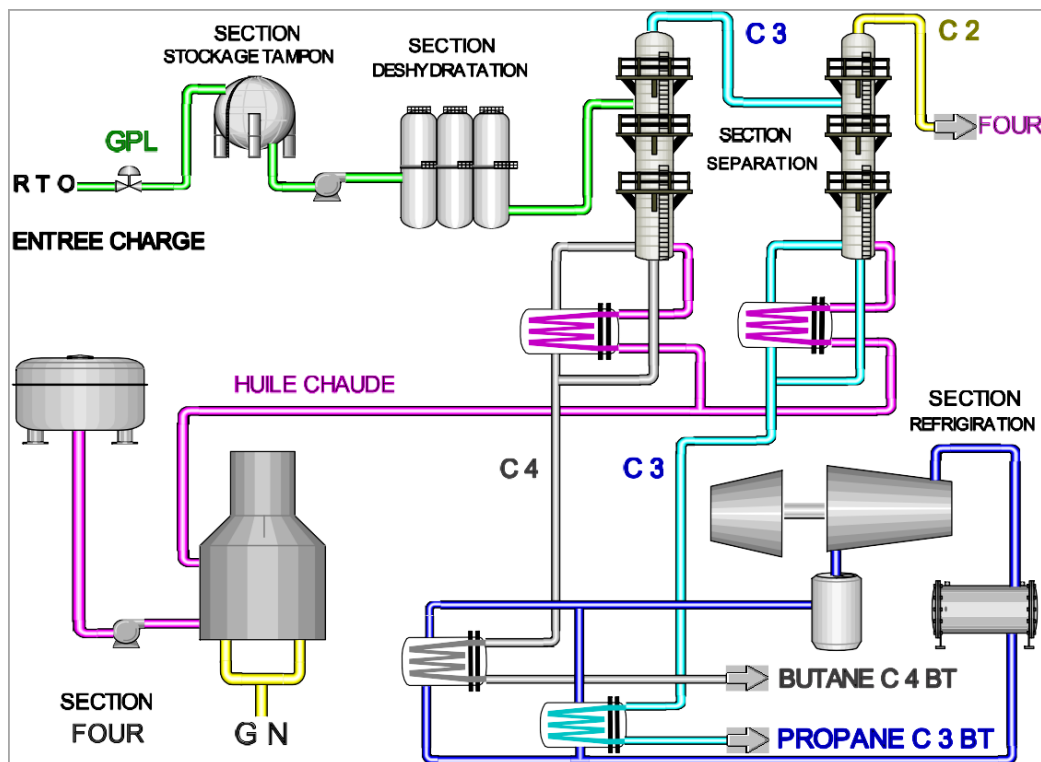


Figure I.2 : Procédé de traitement du GPL.

### **I.6.2. Stockage des produits finis**

Après le traitement, le GPL est envoyé vers le stockage. Il existe deux types de stockage.

#### **I.6.2. 1) Stockage à température ambiante**

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



**Figure I.3 : Sphères de stockage.**

#### **I.6.2. 2) Stockage à basses températures**

Les gaz réfrigérés sont véhiculés aux bacs où ils seront stockés dans les conditions de basse température sachant que la capacité de chacun est 70.000 m<sup>3</sup> et sont munis de pompes immergées pour la circulation du gaz et le chargement navires présenté sur la figure I.4.



**Figure I.4 : Bacs de stockage.**

### **I.7. CONCLUSION**

Le GPL, dont l'Algérie est l'un des leaders producteurs exportateurs dans le monde, constitue l'une des priorités des plans de développement et de la politique énergétique de la SONATRACH. Le Complexe a pour mission de produire du Butane; Propane et du mélange Butane / Propane à partir du GPL provenant du grand Sud Algérien : Complexe Hassi Messaoud, Hassi R'Mel, Ain Amenas... etc.

### II.1. INTRODUCTION

La section déshydratation en phase liquide de la charge comprend trois colonnes d'adsorption, constituées de tamis moléculaire et fonctionnant en parallèle. A tous instant, une colonne est en ligne pour l'adsorption, une deuxième en régénération, tandis que la troisième est en réserve.

La durée d'adsorption est de 36 heures, à l'expiration de ce temps, la colonne en réserve est mise en ligne, et la colonne qui était en service passe en régénération. A ce moment-là, la troisième colonne a achevé son cycle de régénération et passe en réserve. Pendant l'adsorption, l'écoulement à travers la colonne se fait du bas vers le haut. Il faut aussi noter que la section déshydratation de la charge peut travailler sur seulement deux adsorbants, si bien qu'une colonne peut être révisée, pendant que les deux autres assurent le séchage de la charge.

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

### II.2. LE CYCLE DE REGENERATION

Il est composé de plusieurs séquences : drainage, dépressurisation, chauffage, refroidissement, pressurisation et remplissage.

#### II.2.1. Drainage

La séquence de régénération commence avec le drainage du GPL restant dans la colonne d'adsorption. Le GPL est évacué vers les sphères de stockage sous la pression du gaz naturel ( $20 \text{ Kg} / \text{cm}^2$ ) introduit en haut de la colonne. Le temps prévu pour le drainage est d'environ 1 heure. Le procédé du drainage est présenté sur la figure II.1

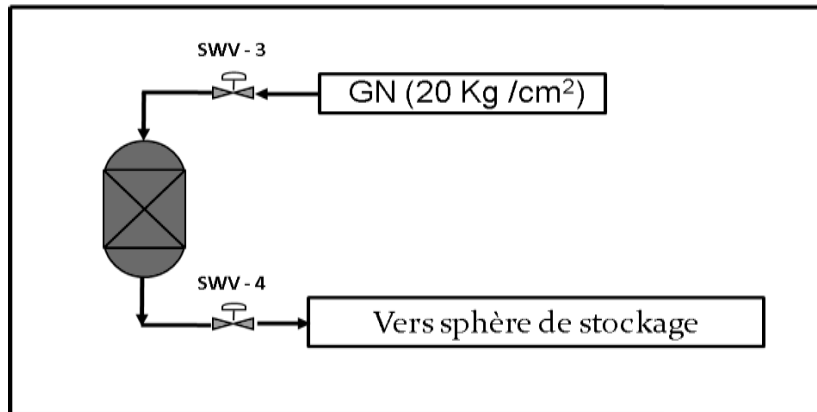


Figure II.1 : Schéma de la phase de drainage.

### II.2.2. Dépressurisation

Après drainage complet de la colonne d'adsorption, la pression est de 20 Kg / cm<sup>2</sup>eff. Avant de pouvoir commencer le cycle de chauffage, il faut que cette pression soit réduite à 3,5 Kg / cm<sup>2</sup>eff, en évacuant le gaz naturel vers fuel gas. La dépressurisation (figure II.2) demande environ une demi-heure de fonctionnement.

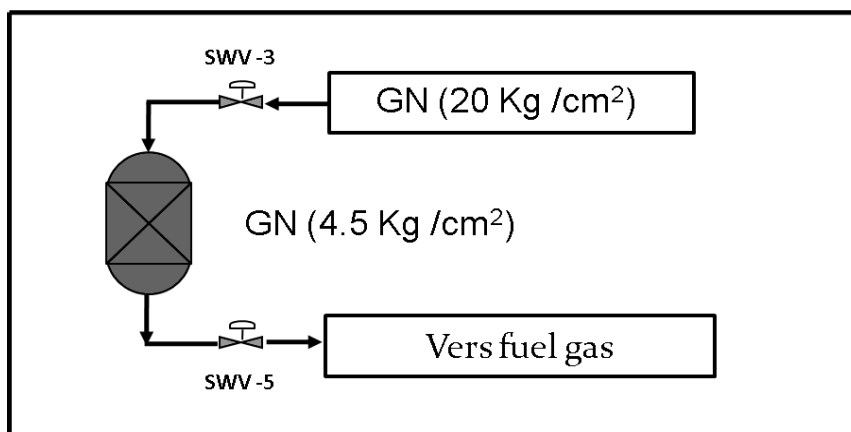


Figure II.2 : Schéma de la phase de dépressurisation.

### II.2.3. Réchauffage

La séquence de réchauffage représente l'opération principale de la séquence de régénération, puisque l'eau adsorbée est complètement chassée des tamis

moléculaires pendant cette opération. Le lit du tamis moléculaire est chauffé du haut vers le bas, en se servant du gaz naturel chaud, qui a été porté à  $280^{\circ}\text{C}$  dans le four de fluide caloporteur. Pour lancer la séquence de chauffage, on ouvre les vannes 8 ; 6 et 10 A. Le contrôleur du débit dans la canalisation du gaz chaud introduit un débit constant de gaz dans le lit, qui s'échauffe lentement, pour chasser l'eau entraînée.

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

Le gaz refroidi passe en tête vers le réseau de fuel gaz. Le condensat d'hydrocarbure qui se forme éventuellement au-dessus du niveau de l'eau libre est envoyé sous contrôle de niveau vers le réseau de purge. Le gaz refroidi peut aussi être envoyé directement à la torche, sous contrôle de pression. La période de chauffage demande 11 heures, ensuite le cycle est arrêté par le programmeur et par WS-1 qui signale que le fond du lit a atteint sa température de régénération de  $280^{\circ}\text{C}$ , le procédé de réchauffage est schématisé ci-dessous (figure II.3).

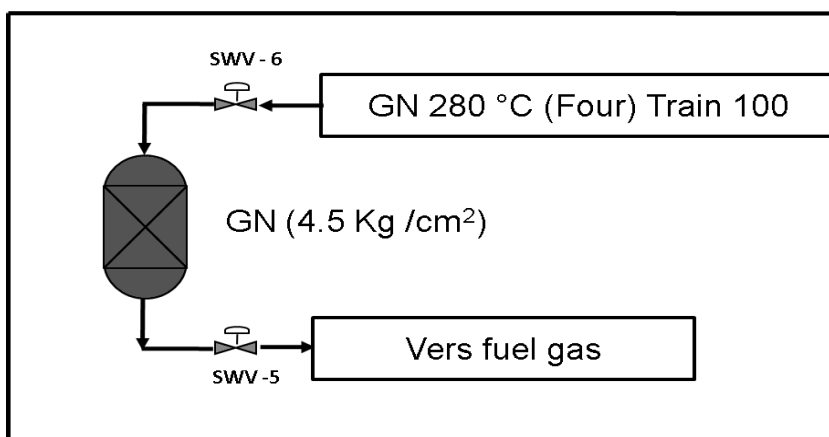


Figure II.3 : schéma de la phase de réchauffage.

### II.2.4. Refroidissement

Après la fin du cycle de chauffage, il faut refroidir le lit de régénération. Le refroidissement du lit se fait du bas vers le haut. On se sert de  $2258 \text{ Kg / h}$  de gaz naturel froid à  $12,7^{\circ}\text{C}$  pour le cycle de refroidissement. Le gaz sortant du haut du



déshydrateur est dirigé vers fuel gas. La colonne de fonctionnement du phénomène est illustrée dans la figure II.4

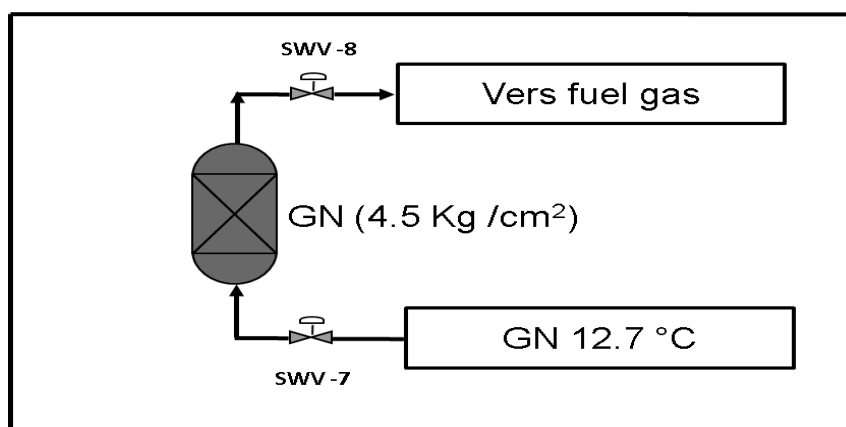


Figure II.4 : Schéma de la phase de refroidissement.

### II.2.5. Pressurisation

Avant de pouvoir réintroduire du GPL liquide dans le déshydrateur, le déshydrateur doit être remis sous pression par du gaz naturel (20 Kg/cm<sup>2</sup>eff) pour éviter une détente du propane. Ainsi une perte du produit. La figure (II.5) donne l'aperçu de l'opération de remise sous pression qui dure environ une demi-heure.

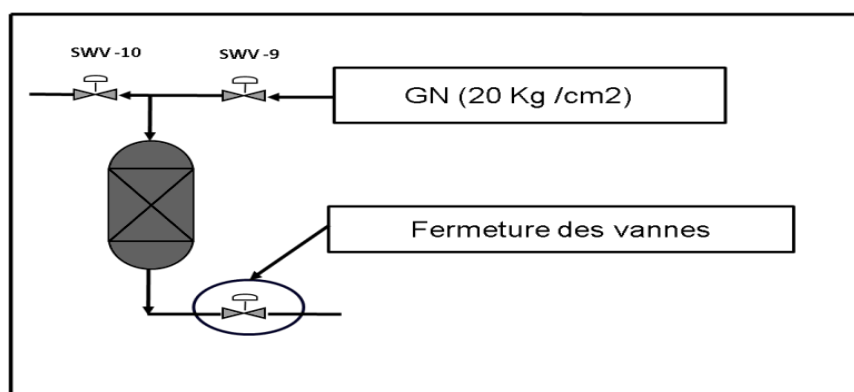


Figure II.5 : schéma de la phase de pressurisation

### II.2.6. Remplissage

Après la remise sous pression, le GPL liquide peut être réintroduit dans le déshydrateur, sans risque de détente. Au fur et à mesure que le propane remonte la colonne, le gaz naturel est refoulé vers fuel gaz, cette opération demande environ une heure. Le lit est à présent prêt pour un nouveau cycle d'adsorption régénération. La phase de remplissage est montrée dans la figure II.6.

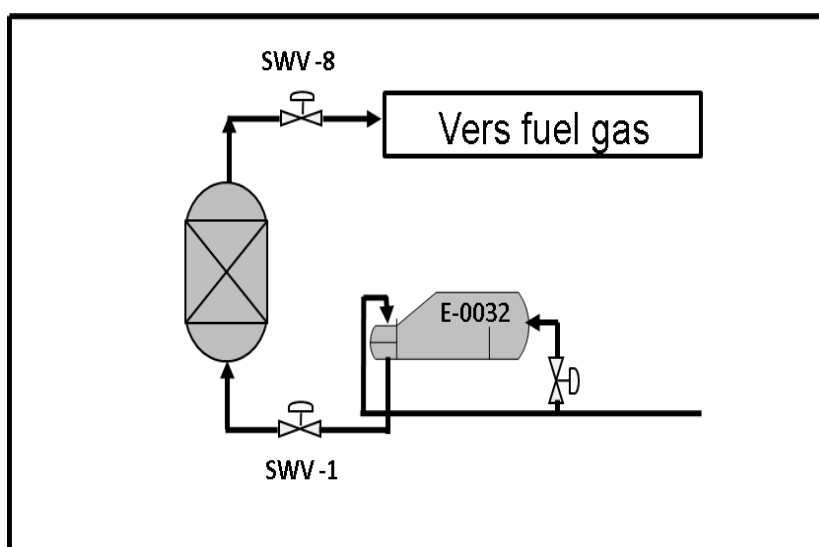


Figure II.6 : Schéma de la phase de remplissage.

Le tableau (II.1) englobe les paramètres de température, de pression et de temps pour le cycle de régénération.

**Tableau (II.1) : Paramètres de température, de pression et de temps pour le cycle de régénération.**

| <b>Etapes</b>           | <b>Temps<br/>(h)</b> | <b>P (bar)<br/>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>T (°C)</b> |
|-------------------------|----------------------|--|---------------|
| <b>Drainage</b>         | 1                    | 20                                     | 30            |
| <b>Dépressurisation</b> | 0,5                  | 3,5                                    | 30            |
| <b>Réchauffage</b>      | 11                   | 3,5                                    | 280           |
| <b>Refroidissement</b>  | 5                    | 3,5                                    | 12,7          |
| <b>Pressurisation</b>   | 0,5                  | 20                                     | 45            |
| <b>Remplissage</b>      | 1                    | 30                                     | 30            |

### II.3. Description générale

#### II.3.1 Equipements Statiques : (Train-100).

L'unité de déshydratation de charge a été conçue pour sécher le produit de GPL à une teneur d'eau de 100 à 5 ppm. Elle est composée par des équipements suivants :

Panneau Local02-M-1001

Sécheurs02-V-1001A/B/C

Séparateur démister02-V-1002.

Aéros refroidisseurs 02-E-1001A/B

Réservoir (Tampon) d'Air Instrument 02-V-1020

Analyseur02-AI-1001.

Filtres 02-M-1020A/B « entrée charge », 02-M-1021A/B « sortie charge».

### **II.3.2 Vanneries déshydrateur de charge : (Train 100)**

#### **II.3.2.1. Vannes individuelles**

SWV. 1001(A/B/C): Entrée GPL ligne8".

SWV. 1002(A/B/C): Sortie GPL ligne8".

SWV. 1003(A/B/C): Purge du GPL ligne1"1/2.

SWV. 1004(A/B/C): Entrée Gaz de Purge1"1/2.

SWV. 1007(A/B/C): Sortie Gaz de Réchauffage et Entrée Gaz de refroidissement4".

SWV. 1010(A/B/C): Entée Gaz de Réchauffage et Sortie Gaz de refroidissement 4".

SWV. 1012(A/B/C): Entrée GPL pour remplissage du déshydrateur1"1/2 .

#### **II.3.2.2 Vannes communes**

SWV-1005 : Sortie du Gaz de Refroidissement ligne4".

SWV-1006 : Entée Gaz de Réchauffage ligne4".

SWV-1008 : Sortie Gaz de Réchauffage ligne4".

SWV-1009 : Entrée Gaz de Refroidissement ligne 3".

SWV-1011 : Dépressurisation ligne1"1/2.

SWV-1013 : Sortie Gaz de Purge ligne1"1/2.

PV-1001 : vanne de contrôle de pression du séparateur

PV-1004 : vanne de contrôle de pression d'H<sub>2</sub>O de charge



### III.1.GÉNÉRALITES

Diverses méthodes ont été appliquées pour éviter l'obturation des conduites de transport ou des installations de traitement des GPL par les hydrates. La plus courante est : la réduction de la teneur en eau par la déshydratation.

### III.2.MODES DE DESHYDRATION

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

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

### III.3. HYDRATES

Les hydrates sont des combinaisons physiques entre l'eau et les autres composés pour produire un solide qui a l'apparence d'un glaçon mais possédant une structure différente que celle d'un glaçon.

#### III.3.1.Structures des hydrates

Il y a deux structures pour les hydrates des GPL.

Des petites molécules qui forment des corps cubiques centrés (structure I) tels que  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) et des grandes molécules telles que ( $\text{C}_3\text{H}_8$ , i-  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) qui ont la forme d'un diamant (structure II).

#### III.3.2. Conditions de formations d'hydrates

Les conditions qui sont probatoires pour la formation d'hydrates sont :

##### III.3.2.a.Conditions primaires

- ❖ Le gaz doit être à ou au-dessous de son point de Rosée eau.
- ❖ La présence d'eau libre.
- ❖ Basse température.
- ❖ Haute pression

### III.3.2.b. Conditions secondaires

- ❖ Vitesses élevées.
- ❖ L'introduction d'un petit cristal d'hydrate.
- ❖ Un site physique pour la formation d'hydrates tels que : pipes, orifice.

### III.4. ZONE DE TRANSFERT DE MASSE (ZMT)

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

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

La longueur du lit à travers laquelle un incrément de gaz passe pendant le transfert de n'importe quel composant de la phase gazeuse à la phase solide et appelée la zone de transfert de masse (ZMT). (Voir figure III.1). En réalité, la ZMT est une zone précédée d'une zone dite d'équilibre.

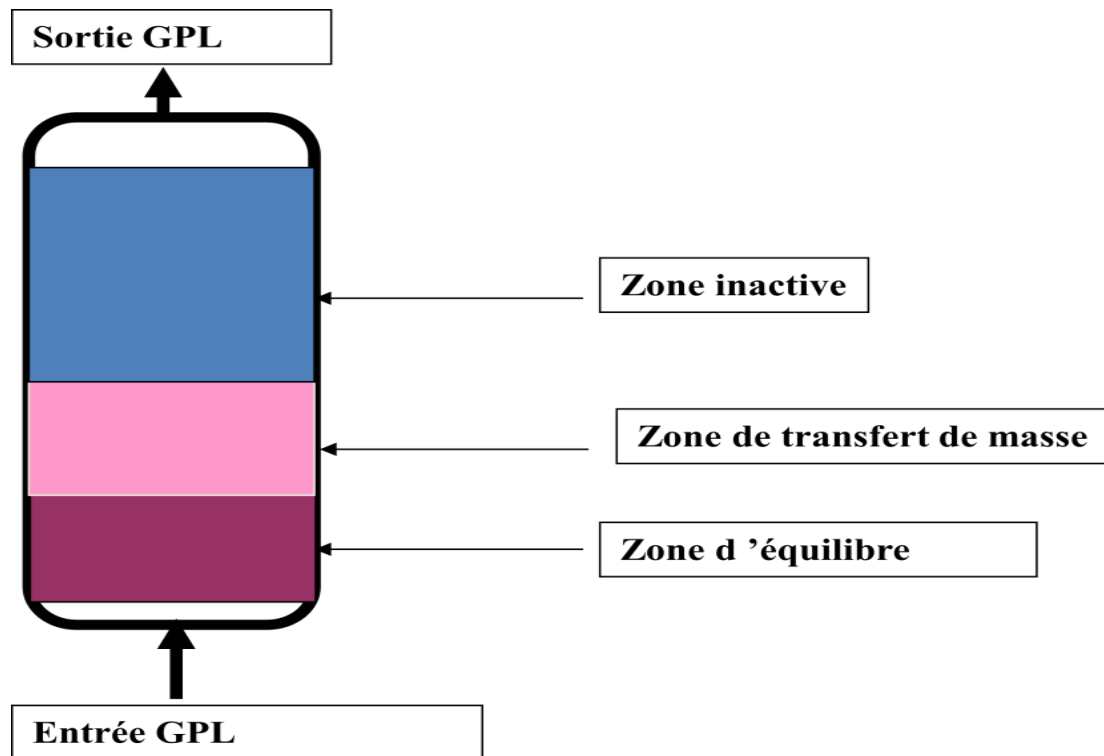


Figure III.1: La zone ZMT se déplace lors de l'adsorption

---

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

La Z.M.T est une fonction de :

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

### **III.4.1. Concept de la zone de transfert de masse**

La zone de transfert de masse correspond à la longueur du lit nécessaire au phénomène d'adsorption, ou la concentration de l'adsorbat à la sortie varie en fonction de la concentration initiale.

En amont de la zone de transfert, l'adsorbant est saturé.

En aval. L'adsorbant est vierge ou régénéré, est prêt à travailler.

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

- De la cinétique d'adsorption de l'adsorbat.
- Des caractéristiques thermodynamiques du fluide.
- De la vitesse linéaire superficielle.
- Du type, de la forme et de la granulométrie du tamis moléculaire.

#### **III.4.1.a Adsorbants**

Il existe cinq agents desséchants importants utilisés qui sont :

Le silica gel, l'alumina gel, l'alumine activée, le charbon actif et le tamis moléculaire.

Tous ces agents desséchants fonctionnent par un phénomène qui n'est pas très bien compris, en effet tous les solides sont maintenus ensemble par une force de cohésion qui n'est pas équilibrée à la surface et une très faible attraction pour les molécules présentes dans un courant fluide similaire à une attraction magnétique ; forçant ces molécules à adhérer à une surface.

Il existe également deux autres phénomènes reliés dans l'adsorption de surface.

Les forces d'adsorption ont tendance à être concentrées au niveau où la surface en s'incurvant pour former un cylindre ou un pore.

Au fur et à mesure que le diamètre de ce pore se rapproche du diamètre de la molécule à adsorber les forces de condensation commencent à se concentrer.



---

## III.5 TAMIS MOLECULAIRE

### III.5.1. Tamis moléculaires

Ce sont des cristaux de zéolithe synthétique d'alumino-silicate dont la régénération est réalisée par une température élevée. Leur utilisation est large dans le domaine du gaz naturel.

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

Le tableau (III-1) donne les dimensions moléculaires qui doivent être utilisées comme guides lors du choix d'un type de tamis moléculaires pour une utilisation spécifique. Les tamis moléculaires sont des adsorbants uniques et intéressants qui sont disponibles.

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



**Figure III.2: Tamis moléculaire sous ses différentes formes**

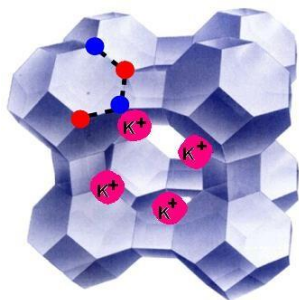
Les types commerciaux importants de tamis moléculaires sont faits de matière synthétique mais leur structure est relativement similaire à certains minéraux naturels.

Les tamis moléculaires ou zéolithes utilisés en traitement de gaz sont des silicoaluminates dont la structure cristalline forme des cavités constituant un réseau micro poreux à l'échelle moléculaire.

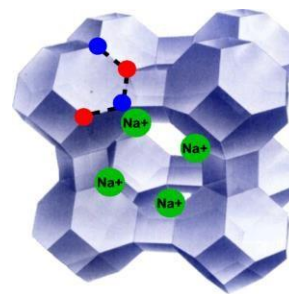
Cette structure comporte des cations qui ont un rôle de compensation de charge, selon leur nature, la taille des cavités d'accès varie.

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

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



Tamis moléculaire 3A



Tamis moléculaire 4A

**Figure III.3 : Tamis moléculaire 3A et 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.

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

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

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

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

---

système.

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

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

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

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

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

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

La concentration de l'adsorbant, l'eau, est une fonction à la fois de la concentration de l'eau dans la phase fluide (pression partielle) et la température d'adsorption.

Les tamis moléculaire sont également caractérisés par leur capacité d'adsorption relativement élevée aux faibles concentrations du matériau absorbé.

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.
- La présence de COS et CS<sub>2</sub> est nuisible.
- L'adsorbant est un produit cher et doit être remplacé tous les 3 ans.

**Tableau III.1:** Diamètres de certaines molécules

| Molécule                     | Diamètre critique<br>(Å°) |
|------------------------------|---------------------------|
| Hydrogène                    | 2,4                       |
| Acétylène                    | 2,4                       |
| Oxygène                      | 2,8                       |
| Monoxyde de carbone          | 2,8                       |
| Dioxyde de carbone           | 2,8                       |
| Azote                        | 3,0                       |
| Eau                          | 2,8                       |
| Ammoniac                     | 3,6                       |
| Sulfure d'hydrogène          | 3,6                       |
| Méthane                      | 4,0                       |
| Ethylène                     | 4,2                       |
| Ethane                       | 4,4                       |
| Méthanol                     | 4,4                       |
| Ethanol                      | 4,4                       |
| Mercaptan méthylique         | 4,5                       |
| Propane                      | 4,9                       |
| Propylène                    | 5,0                       |
| Mercaptan éthylique          | 5,1                       |
| Butène                       | 5,1                       |
| 1,3-Butadiène                | 5,2                       |
| Chlorodifluorométhane (R-22) | 5,3                       |
| Thiophène                    | 5,3                       |
| i-Butane à 1-C22 H46         | 5,6                       |
| Dichlorodifluorométhane      | 5,7                       |
| Cyclohexane                  | 6,1                       |
| Benzène                      | 6,7                       |
| Toluène                      | 6,7                       |
| P-Xylène                     | 6,7                       |
| M-Xylène                     | 7,1                       |
| O-Xylène                     | 7,4                       |
| Triéthylamine lamine         | 8,4                       |

---

### III.6. TYPE ET DIMENSION DU TAMIS

Le tamis moléculaire utilisé pour la déshydratation du GPL est de type 4°A. Ce dessiccant 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, car les granulés de petits diamètres offrent une surface plus importante par unité de volume pour le transfert de masse.

### III.7. REGENERATION DES TAMIS MOLECULAIRES

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

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

#### III.7.1. Augmentation de la température

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

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

- La quantité de chaleur à fournir pour obtenir une régénération convenable est égale à la somme des quantités de chaleur suivantes :
- La chaleur nécessaire au chauffage du lit d'adsorbant ;
- La chaleur nécessaire au chauffage de l'adsorbeur (fonction de la nature de calorifuge) ;
- La chaleur nécessaire au chauffage et la désorption de la masse d'adsorbât retenue dans le lit ;
- Les pertes thermiques à travers les parois de la colonne d'adsorption.

Des molécules organiques (oléfines, aromatiques, paraffines lourdes etc...) Présentes dans le fluide à traiter peuvent être adsorbées durant la phase d'adsorption. Pour éviter ou minimiser les risques de



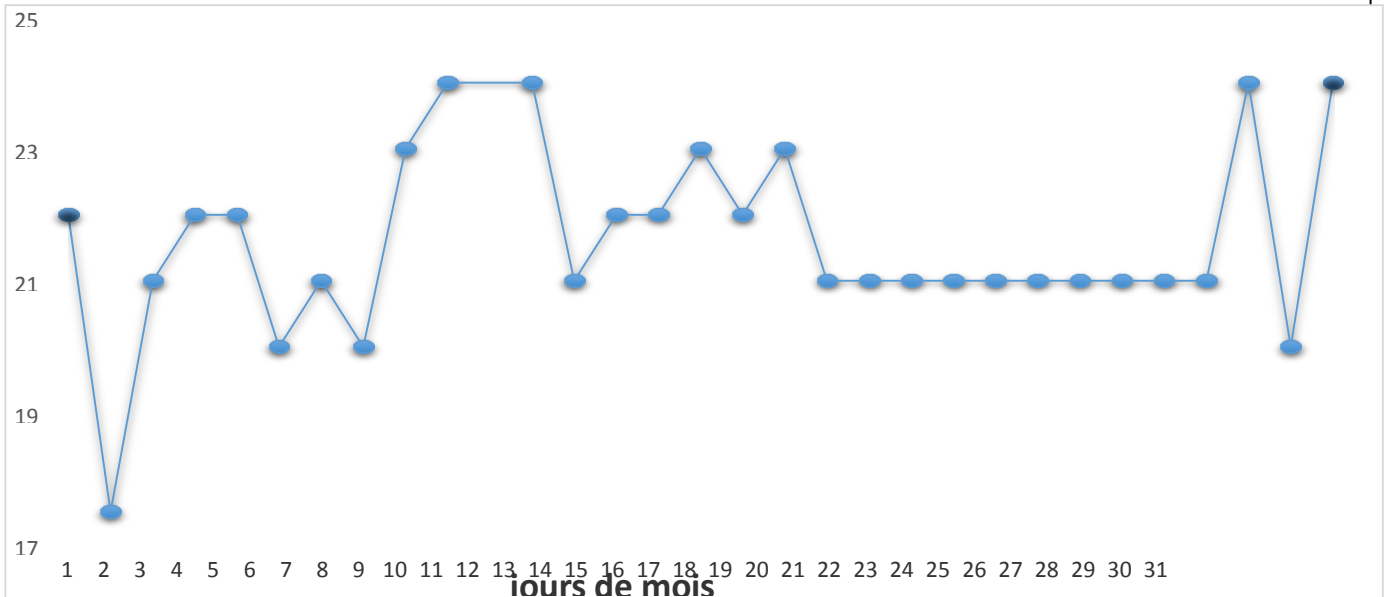
### III.8 EXPOSITION DE PROBLEME

Le problème que nous a été posé c'est l'étude de l'impact de la diminution de la teneur en eau du GPL sur les paramètres de fonctionnement de la section de déshydratation de charge.

Le design de la déshydratation de charge du complexe GP1/Z a été conçu pour une teneur en eau dissoute dans la charge GPL égale à 100 ppm, mais actuellement on a remarqué que cette teneur n'est pas atteinte ; ceci est dû au prétraitement de la charge provenant du sud.

En effet pour une concentration en eau égale à 100 ppm le temps d'adsorption a été fixé à 36 heures et celui de la régénération à 19 heures. Mais les concentrations actuelles d'eau dans les charges GPL sont réduites à des valeurs qui peuvent même chuter jusqu'au moins de 25 ppm.

Ce problème a été confirmé en traçant la courbe durant deux mois, et le problème persiste et il est permanent et ceci à de considérables pertes économiques vu que le lit d'adsorption travaille bien au dessous de sa capacité. Les résultats trouvés sont représenté sur figure III.5.



**Figure III.5** : Variation de la teneur en eau durant les mois (avril et mai 2022).

#### III.8.1. Explication de graphe

D'après les analyses qu'on a effectuées au niveau de laboratoire de la teneur en

---

eau dans la charge GPL à l'entrée du sécheur pour un durée de deux mois « figure III.5 », on a constaté que la concentration de la charge en eau ne dépasse pas la 22 ppm qui est une teneur très loin des normes exigées, soit le  $\frac{1}{4}$  de la valeur de désigne (100 ppm).

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

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

1. la prolongation du temps d'adsorption.
2. la réduction du temps de régénération.

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

On choisit la solution qui nous permet le plus d'économiser de l'énergie et de préserve la durée de vie du desséchant sans perturber la capacité de production et la qualité du produit.





---

## IV.1. INTRIDUCTION

Le but de cette partie de travail est d'optimiser le fonctionnement de la section déshydratation de charge, en déterminant le temps d'adsorption nécessaire pour faire fonctionner l'adsorbant 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.

Pour cela, la partie calcul comprend :

- Un bilan thermique.
- Un bilan de matière.

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

Avant toute application, nous nous assurons de la fiabilité de la méthode adoptée par la suite dans un sous-titre « Validation de méthode » où les calculs seront faits pour un déshydrateur de charge fonctionnant selon le design.

## IV.2. Constitution d'un déshydrateur de charge

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

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

La fiche technique du tamis moléculaire est représenté sur le Tableau 4.1: [3]

**Tableau IV.1: La fiche technique du tamis moléculaire.**

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

**IV.3. Les conditions opératoires d'adsorption / désorption: [3]**

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

Réchauffage

= 11 heures.

Refroidisse

ment = 5

heures.

**Température d'entrée du gaz de régénération: [3]**

Réchauffage T = 280°C.

Refroidissement T=

12.7°C.

**La théorie de calcul: [12]**

**Bilan énergétique**

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

---

La quantité de chaleur nécessaire à la régénération est:

$$Q_{total} = Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des} + Q_{pertes} \dots \dots \dots (IV - 1)$$

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

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

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

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

**Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption de l'eau  $Q_{des}$ :**

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

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

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

**Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis  $Q_{tamis}$ :**

$$Q_{tamis} = m_t * Cp_t * (T - T_{ads}) \dots \dots \dots (IV - 3)$$

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

$Cp_t$  : La capacité calorifique du tamis (BTU/ Lb. °F).

T : La température moyenne du lit en fin de réchauffage (°F). T<sub>ads</sub> : La température d'adsorption (°F).

**Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier Q<sub>acier</sub>:**

$$Q_{acier} = m_t * Cp_c * (T - T_{ads}) \dots \dots \dots (IV - 4)$$

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

**Cp<sub>c</sub>**: La capacité calorifique de l'acier (BTU / lb. °F).

**Calcul des pertes de chaleur Q<sub>perle</sub>:**

$$Q_{pertes} = 0,1 * (Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des}) \dots \dots \dots (IV - 5)$$

Pour pouvoir calculer les besoins en chaleur (Q<sub>totale</sub>), nous avons besoin de la température du lit en fin de chauffage « T »

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

On peut l'obtenir par la relation suivante :

$$T = T_s - \frac{(T_e - T_s)}{2} \dots \dots \dots (IV - 6)$$

T<sub>e</sub> : La température d'entrée du gaz de régénération (°F).

T<sub>s</sub> : La température de sortie du gaz de régénération (°F).

**calcul de la chaleur fournie par le four par cycle «H<sub>f</sub>/cycle»:**

$$H_{f/cycle} = \frac{3 * H_f * t_r}{C_{cycle}}$$

$$C_{cycle} = 3 * t_{ads}$$

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

H<sub>f/cycle</sub>: la chaleur fournie par le four par cycle (BTU/hr).

t<sub>ads</sub> : le temps d'adsorption (hr).

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

---

$$t = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{*} t \dots\dots\dots (IV - 10)$$

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

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

**Le bilan de matière de la régénération: [12]**

**❖ Calcul du débit du gaz de refroidissement:**

Le débit du gaz de refroidissement est calculé comme suit:

$$M_{ref} = \frac{Q_{ref}}{\Delta H_{(T-T_e)}} \dots \dots \dots (IV - 12)$$

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

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

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

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

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

**Calcul de la chute de pression: [12]**

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

$$\frac{\Delta P}{L} = (A * \mu * U) + (B * \rho * U^2) \dots \dots \dots (IV - 13)$$

Ou :

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

$\mu$  : la viscosité du GN (Cp).

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

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

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

$$A = 0.0561, B = 0.0000889$$

**Calcul de la chute de pression: [12]**

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

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

Ou :

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

$\mu$  : la viscosité du GN (Cp).

U : la vitesse superficielle (ft / min).

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

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

$$A = 0.0561, B = 0.0000889$$

**Calcul du nombre de Reynolds:**

Le nombre de Reynolds est calculé par la formule suivante:

$$Re = \frac{G * D_p}{\mu} \dots \dots \dots (IV - 14)$$

**IV.4.Validation de méthode**

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

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



---

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

- ✓ Débit de traitement à 100%:  $Q = 240\text{m}^3/\text{hr} = 8675,09\text{ ft}^3/\text{hr}$
- ✓  $P = 30.7\text{ Kg}/\text{cm}^2$
- ✓  $T = 25\text{ °C} = 298,15\text{ k}$

La composition de la charge du GPL est représenté sur le tableau IV.2

**Tableau IV.2: La composition de la charge du GPL**

| COMPOSANT   | Mi g/mole | Yi (% molaire) | Yi * Mi |
|-------------|-----------|----------------|---------|
| <b>C1</b>   | 16,043    | 0, 24          | 0,04    |
| <b>C2</b>   | 30,070    | 1, 92          | 0,58    |
| <b>C3</b>   | 44,097    | 59, 37         | 26,18   |
| <b>i-C4</b> | 58,123    | 13, 68         | 7,95    |
| <b>n-C4</b> | 58,123    | 24, 54         | 14,26   |
| <b>i-C5</b> | 72,150    | 0, 20          | 0,14    |
| <b>n-C5</b> | 72,150    | 0, 05          | 0,04    |

Poids moléculaire du GPL:  $M_{\text{GPL}} = \sum Y_i * M_i$

$M_{\text{GPL}} = 49.19\text{ Kg}/\text{Kmole}$ .

- ✓ Solubilité de l'eau dans le GPL à  $T = 25\text{ °C}$ :  $\text{SOL} = 380\text{ppm mole}$  (voir annexe 2)
- ✓ Teneur en eau à l'entrée du sécheur:  $X_E = 100\text{ ppm}$ .
- ✓ Teneur en eau à la sortie du sécheur:  $X_S = 1\text{ ppm}$ .
- ✓ Phase: liquide.
- ✓ Masse volumique du GPL :  $\rho_{\text{GPL}} = 530\text{ Kg}/\text{m}^3 = 33.09\text{ Lb}/\text{ft}^3$ .

## IV.5.Dimensionnement d'un déshydrateur

### IV.5.1.Calcul de la quantité d'eau adsorbée

#### ❖ Diamètre minimum du lit

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

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 * \rho_{GPL} * Q}{\pi * G}}$$

$D_{min}$  : Diamètre minimum du lit de tamis (ft).  $\pi * G$  ..... (IV – 15)

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

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

G : Vitesse massique de l'écoulement de fluide (Lb /ft<sup>2</sup> .hr).Pour les tamis moléculaires, la vitesse massique de l'écoulement est donnée par la formule suivante:

$$G = 3600 * \sqrt{C * \rho_{tamis} * \rho_{GPL} * D_P} \dots \dots \dots (IV - 16)$$

$D_p$  : Diamètre moyen des  
particules du tamis (ft).  $\rho_{tamis}$  :

Masse volumique du dessiccant (Lb/  
ft<sup>3</sup>)

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

❖ **Application Numérique :**

$$G = 3600 \cdot \sqrt{C \cdot \rho_{tamis} \cdot \rho_{GPL} \cdot D_p}$$

AN:  $D_p = 0,01 \text{ ft}$ .

$$\rho_{tamis} = 640 \text{ kg} / \text{m}^3 = 39,95 \text{ Lb} / \text{ft}^3.$$

$$\rho_{GPL} = 530 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$= 33,09 \text{ Lb} / \text{ft}^3 \cdot g$$

$$= 32,2 \text{ ft} / \text{sec}^2. \quad C = 1,06$$

$$G = 3600 \cdot \sqrt{1,06 \cdot 39,95 \cdot 33,09 \cdot 0,01}$$

$$G = 13476,03 \text{ (Lb} / \text{ft}^2 \cdot \text{hr)}$$

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho_{GPL} \cdot Q}{\pi \cdot G}}$$

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot 33,09 \cdot 8675,09}{3,14 \cdot 13476,03}}$$

$$D_{min} = 5,2 \text{ ft} = 1,58 \text{ m}$$

❖ **La hauteur totale du lit: [12]**

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

Avec:  $H_t = H_s + H_z \dots \dots \dots \text{(IV-17)}$

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

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

❖ **Calcul de la vitesse actuelle d'écoulement de fluide ( $U_{act}$ ): [12]**

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

Avec :  $S = \frac{\pi \cdot \text{min}^2}{4} \dots \dots \dots$

AN:  $S = \frac{3,14 \cdot 5,2^2}{4}$



$$S = 21,226 \text{ ft}^2$$

$$U_{act} = \frac{8652,1}{21,226}$$

$$U_{act} = 407,618 \text{ (ft /hr)} = 6,79 \text{ (ft /min)}$$

❖ Calcul le débit d'eau:

$$q_w = \frac{4 * Y_{in} * Q * \rho_{GPL}}{\pi * D_L^2} \dots \dots \dots \text{(IV - 19)}$$

DL : le diamètre du lit. (DL=2,1 m= 6,89 ft).

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

$$q_w = 0,77 \text{ (Lb/ft}^2 \cdot \text{hr)}.$$

$$H_z = \frac{A * q_w^{0,7895}}{U_{act}^{0,5506} * R_s^{0,2646}} \dots \dots \dots \text{(IV - 20)}$$

$$H_z = 18,82 \text{ inch} = 1,56 \text{ ft} = 0,47 \text{ m}$$

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

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

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

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

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

$$H_s = H_t - H_z \dots \dots \dots \text{(IV - 21)}$$

$$H_s = 4,34 \text{ ft} = 1,33 \text{ m}$$

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

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

#### IV. 6. Estimation de la capacité d'adsorption à l'équilibre

La capacité d'adsorption est de 22 Lb d'eau / Lb de tamis moléculaire qui représente la

saturation complète du tamis moléculaire. X<sub>s</sub>= (22-X<sub>1</sub>), X<sub>1</sub> : la teneur en eau résiduelle, X<sub>1</sub>= 1.5 %

en poids.

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

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

Coefficient d'usure = 70 %

La capacité sera en fin de compte égale à:

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

Alors:

$$X_s = 14,35 \text{ Lb d'eau / 100 Lb adsorbant}$$

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

$$X = X_s * \left(1 - \frac{C * H_z}{H_s}\right) \dots \dots \dots (IV - 22)$$

$$X = 12,02 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de dessicant}$$

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

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

$$M_{ads} = \frac{(H_t - (C * H_z)) * (X_s * D_L^2 * \rho_{tamis})}{127,5} \dots \dots \dots (IV - 23)$$

$$M_{ads} = 1,11 \cdot 10^3 \text{ Lb}$$

❖ Calcul du temps d'adsorption:

$$t_{ads} = \frac{0,01 * X * H_t *}{\rho_{tamis} \quad q_w}$$

$$t_{ads} = 36,80 \text{ hr}$$

❖ Détermination de l'efficacité d'adsorption:

$$EFF = \frac{X}{X_s}$$

$X_s$

---

**EFF = 83,7**



**Calcul du bilan thermique**

- ❖ **Propriété du gaz de régénération**
- ❖ **La composition du gaz de régénération**

**Tableau IV.3: La composition du gaz de régénération.**

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

Poids moléculaire du GN:  $M_{GN} = \sum Y_i * M_i$ .

**$M_{GN} = 18.71 \text{ Kg / Kmole}$**

- ❖ **Le gaz naturel de Réchauffage:** T= 280 °C=253k P = 4.5 kg / cm<sup>2</sup>
- ❖ **Le gaz naturel de Refroidissement:** T= 12.7 °C=285,85k P = 4.5 kg / cm<sup>2</sup>
- ❖ **Calcul de la masse volumique du GN dans les conditions normal ρ<sub>GN</sub>:**

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

Z=1.

$M_{GN} = 18.71 \text{ Kg/K mole.}$

$\rho_{GN} = 0.83 \text{ Kg / Nm}^3$

$T = 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273.15 \text{ }^\circ\text{K.}$

$P = 1.01351 \text{ kg / cm}^2 = 1 \text{ atm.}$

$R = 0.0821 \text{ (l. atm / mole. }^\circ\text{K)}$

❖ **Calcul de l'enthalpie de chauffage du gaz de 12.7°C à 280°C [5]**

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

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

$$\Delta H = A + B(T_{rech} - T_{ref}) + C(T_{rech} - T_{ref})^2 + D(T_{rech} - T_{ref})^3 + E(T_{rech} - T_{ref})^4 + F(T_{rech} - T_{ref})^5 \Delta H:$$

l'enthalpie qui fournit par le four exprimée en (Kj / Kg), Tableau (1).

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

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

$$\Delta H = 640,66 \text{ Kj / Kg} = 2,75 \cdot 10^2 \text{ BTU/ Lb}$$

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

❖ **Calcul de la masse du tamis  $m_t$  :**

$$m^t = \frac{\pi * D_L^2 * H_t * \rho_{tamis}}{4}$$

$D_L = 2,1 \text{ m} = 6,89 \text{ ft.}$

$m_t = 10257,56 \text{ Lb} = 4652,75 \text{ Kg}$

$H_t = 2,1 \text{ m} = 6,89 \text{ ft.}$

$\rho_{tamis} = 640 \text{ kg/m}^3 = 39,95 \text{ Lb/ft}^3.$

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

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

$T_e = 280 \text{ }^\circ\text{C} = 536 \text{ }^\circ\text{F} = 553 \text{ }^\circ\text{K.}$

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

Avec:

$V_c$  : Le volume total de l'acier (ft)

$S_{ex}$  : La surface externe de la paroi du sécheur ( $\text{ft}^2$ ).

$S_{int}$  : La surface interne de la paroi du sécheur (ft<sup>2</sup>)

L : La hauteur de la colonne (ft).

$$V_C = \frac{\pi * [(d + (2 * E_P))^2 - d^2] * L}{4}$$

$$V_C = \pi * L * [E_P * (d + E_P)]$$

$E_p$  : L'épaisseur de l'acier.  $E_p = 36.8 \text{ mm} = 0,12 \text{ ft}$

d : Le diamètre de l'acier = 6,89 ft = 2.1 m

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

L: La hauteur de la colonne = 4630 mm = 15,19 ft

❖ **Calcul de la masse de l'acier  $m_c$ :**

$$m_c = V_C * \rho_{acier}$$

$\rho_{acier}$  : La masse volumique de l'acier (Lb / ft<sup>3</sup>) = 500 Lb / ft<sup>3</sup>  
 $V_c = 40,37 \text{ ft}^3$ .

$$m_c = 2 \cdot 10^4 \text{ Lb}$$

$$T = T_s + \frac{(T_e - T_s)}{2}$$

D'après l'équation (IV-6) :

$$T = 253,5 \text{ }^\circ\text{C} = 487,9 \text{ }^\circ\text{F} = 526 \text{ }^\circ\text{K}$$

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

$m_t = 10257,56 \text{ Lb}$ .

$T = 253.5 \text{ }^\circ\text{C} = 487.9 \text{ }^\circ\text{F} = 526 \text{ }^\circ\text{K}$ .

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

D'après l'équation (IV-3):

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

$$Q_{tamis} = 7,13 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

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

❖ **Calcul du volume de l'acier ( $V_c$ ): [12]**

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

Donc :

$$m_c = 2.7 \cdot 10^4 \text{ Lb}$$

$C_{p_c}$  : La capacité calorifique de l'acier (BTU / lb. °F) = 0.12 BTU / lb.°F [3]

$$m_c = 2.7 \cdot 10^4 \text{ Lb.}$$

D'après l'équation (IV-4):

$$Q_{acier} = m_c * C_{p_c} * (T - T_{ads})$$

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

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

La quantité d'eau adsorbée  $M_{ads} = 1,11 \cdot 10^3 \text{ Lb.}$

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

D'après l'équation (IV-2):

$$Q_{des} = M_{ads} * \Delta H$$

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

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

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

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

$$Q_{tamis} = 7,13 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

D'après l'équation (IV-5):

$$Q_{pertes} = 0,1 * (Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des})$$

$$Q_{perte} = 3,74 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

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

D'après l'équation (IV- 1):

$$Q_{total} = Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des} + Q_{pertes}$$

$$Q_{totale} = 4,11 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ Calcul de la chaleur fournie par le four pendant le réchauffage  $H_f$ : [12]

❖ Calcul de l'efficacité thermique du four  $1/\varepsilon$ : [5]

Efficacité thermique du four pendant le réchauffage:

$$\varepsilon = 2,25 + (0,03113 * T)$$

T : Temps de chauffage (hr).

D'après l'équation (IV-7): à partir le tableau (IV-1):

$$H_f = \frac{Q_{totale}}{\varepsilon}$$

$$1/\varepsilon = 0,38$$

$$Q_{totale} = 4,11 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$H_f = 1,08 \cdot 10^7 \text{ BTU}$$

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

Les données sont représentées dans le tableau IV.4

Tableau IV.4: Représentation des données de réchauffage du tamis

|  |                   |
|--|-------------------|
| Quantité de chaleur apportée par le GN $H_f$ (BTU) | $1,08 \cdot 10^7$ |
| $(\Delta H \text{ BTU}/\text{Nm}^3)$               | 1179,47           |
| Masse volumique $\rho_{GN}$ (Lb/ $\text{Nm}^3$ )   | 1,8298            |
| Température finale ( $T_f$ : °F)                   | 536               |

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| Température initiale ( $T_f$ : °F) | 54,86 |
|------------------------------------|-------|

Pour  $\Delta H$  en  $\text{Kj} / \text{Nm}^3$ :  $\Delta H = \Delta H (\text{Kj} / \text{Kg}) * \rho_{GN}$

$\Delta H = 640,66 \text{ Kj} / \text{Kg}$ .

$\rho_{GN} = 0,83 \text{ Kg} / \text{Nm}^3 = 1,83 \text{ Lb} / \text{Nm}^3$ .

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

D'après l'équation (IV-8):

$$t_r = \frac{H_f}{\Delta H * M_{GN}}$$

$H_f = 1,08 \cdot 10^7 \text{ BTU}$

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

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

$$t_r = 10,7 \text{ hr}$$

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

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

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

—

### Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle « $H_f$ /cycle»: [12]

$$t_r = 10,7 \text{ hr}.$$

$$H_f = 1,08 \cdot 10^7 \text{ BTU}.$$

$$t_{ads} = 36,8 \text{ hr}.$$

D'après l'équation (IV-9):

$$H_{f/cycle} = \frac{H_f * t_r}{t_{ads}}$$

$$H_f / \text{CYCLE} = 3,14 \cdot 10^6 \text{ BTU / hr}$$

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

D'après l'équation (IV-10):

$$t_{ref} = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{Q_{totale}} * t_r$$

$$t_{ref} = 4,53$$

$$Q_{totale} = 4,11 \cdot 10^6 \text{ BTU}.$$

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU}.$$

$$Q_{tamis} = 7,13 \cdot 10^5 \text{ BTU}.$$

### -Calcul de la chaleur soutirée au système $Q_{ref}$ :

D'après l'équation (IV-11):

$$Q_{ref} = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{t_{ref}}$$

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 7,13 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$t_{ref} = 4,53 \text{ hr.}$$

$$Q_{ref} = 3,85 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr}$$

### Calcul du bilan de matière de la régénération : [12]

#### ❖ Calcul du débit du gaz de refroidissement :

D'après l'équation (IV-12)

$$M_{ref} = \frac{Q_{ref}}{\Delta H_{(T_s - T_e)}}$$

$$Q_{ref} = 3,85 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr. } \Delta H_{(T_s - T_e)}$$

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

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

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

$$M_{ref} = 7,6 \cdot 10^2 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

#### ❖ Calcul des pertes de charge: [12]

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

❖ Le gaz naturel de Réchauffage:  $T = 280 \text{ }^\circ\text{C}$

$$P = 4,5 \text{ kg / cm}^2$$

#### ❖ Calcul de la masse volumique du GN

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

#### ❖ Calcul du coefficient de compressibilité (Z):

Le facteur de compressibilité est calculé par la formule suivante:



---

$$Z = 1,046 - (2,034 * 10^{-9}) * P + (4,571 * 10^{-8}) * P^2.$$

Avec P est la pression du travail exprimé en Psia

$$Z = 1,03 \text{ Kg / m}^3$$

$$Z = 1,03$$

$$M_{GN} = 18,71 \text{ Kg/K mole.}$$

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

$$P = 4,5 \text{ kg / cm}^2 = 4,44 \text{ atm.}$$

$$R = 0,082 \text{ L. atm / mole. }^\circ\text{K.}$$

$$\rho_{GN} = 1,77 \text{ Kg/m}^3$$

❖ **Calcul de la vitesse superficielle  $U_1$  à travers le lit: [12]**

$$S = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$S = 5,411 \text{ ft}^2$$

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

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

$$U_1 = \frac{M_g}{60 * S * \rho_{GN}}$$

$$U_1 = 103,09 \text{ ft / min}$$

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

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

$$P = 4,5 \text{ kg / cm}^2 = 450 \text{ Kpasd}$$

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

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

$$\mu_1 = 0.02 \text{ Cp} = 0.043 \text{ Lb /ft .hr (Voir annexe 8).}$$

D'après l'équation (IV-13) :

$$\Delta P / L_1 = (A * U_1 * \mu_1) + (B * \rho_{GN} * U_1^2)$$

Avec:

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

$\mu$  : Viscosité du GN (Cp)

A, B : Constantes relatives aux dimensions des particules du tamis.

---

$$A = 0,0561 \text{ , } B = 0,0000889$$

$$\Delta P/L_1 = 0,22 \text{ psi / ft}$$

❖ **Calcul de  $Re_1$ :**

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

$$\mu_l = 0,02 \text{ Cp} = 0,04 \text{ Lb /ft .hr}$$

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

D'après l'équation (IV-14)

$$Re = \frac{G * D_p}{\mu}$$

$$Re_1 = 170,09$$

❖ **Calcul de la perte de charge  $\Delta P/L_2$  pour le GN froid: [12]**

❖ **Calcul du coefficient de compressibilité (Z) :[5],[11]**

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

$$Tr = \frac{T}{T_c}$$

$$Pr = \frac{P}{P_c}$$

$T_c, P_c$  : paramètres pseudo critiques.

$T_r, P_r$  : température et pression réduites.

$$T_c = \sum Y_i * T_{ci} \quad T_c = 194,3^\circ \text{K.}$$

$$P_c = \sum y_i * P_{ci} \quad P_c = 45,12 \text{ atm}$$

$$Z = f (Tr = 1,47 ; Pr = 0,1).$$

Et selon l'annexe (D et E) :

$$Z = 0,91 \text{ Kg}^3.$$

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

$$Z = 0,91$$

$$M_{GN} = 18,71 \text{ Kg / K mole.}$$

$$T = 12,7^\circ \text{C} = 285,7^\circ \text{K.}$$

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

$$P = 4,5 \text{ kg / cm}^2 = 4,44 \text{ atm.}$$

$$R = 0,082 \text{ (l . atm / mole . K).}$$

---

❖ Calcul de la vitesse superficielle  $U_2$  à travers le lit: [12]

$$S = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$S = 5,411 \text{ ft}^2$$

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

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

$$U_2 = \frac{M_g}{60 * S * \rho_{GN}}$$

$$U_2 = 17.96 \text{ ft / min.}$$

❖ **Calcul de la viscosité du GN froid  $\mu_2$ : [12]**

**Calcul de la densité relative  $d_r$ :**

$$d_r = \frac{M_{GN}}{M_{air}}$$

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

$$d_r = 0.64$$

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

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

D'après l'équation (IV-13)

$$\Delta P / L_2 = (A * U_2 * \mu_2) + (B * \rho_{GN} * U^2)_2$$

$$\Delta P / L_2 = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ psi / ft}$$

**Calcul de  $Re_2$ : [10]**

$$D_p = 0,01 \text{ ft. (Voir annexe B).}$$

$$\mu_2 = 0,03 \text{ Lb/ft.hr.}$$

$$G = M_g / S = 258,73 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$$

D'après l'équation (IV-14) :

$$Re = \frac{G * D_p}{\mu}$$

$$Re_2 = 86.24$$

**Récapitulation des résultats:**

**Les résultats sont représentés sur le tableau IV..5**

Tableau IV.5: Représentation des valeurs de design et des valeurs calculées

| <b>Les valeurs calculées</b>  | <b>Les valeurs de design</b>                        |
|---|---|
| $m_t = 4652,75 \text{ kg}$  | $m_t = 4653 \text{ kg}$                             |
| $H_t = 2,1 \text{ m}$   | $H_t = 2,1 \text{ m}$                               |
| $H_f = 2.72 * 10^6 \text{ Kcal /hr}$  | $0,15 * 10^6 < H_f < 3,3 * 10^6 \text{ Kcal /hr}$   |
| $t_r = 10,7 \text{ hr}$   | $t_r = 11 \text{ hr}$                               |
| $t_{ref} = 4,53 \text{ hr}$   | $t_{ref} = 5 \text{ hr}$                            |
| $M_g = 2000 \text{ Nm}^3/\text{hr}$<br>$M_{ref} = 760 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ | $1000 < \text{Débit} < 2500 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ |
| $\Delta P_1 / L = 0,22 \text{ psi /ft}$                                       | $0,01 < \Delta P / L < 0,25 \text{ psi /ft}$        |
| $\Delta P_2 / L = 0,017 \text{ psi /ft}$                                      | $0,01 < \Delta P / L < 0,25 \text{ psi /ft}$        |
| $Re_1 = 170,09$   | $Re > 100$  |
| $t_{ads} = 36,80 \text{ hr}$  | $t_{ads} = 36 \text{ hr}$                           |
|   |   |

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

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

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

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

## IV.7. Etude de la première solution: [12]

En vue d'optimiser le temps d'adsorption, on procède au calcul du temps pour 25 ppm.

**Calcul  
le  
débit  
d'eau:**

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

$D_L$  : le diamètre du lit. ( $D_L=2.1 \text{ m}=6.89 \text{ ft}$ ) (voir l'annexe B).

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

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

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

$Y_{in} = 25 \text{ ppm}$

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

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.

### Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse: [12]

$$H^z = \frac{225 * q_w^{0.7895}}{U_{act}^{0.5506} * R_s^{0.2646}}$$

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

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

$R_s$  : la teneur en eau dans la charge de GPL,  $R_s = 25 \%$

$$H_z = 9,09 \text{ inch} = 0,75 \text{ ft} = 0,23 \text{ m}$$

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

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

$$H_s = H_t - H_z$$

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

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



---

$H_t$  : la hauteur total du lit ( $H_t = 1,8\text{m} = 5,9\text{ft}$ ) (voir l'annexe B).

$$H_s = 5,15 \text{ ft} = 1,57 \text{ m}$$

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

### Estimation de la quantité d'eau adsorbée $M_{ads}$ : [12]

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

$$M_{ads} = 1187,69 \text{ Lb}$$

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

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

$C$ : Constante relative aux tamis moléculaire.

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

### Calcul du temps d'adsorption:

$$t_{ads} = \frac{M_{ads}}{Y_{in} * Q * \rho_{GPL}}$$

$$t_{ads} = 164 \text{ hr}$$

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

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

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

### Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessiccant (X):

$$X = X_s * \left(1 - \left(\frac{C * H_z}{X_s}\right)\right)$$

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

$$X = 13,40 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de dessiccant}$$

### Détermination de l'efficacité d'adsorption:

$$EFF = \frac{X}{X_s}$$

$$EFF = 93,36$$

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

### Calcul du bilan thermique: [12]

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

La quantité d'eau adsorbée  $M_{ads} = 1188,43\text{Lb}$ .

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

D'après l'équation (IV-2):

$$Q_{des} = M_{ads} * \Delta H$$

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

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

D'après l'équation (IV -5):

$$Q_{pertes} = 0,1 * (Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des})$$

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU. } Q$$

$$Q_{tamis} = 7,14 \cdot 10^5 \text{ BTU. } Q$$

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

$$Q_{perte} = 3,88 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

#### ❖ Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération $Q_{totale}$ : [12]

D'après l'équation (IV -1):

$$Q_{total} = Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des} + Q_{pertes}$$

$$Q_{totale} = 4,27 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

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

D'après l'équation (IV -7):

$$H_f = \frac{Q_{totale}}{\varepsilon}$$

$$1/\varepsilon = 0,38$$

$$Q_{totale} = 4,27 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$H_f = 1,12 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr}$$

#### ❖ Calcul du temps de réchauffage du tamis « $t_r$ »:

D'après l'équation (IV -8):

$$t_r$$

---

$$= \frac{H_f}{\quad}$$

$$\Delta H_{(T_e - T_{ads})} * M_{GN}$$

MGN: La quantité GN sortant du four exprimé en (Nm<sup>3</sup>/hr).

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

$$H_f = 1,12 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr}$$

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

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

$$t_r = 11,14 \text{ hr}$$

❖ **Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle  $H_{f/CYCLE}$ : [2]**

$$t_r = 11,14 \text{ hr}.$$

$$H_f = 1,12 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr}.$$

$$t_{ads} = 164 \text{ hr}.$$

D'après l'équation (IV -9):

$$H_{f/cycle} = \frac{H_f * t_r}{t_{ads}}$$

$$H_{f/CYCLE} = 7,63 \cdot 10^5 \text{ BTU / hr}$$

❖ **Calcul du temps de refroidissement du tamis «  $t_{ref}$  »: [12]**

D'après l'équation (IV -10):

$$t_{ref} = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{Q_{totale}} * t_r$$

$$Q_{totale} = 4,27 \cdot 10^6 \text{ BTU}.$$

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU}.$$

$$Q_{tamis} = 7,14 \cdot 10^5 \text{ BTU}.$$

$$t_r = 11,14 \text{ hr}.$$

$$t_{ref} = 4,55$$

**hr**

❖ **Calcul de la chaleur soutirée au système  $Q_{ref}$ : [12]**

D'après l'équation (IV -11):

$$Q_{ref}$$

---

$$= \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{t_{ref}}$$

$t_{ref}$

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{\text{tamis}} = 7,14 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$T_{\text{ref}} = 4,55 \text{ hr.}$$

$$Q_{\text{ref}} = 3,83 \cdot 10^5 \text{ BTU / hr}$$

### Calcul du bilan de matière de la régénération: [12]

#### ❖ Calcul du débit du gaz de refroidissement:

D'après l'équation (IV -12):

$$M_{\text{ref}} = \frac{Q_{\text{ref}}}{\Delta H_{(T_s - T_e)}}$$

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

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

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

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

$$Q_{\text{ref}} = 3,8310^5 \text{ BTU/hr.}$$

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

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

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

$$M_{\text{ref}} = 760 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

### Calcul des pertes de charges:

#### ❖ Calcul de la perte de charge $\Delta P/L_1$ pour le GN chaud: [12]

#### ❖ Calcul de la vitesse superficielle $U_1$ à travers le lit:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$S = 5,411 \text{ ft}^2.$$

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

$$60 * S * \rho_{\text{GN}}$$

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

$$U_1 = \frac{M_g}{\quad}$$

---

**$U_1 = 103,09 \text{ ft / min}$**



❖ **Calcul de la viscosité du GN chaud  $\mu_1$ : [12]**

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

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

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

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

$$\mu_1 = 0,02 C_P. \text{ (Voir l'annexe F).}$$

D'après l'équation (IV -13):

$$\Delta P / L_1 = (A * U_1 * \mu_1) + (B * \rho_{GN} * U_1^2)$$

$\Delta P/L_1$  : la perte de charge par unité de longueur (psi / ft).

$\mu_1$ : la viscosité du GN (Cp).

$U_1$ : la vitesse superficielle (ft / min).

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

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

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

$$\Delta P/L_1 = 0,22 \text{ psi/ft}$$

❖ **Calcul de  $Re_1$ :**

$$D_P = 0,01 \text{ ft.}$$

$$\mu_1 = 0,02 C_P = 0,04 \text{ Lb /ft. hr. (Voir annexe C).}$$

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

D'après l'équation (IV -14):

$$Re = \frac{G * D_P}{\mu}$$

$$Re_1 = 170,09$$

❖ **Calcul de la perte de charge  $\Delta P/L_2$  pour le GN froid: [12]**

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

$$\rho_{GN} = \frac{Kg}{m^3} = \frac{0,24 \text{ Lb / ft}^3}{88}$$

---

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} \text{ —————}$$

$$S = 5,4 \text{ 11 ft}^2.$$

$$M_g = M_{ref} = 760 \text{ Nm}^3/\text{hr} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ Lb} / \text{hr}.$$

$$U_2 = \frac{M_g}{60 * S * \rho_{GN}}$$

$$U_2 = 17,96 \text{ ft /min}$$

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

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

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

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

$$= 12,7 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$\mu_2 = 0,01 C_P = 0,03 \text{ Lb /ft .hr. (Voir annexe C)}$$

D'après l'équation (IV -13):

$$\Delta P / L_2 = (A * U_2 * \mu_2) + (B * \rho_{GN} * U_2^2)$$

$$\Delta P / L_2 = 0,017 \text{ psi / ft}$$

❖ **Calcul de  $Re_2$ :**

$$D_p = 0,01 \text{ ft (Voir annexe B)}$$

$$\mu_2 = 0,01 C_P = 0,03 \text{ Lb / ft. hr}$$

$$G = M_g / S = 258,73 \text{ lb / ft}^2 \text{ .hr}$$

D'après l'équation (IV -14) :

$$Re = \frac{G * D_p}{\mu}$$

$$Re_2 = 86,24$$

**Interprétation  
des résultats :**

D'après tous les résultats obtenus , on a réalisé le but de notre travail en modifiant le temps d'adsorption du déshydrateur de charge de 36 heures (le temps de design), au temps obtenu après les calculs qui correspond à 164 heures.

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

- ❖ Une diminution de nombre de cycles au temps, par conséquent une augmentation de l'efficacité du tamis.
- ❖ 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.

#### IV. 8. Etude de la deuxième solution:

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

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

##### Calcul de débit d'eau: [12]

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

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

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

##### Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse : [12]

$$H^z = \frac{225 * q_w^{0.7895}}{U_{act}^{0.5506} * Y_{in}^{0.2646}}$$

$$H_z = 9,09 \text{ inch} = 0,75 \text{ ft} = 0,23 \text{ m}$$

##### Estimation de la quantité d'eau adsorbée $M_{ads}$ :

$$M_{ads} = Y_{in} * Q_v * \rho_{gpl} * \theta$$

$Y_{in}$ : Concentration de l'eau en ppm = 0,000025

$Q_v$ : Débit volumique du produit = 8675,09 (ft<sup>3</sup> / hr)

$\rho_{gpl}$ : Masse volumique de la charge = 33,09 (lb / ft<sup>3</sup>)

$\theta$ : le temps d'adsorption = 36 (hr)

$$M_{ads} = 258,35 \text{ Lb}$$

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

$$H_s = H_t - H_z$$

$$H_s = 5,15 \text{ ft} = 1,56 \text{ m}$$

Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb dedessicant (X):

$$X = X_s * \left(1 - \frac{C * H_z}{H_s}\right)$$

---

**X = 13,39 Lb d'eau / 100 Lb  
de dessicant**

### Détermination de l'efficacité d'adsorption:

$$EFF = \frac{X}{X_S}$$

$$EFF = 0,93$$

### Calcul du bilan thermique: [12]

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

La quantité d'eau adsorbée  $M_{ads} = 258,35\text{Lb}$ .

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

D'après l'équation (IV -2):

$$Q_{des} = M_{ads} * \Delta H$$

$$Q_{des} = 4,65 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

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

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 7,14 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$Q_{des} = 4,65 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

D'après l'équation (IV -5):

$$Q_{pertes} = 0,1 * (Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des})$$

$$Q_{perte} = 2,21 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

#### ❖ Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération $Q_{totale}$ : [12]

D'après l'équation (IV -1):

$$Q_{total} = Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des} + Q_{pertes}$$

$$Q_{totale} = 2,43 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

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

D'après l'équation (IV -7):

$$Q_{le} = 2,43 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

$$1/\varepsilon = 0,3898.$$

t  
o  
t  
a

$H_f$

---

$Q_{totale1}$

=

$\varepsilon$

**H<sub>f</sub>=  
6,2  
10<sup>6</sup>  
BTU**





---

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

D'après l'équation (IV -8):

$$t_r = \frac{H_f}{(T_i - T_e) * M_{GN}}$$

$$H_f = 6,23 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

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

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

$$t_r = 6,17 \text{ hr}$$

❖ **Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle  $H_{F/CYCLE}$  : [12]**

$$t_r = 6,17 \text{ hr.}$$

$$H_f = 6,23 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

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

D'après l'équation(IV -9):

$$H_{f/cycle} = \frac{H_f * t_r}{t_{ads}}$$

$$H_{F/CYCLE} = 1,06 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

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

D'après l'équation (IV -10):

$$t_{ref} = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{Q_{totale}} * t_r$$

$$Q_{totale} = 2,43 \cdot 10^6 \text{ BTU. Q}$$

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU. Q}$$

$$Q_{tamis} = 7,14 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$t_r = 6,13 \text{ hr.}$$

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

❖ **Calcul de la chaleur soutirée au système  $Q_{ref}$  :**

D'après l'équation (IV -11):

$$Q_{ref} = Q_{tamis} + Q_{acier}$$

---

$t_{ref}$

$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$

$Q_{tamis} = 7,14 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$

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

**$Q_{ref} = 3,9 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr}$**

## IV.9. Calcul du bilan de matière de la régénération: [12]

### ❖ Calcul du débit du gaz de refroidissement:

D'après l'équation (IV -12):

$$M_{ref} = \frac{Q_{ref}}{\Delta H_{(T_s - T_e)}}$$

$$Q_{ref} = 3,9 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr.}$$

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

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

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

$$M_{ref} = 768,59 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

### Interprétation des résultats:

Selon les résultats obtenus, il est clairement appaissant que la durée de régénération est modifiée, une diminution du temps de chauffage jusqu'à 6 heures 10 minutes et une durée de 4 heures 24 minutes pour le refroidissement sans perturber la durée du cycle d'adsorption de 36 heures.

Cette modification présente une économie moins importante dans l'énergie fournie par le four par cycle de fonctionnement puisque la même quantité de gaz naturel que pour le cycle d'adsorption de 36 hr dépensée pour un cycle d'adsorption plus long.

Au cours de l'étape d'adsorption, les dessiccants sont chargés d'humidité ceci se traduit à l'équilibre par un état de saturation, le dessiccant saturé n'adsorbe plus et une régénération doit être succédée au chargement au cours de cette séquence l'humidité est éliminée par un chauffage; et dans notre cas où le lit n'est pas totalement saturé le chauffage de la partie sèche du lit devient inutile et peut provoquer la dégradation du tamis et par conséquent la diminution de son efficacité; ce résultat est vérifié quelque soit la teneur en eau dans la charge.

---

## **Interprétation et choix de la solution optimale :**

D'après tous les Résultats obtenus, On ne peut optimiser le fonctionnement de la Section de déshydratation de la charge, que par la réalisation de la solution optimale du problème posé qui est : l'augmentation du temps d'adsorption du sécheur.

Cette augmentation présente plus d'avantage pour le système, car elle réduira le nombre de cycles par mois, avec une diminution de nombre de régénération entraînant :

- ❖ Une diminution de gaz naturel consommé lors de la régénération de la séquence de refroidissement.
- ❖ Une diminution de la Chaleur fournie par le four pour la séquence de chauffage, Calculée à la base d'une saturation totale du lit, parce que si l'on chauffe un lit qui n'est que partiellement rempli d'eau, l'énergie utilisée pour chauffer un tamis ne contenant pas d'eau est simplement perdue.
- ❖ Une augmentation de la durée de vie du tamis moléculaire.
- ❖ Une perte moins importante lors de la régénération du produit GPL piégé dans le tamismoléculaire.
- ❖ Augmentation de l'efficacité du tamis à cause de la diminution de la destruction des cristaux.

## IV.10. Comparaison entre les deux solutions optimales :

### Première solution :

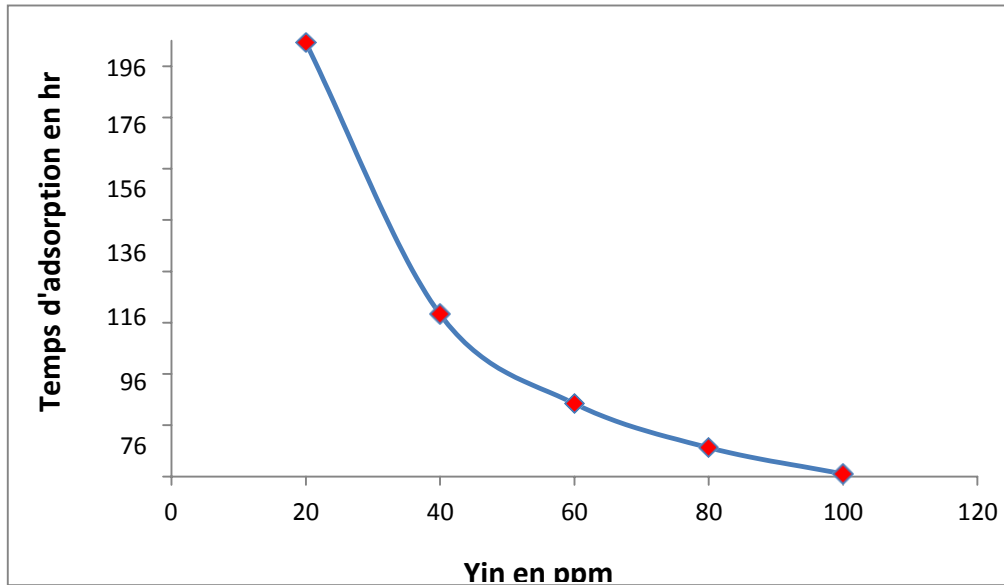
En fixe le temps de régénération puis en varie le temps d'adsorption.

Les résultats obtenus sont représentés sur le tableau IV.6.

Tableau IV.6 : La variation du temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau pour un temps de régénération fixé

|  |            |                |                |                |                |
|--|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Teneur en eau en ppm</b>  | <b>100</b> | <b>80</b>      | <b>60</b>      | <b>40</b>      | <b>25</b>      |
| <b>Temps d'adsorption</b>  | <b>36</b>  | <b>47,23</b>   | <b>64,77</b>   | <b>100,05</b>  | <b>164</b>     |
| <b>Temps de Réchauffage</b>  | 11         | 11             | 11             | 11             | 11             |
| <b>Nombre d'heures par ans</b>                                     | 8760       | 8760           | 8760           | 8760           | 8760           |
| <b>Débit de Réchauffage</b>  | 2000       | 2000           | 2000           | 2000           | 2000           |
| <b>Nombre de régénération par un an</b>                            | 243        | 185            | 135            | 87             | 53             |
| <b>Quantité de GN pour le réchauffage pendant une régénération</b> | 22000      | 22000          | 22000          | 22000          | 22000          |
| <b>Quantité de GN pour le réchauffage pendant un an</b>            | 5346000    | 4070000        | 2970000        | 1914000        | 1166000        |
| <b>Gain en GN par ans et par train en Nm<sup>3</sup></b>           |            | <b>1276000</b> | <b>2376000</b> | <b>3432000</b> | <b>4180000</b> |

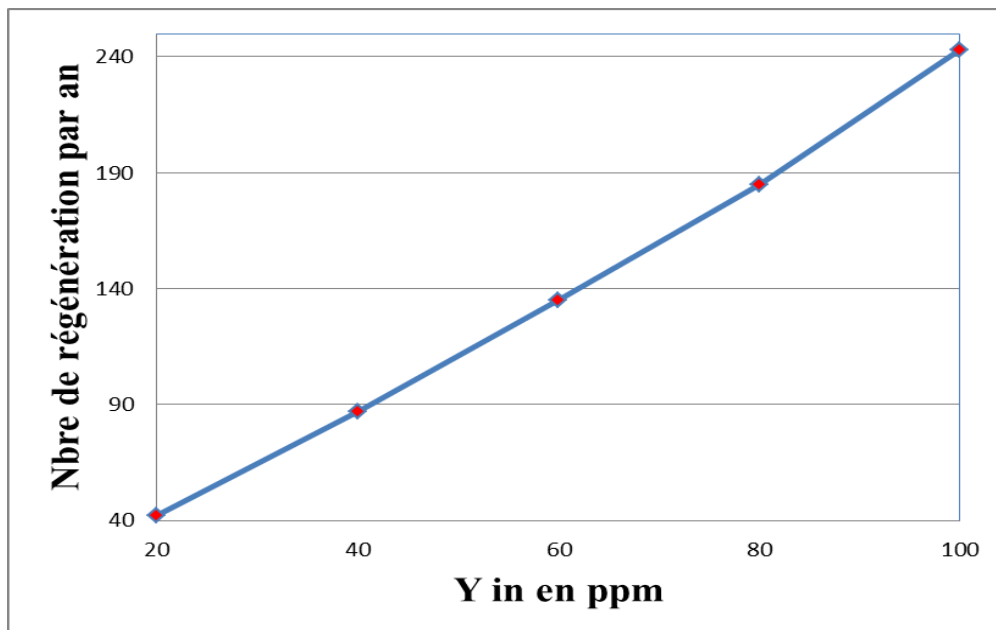
La représentation graphique de la prolongation du temps d'adsorption est illustrée par la figure suivante. Une simple interpolation, nous permet de déterminer le temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau dans la charge.



**Figure IV.1: Le temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau.**

Nous remarquons que le temps d'adsorption augmente avec la diminution de la teneur en eau dans la charge GPL .

La figure ci-dessous montre l'augmentation du nombre de régénération par an en fonction de la teneur en eau dans la charge et ce pour une séquence d'adsorption adaptée à cette teneur.



**Figure IV.2: le nombre de régénération par an en fonction de la teneur en eau.**

Nous remarquons que le nombre de régénération diminue proportionnellement à la teneur en eau dans la charge GPL.

### Deuxième solution :

En fixe le temps d'adsorption puis en varie le temps régénération.

Les résultats obtenus sont montrés par le tableau IV-7.

**Tableau IV.7: La variation du temps de régénération en fonction de la teneur en eau pour un temps d'adsorption fixé.**

| Teneur en eau en ppm  | 100     | 80      | 60      | 40      | 25      |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| Temps d'adsorption (hr)   | 36      | 36      | 36      | 36      | 36      |
| Temps de réchauffage (hr)   | 11      | 8,86    | 7,73    | 6,64    | 6.17    |
| Nombre d'heures par an  | 8760    | 8760    | 8760    | 8760    | 8760    |
| Débit de réchauffage (m <sup>3</sup> /hr)                                     | 2000    | 2000    | 2000    | 2000    | 2000    |
| Nombre de régénération par un an  | 243     | 243     | 243     | 243     | 243     |
| Quantité de GN pour le réchauffage pendant une régénération (m <sup>3</sup> ) | 22000   | 17720   | 15460   | 13280   | 12340   |
| Quantité de GN pour le réchauffage pendant un an                              | 5346000 | 4305960 | 3756780 | 3227040 | 2998620 |
| Gain en quantité de GN par ans et par train en Nm <sup>3</sup>                |         | 1040040 | 1589220 | 2118960 | 2347380 |

Le temps de chauffage calculé en fonction de la teneur en eau dans la charge, tout en gardant



---

le temps d'adsorption fixé à 36 h, est illustré par la figure suivante.

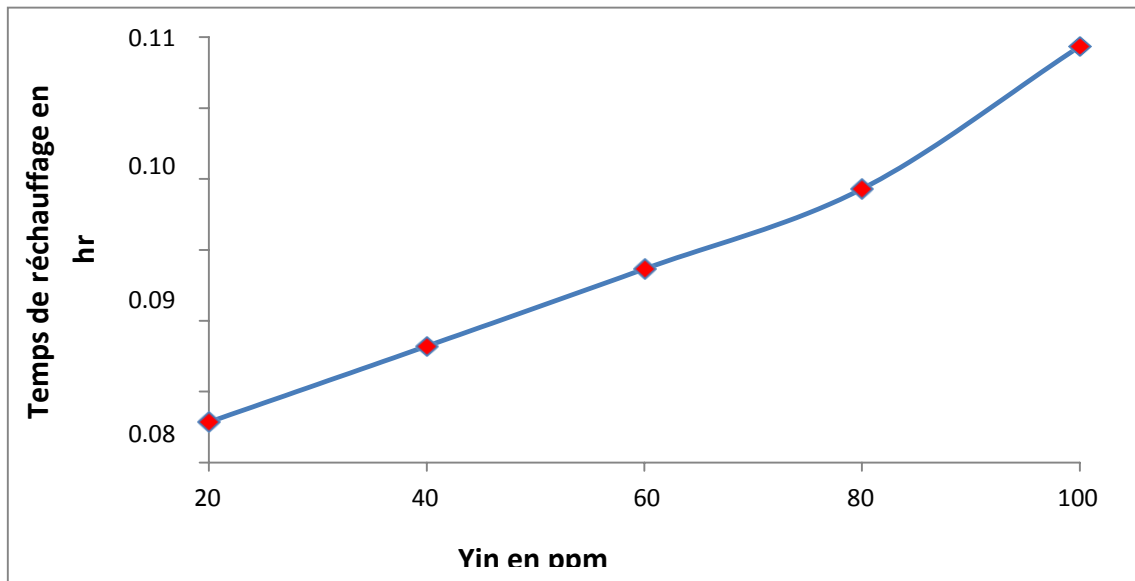
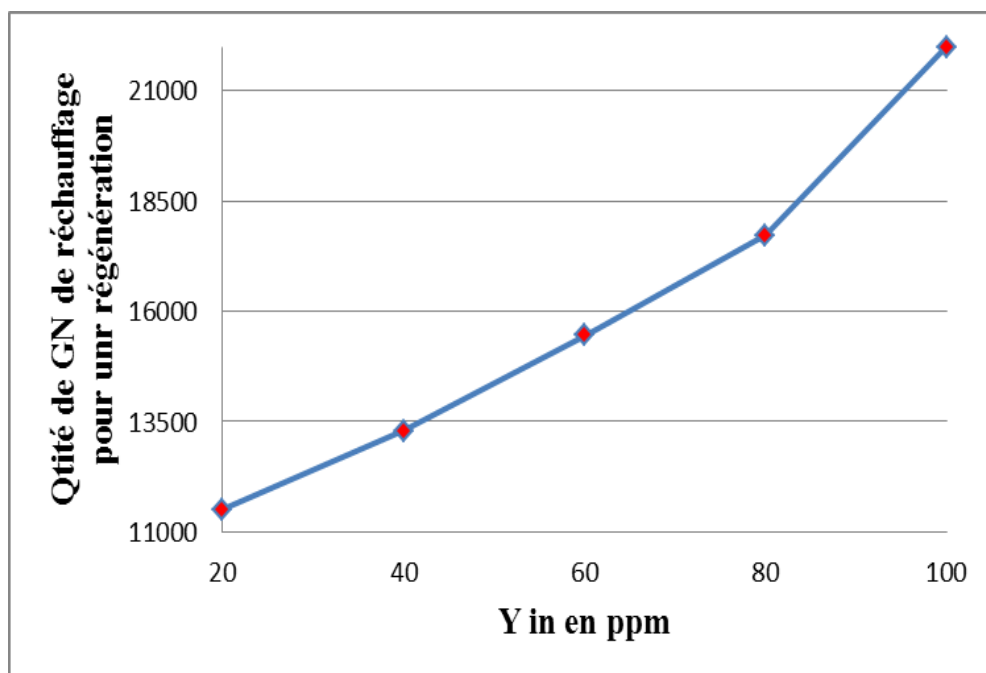


Figure IV.3: Le temps de réchauffage en fonction de la teneur en eau.

Nous remarquons que le temps de réchauffage diminue proportionnellement avec la diminution de la teneur en eau dans la charge GPL. Cela implique que l'énergie dépensée pour la séquence de chauffage diminue en fonction de la diminution du temps de chauffage et par conséquent en fonction de la diminution de la teneur en eau dans la charge GPL. La figure ci-dessous montre cette conclusion.



**Figure IV.4: Quantité de GN utilisée pendant une régénération en fonction de la teneur en eau pour la deuxième solution**



---

## Conclusion Générale



### Conclusion générale

Les préoccupations au niveau du complexe GP1/Z étant de ramener la teneur en eau dans l'alimentation d'une valeur maximale de 100 ppm à 1 ppm dans la section de déshydratation.

Il nous a paru indispensable lors de notre formation d'étudier ce problème en vue d'optimiser les paramètres de fonctionnement de la section déshydratation de charge.

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

En plus du gain obtenu en GN, un gain supplémentaire est réalisé dans:

- ❖ La durée de vie du tamis va être plus longue du fait que le vieillissement du tamis est dû surtout au dépôt de coke à haute température.

Avec l'augmentation du temps d'adsorption, le nombre de régénération est moindre donc le tamis est moins exposé à hautes températures lors de la séquence de chauffage.

- ❖ La durée de vie du matériel est plus longue du fait qu'avec un nombre de cycles moins important, le matériel est exposé à moins de contraintes de pression (moins de séquence de pressurisation et dépressurisation) et de contraintes de température (réchauffage et refroidissement).
- ❖ La durée de vie de la robinetterie comme les séquences sont gérées par les ouvertures et fermetures des vannes.

Cette optimisation nous permet d'économiser une quantité annuelle de GN de  $(4.02 \cdot 10^7 \text{ Nm}^3)$  qui se traduit par une valeur de  $(25.08106 \text{ DA})$ .

## Conclusion Générale

---

Et un gain annuel de valeur de 3,47 10<sup>6</sup>DA pour les tamis moléculaire.