



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière: GENIE DES PROCEDES

Option: GENIE PETROCHIMIE

Thème

**Optimisation du temps de passage de GPL dans les
sécheurs**

Présenté par:

1- BOUHAFS Ahlem

2- DJEROUROU Amel

Soutenu le, 22/06/2026 devant le jury composé de:

Président: KHELLADIMALIKA

MCA

Université de Mostaganem

Examinatrice: MEZOUAGHAMINA

MCA

Université de Mostaganem

Rapporteur: MOHAMEDSEGHIRZAHIRA

MCB

Université de Mostaganem

Remerciements

Mes remerciements vont tout premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné durant toutes ces années.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements à ma promotrice M^{me} MOHAMED SEGHIR Zahira qui a été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail. Ses conseils, ses orientations ainsi que son soutien moral et scientifique m'ont permis de mener à bien ce projet.

Mes remerciements à tous les membres du jury : M^{me} KHELLADI Malika et M^{me} MEZOUAGH Amina pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.

J'adresse aussi mes remerciements à tous le personnel du complexe GP2Z.

Je tiens également à exprimer mes chaleureux remerciements à mes parents, mes sœurs, qui m'ont tous encouragé à mener à bien ce travail.

Dédicace

Je dédie ce projet aux être les plus chères à mon cœur :

Le meilleur de toutes les mères Djerourou Karima

*Qui ma soutenu durant toute ma vie, qui m'a aidé durant mes années
d'études, qui m'a appris à aimer le travail et le bon comportement, pour*

son amour infini et sa bienveillance, jour et nuit.

Je souhaite prouver mon grand remerciement qui ne sera jamais

suffisant à elle

Que j'espère la rendre fière par ce travail

Mon très cher père Djerourou Mohamed

Pour être le bon exemple de père par son soutien ses encouragements et

aides mes premiers étude jusqu'à ce jour

Mes chères sœurs (Hiba, Wassila, Fatima et Malek) je vous aime

beaucoup Mes chers frères Abed Elnour et Abed Elsalam

Mes chers neveux Mohamed et Adam, et à ma chère nièce Miral

De spécials dédicaces pour ma belle binôme Bouhafis Ahlem et je la

remercie d'avoir participé à ce travail.

Dédicace

Du profond se mon cour ; je dédie ce modeste travail

A ma chère maman Zina

Ma reine, merci pour ton amour infini, tes sacrifices silencieux, Tu as été ma lumière dans l'ombre et ma force. Si aujourd'hui je suis debout, c'est parce que tu as tenu le monde pour deux.

A mon père Mohamed

L'homme de peu de mots mais de grands gestes. Tes sacrifices n'ont jamais eu besoin de discours. Merci d'avoir cru en moi sans le dire, mais en le prouvant.

A mes chères sœurs (Fatima, Amina, Amaria)

Merci pour votre soutien fidèle et votre présence constante ; que j'aime plus que les mielleuses sœurs du monde.

A mon frère Ayoub

Merci pour ton encouragement et pour avoir toujours été là pour moi.

A mon encadrante, pour ses orientations, ses remarques merci pour les efforts.

A mes amies proches

Merci d'être ma deuxième famille, votre présence et vos mots, et amie d'enfance (Ikram) qui partagent ma petite vie de tous les jours et qui n'ont soutenue moralement pendant cette période de préparation. Et surtout ma chère amie et binôme (Djerourou Amel) qui accompagnée lors de ce recherche.

Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Listedesfigures.....	III
Listedestableaux.....	IV
Résumé.....	V
Introductiongénérale.....	1
ChapitreI:PARTIE THEORIQUE	
I.Introduction.....	4
I.2Caractéristiquephysico-chimiquedebutaneetdepropane.....	4
I.2.1Définition(butaneetpropane).....	5
I.3Utilisationdesgazdepétroleliquéfié(GPL).....	6
I.3.1Carburantautomobile.....	6
I.3.2Climatisation.....	6
I.3.3Sourcèdechauffage.....	6
I.3.4Pétrochimie.....	7
I.4Lesrisquesassociésauxgazdepétroleliquéfié(GPL).....	7
I.4.1Stockagesous pression.....	7
I.4.2Inflammabilitéélevée.....	7
I.4.3Risquedebulures thermique.....	7
I.4.4Mesuresdeprotection.....	7
I.5LaconsommationnationaleenGPL.....	7
I.6PrésentationducomplexeGP2/Z.....	8
I.6.1Introduction.....	8
I.6.2HistoriquedecomplexeGP2/Z.....	8
I.6.3Descriptionduprocédé.....	10
I.6.3.1SectionderéceptionetstockagedelachargeGPL.....	11
I.6.3.2Sectiondédéshydratation.....	12
I.6.3.3Sectiondeséparation.....	13
I.6.3.4Sectionréfrigération.....	14
I.6.3.5Sectiondestockage.....	16
CHAPITREII:PROCEDEDEDESHYDRATATIONDU GPL	
II.1Introduction.....	20
II.2Définition.....	20
II.3Procédédé séchage.....	20
II.3.1Séchageparabsorption.....	20
II.3.2Déshydratationparadsorption.....	20
II.3.2.1Déshydratationparadsorptiondansunliquide.....	22
II.3.2.2Adsorptionsurunagentdesséchantsolide.....	22
II.3.3Différentstyped'adsorbatsutiliséepourladéshydratation.....	22
II.4Descriptionduphénomèned'adsorption.....	23
II.4.1Colonne d'adsorption.....	23
II.4.2Conceptdezonedetransfertdemasse.....	24
II.5Régénération.....	25
II.5.1Drainage.....	25
II.5.2Chauffage.....	26
II.5.3Refroidissement.....	26
II.5.4Remplissage.....	26
II.5.5Etaped'attente(stand-Bay).....	26
II.6Effetdesvariablesdeprocédé.....	27
II.6.1Température.....	27
II.6.2Pression.....	27
II.6.3Teneurhumiditédelacharge.....	27
II.6.4Directiondel'écoulement.....	27

Table des matières

II.6.5 Type et dimension du tamis.....	28
II.7 Le tamis moléculaire.....	28
II.7.1 Tamis moléculaires sous des différentes formes.....	29
II.7.2 Régénération de tamis moléculaire.....	29
II.7.2.1 Fiche technique du tamis moléculaire.....	30
II.7.2.2 Application.....	30
II.7.2.3 Régénération.....	30
II.7.2.4 Propriétés de tamis moléculaire type 4A-DGTRISIV1/8.....	31
Chapitre III: PARTIE PRATIQUE	
III.1 Introduction.....	33
III.2 But.....	34
III.3 Fiche technique du tamis.....	34
III.4 La théorie des calculs.....	35
III.4.1 Les bilans énergétiques.....	35
III.4.1.1 Calcul de la quantité totale de chaleur nécessaire à la régénération.....	35
III.4.1.2 Calcul de la chaleur nécessaire à l'adsorption.....	35
III.4.1.3 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis.....	35
III.4.1.4 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier.....	35
III.4.1.5 Calcul des pertes de chaleur.....	35
III.4.2 Le bilan de matière de la régénération.....	36
III.4.2.1 Calcul du débit de gaz de refroidissement.....	36
III.4.2.2 Calcul de la chute de pression.....	36
III.4.2.3 Calcul du nombre de Reynolds.....	37
III.5 Dimensionnement du sécheur de la section.....	37
III.5.1 Propriété du GPL.....	37
III.5.2 Composition de la charge.....	37
III.5.3 Dimensionnement d'un déshydratateur.....	38
III.5.4 Calcul de la quantité d'eau adsorbée.....	38
III.5.4.1 Calcul de la vitesse actuelle d'écoulement.....	38
III.5.4.2 Calcul du débit d'eau.....	38
III.5.4.3 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse.....	38
III.5.4.4 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre.....	39
III.5.4.5 Estimation de la capacité de l'adsorption à l'équilibre.....	39
III.5.4.6 Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 LB de dessicant.....	40
III.5.4.7 Estimation de la quantité d'eau absorbée.....	40
III.5.4.8 Calcul du temps d'adsorption.....	40
III.6 Calcul du bilan thermique.....	41
III.6.1 Propriété du gaz de régénération.....	41
III.6.2 Calcul du coefficient de compressibilité (z) à température de 280 et 22°C.....	41
III.6.2.1 Le gaz naturel de réchauffage.....	41
III.6.2.2. Le gaz naturel de refroidissement.....	42
III.6.3 Calcul de la masse du tamis.....	43
III.6.4 Calcul de la température moyenne du lit en fin de chauffage T.....	43
III.6.5 Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage du tamis.....	43
III.6.6 Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage de l'acier.....	44
III.6.7 Calcul de la chaleur nécessaire à l'adsorption.....	44
III.6.8 Calcul des pertes de chaleur.....	44
III.6.9 Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Q_o	44
III.6.10 Calcul de la capacité calorifique moyenne du gaz.....	45
III.6.11 Calcul de la chaleur de l'économiseur four.....	45
III.6.12 Calcul du temps de réchauffage du tamis «tr».....	45
III.6.13 Calcul du temps de refroidissement du tamis «r».....	47
III.6.14 Calcul de la chaleur saturée.....	47

Table des matières

III.7 Calcul du bilan de matière de régénération.....	47
III.7.1 Calcul du débit du gaz de refroidissement.....	47
III.7.2 Calcul des pertes de charges.....	47
III.7.2.1 Calcul de la vitesse superficielle U_1 à travers le lit pour le GN chaud.....	47
III.7.2.2 Calcul de la vitesse superficielle U_2 à travers le lit pour le GN froid.....	48
III.7.2.3 Calcul de la perte de charge Δp pour le GN chaud.....	48
III.7.2.4 Calcul de la perte de charge Δp pour le GN froid.....	48
III.7.2.5 Calcul du nombre de Reynolds.....	49
III.7.2.6 Calcul du nombre de Reynolds.....	49
III.8 Résultats.....	49
III.9. La prolongation du temps d'adsorption.....	50
III.9.1 Calcul du temps d'adsorption.....	50
III.9.1.1 Calcul du débit d'eau.....	50
III.9.2 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse.....	50
III.9.3 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre.....	50
III.9.4 Estimation de la quantité d'eau adsorbée.....	51
III.9.5 Détermination de l'efficacité d'adsorption.....	51
III.9.6 Calcul du bilan thermique.....	51
III.9.6.1 Calcul de la chaleur nécessaire à l'adsorption Q_{ad}	51
III.9.6.2 Calcul des pertes de chaleur.....	52
III.9.6.3 Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Q_o	52
III.9.6.4 Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur H_f	52
III. 10 La réduction du temps d'adsorption.....	53
III.10.1 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre.....	53
III.10.2 Calcul de la hauteur non utilisée H'	53
III.10.3 Détermination de l'efficacité d'adsorption.....	54
III.10.4 Calcul du bilan thermique.....	54
III.10.4.1 Calcul de la chaleur nécessaire à l'adsorption Q_{ad}	54
III.10.4.2 Calcul des pertes de chaleur.....	54
III.10.4.3 Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Q_o	55
III.10.4.4 Calcul du temps de réchauffage du tamis «».....	55
III.10.4.5 Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur par cycle.....	55
III.10.4.6 Calcul du temps de refroidissement du tamis «».....	55
III.10.5 Interprétation des résultats.....	56
III.10.5.1 Dimensionnement du sécheur basé sur la référence (100 ppm).....	56
III.10.5.2 Validation du modèle par bilan thermique.....	57
III.10.5.3 Solution 1: Prolongation du temps d'adsorption (25 ppm).....	57
III.10.5.4 Solution 2: Réduction du temps d'adsorption (=48h).....	59
III.10.5.5 Comparaison des deux solutions.....	60
III.10.5.6 Conclusion.....	60
Conclusion générale.....	61
Annexe	

Liste des figures

Figure I.1. : Répartition de la consommation nationale du GPL en Algérie.....	7
Figure I.2. : Schéma de principe du procédé du GP2/Z.....	10
Figure I.3. : Section de la charge GPL.....	11
Figure I.4. : Section de la déshydratation.....	13
Figure I.5. : Section de séparation.....	14
Figure I.6. : Section de la régénération.....	15
Figure II.1. : Diffusion d'eau à l'intérieur des pores.....	23
Figure II.2. : Colonne d'adsorption.....	23
Figure II.3. : Evolution de la zone de transfert de masse ai cours de temps.....	24
Figure II.4. : Procédé de déshydratation de GPL.....	25
Figure II.5. : Différent type de tamis moléculaire.....	28
Figure II.6. : Structure des tamis moléculaire 3A et 4A.....	29

Liste des tableaux

Tableau I.1. : Caractéristique physico-chimique du butane et du propane.....	6
Tableau I.2. : Mode de fonctionnement du cycle de régénération.....	12
Tableau II.1. : Fiche technique du tamis moléculaire.....	30
Tableau II.2. : Les propriétés du tamis moléculaire.....	31
Tableau III.1. : Quantité des compositions de la charge GPL.....	34
Tableau III.2. : Poids de pourcentage de la charge GPL.....	37
Tableau III.3. : Résultats des paramètres de dimensionnement pour une teneur en eau de 100 ppm.....	40
Tableau III.4. : La composition du gaz de régénération.....	41
Tableau III.5. : Données utilisées pour le calcul du temps de réchauffage du tamis.....	45
Tableau III.6. : Données de calcul de l'économiseur.....	46
Tableau III.7. : Récapitulation des résultats.....	49
Tableau III.8. : Résultats de calcul de référence pour une teneur en eau de 100 ppm.....	56
Tableau III.9. : La comparaison entre les valeurs calculées.....	57
Tableau III.10. : Résultats des calculs pour la première solution.....	58
Tableau III.11. : Résultats de calcul pour la deuxième solution.....	59
Tableau III.12. : Comparaison entre solution 1 et solution 2.....	60

Résume :

La présence d'eau dans le gaz naturel représente un véritable défi lors des opérations de traitement et de transport, car elle peut provoquer différents problèmes techniques et opérationnels. Afin d'éviter ces contraintes, plusieurs procédés de déshydratation sont utilisés dans l'industrie gazière.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'optimisation de la section de déshydratation du GPL au niveau du complexe GP2/Z. L'étude porte principalement sur l'utilisation des tamis moléculaires par adsorption, en tenant compte de la variation de la teneur en eau et de la qualité de la charge du GPL. L'objectif est d'améliorer les performances du système de déshydratation, d'assurer une meilleure exploitation des tamis moléculaires et de prolonger leur durée de vie.

Mots-clés : gaz naturel, GPL, déshydratation, tamis moléculaire, adsorption.

Summary :

The presence of water in natural gas can create several operational and transportation problems, which makes dehydration an essential step in gas processing. Different dehydration methods are therefore applied to protect equipment and improve process efficiency.

This study focuses on optimizing the LPG dehydration section at the GP2/Z complex using molecular sieve adsorption technology. The work examines the effect of water content variation and LPG feed quality on the dehydration process. The main objective is to improve the operating performance of molecular sieves, ensure better utilization, and extend their service life.

Keywords: Natural gas, LPG, dehydration, molecular sieve, adsorption.

ملخص :

وجود الماء في الغاز الطبيعي يُعد من أهم المشاكل التي قد تؤثر على عمليات المعالجة والنقل، لأنه يسبب عدة صعوبات تقنية وتشغيلية قد تقلل من كفاءة الإنتاج وتؤثر على سلامة المعدات. لذلك تعتمد الصناعة الغازية على عدة تقنيات خاصة بتجفيف الغاز من أجل الحد من هذه المشاكل وضمان سير العمليات بشكل آمن وفعال.

في هذا العمل تم التركيز على دراسة وتحسين قسم تجفيف غاز البترول المميع (GPL) على مستوى مركب GP2/Z، وذلك باستعمال تقنية الغريبال الجزيئي المعتمدة على ظاهرة الامتزاز. كما تناولت الدراسة تأثير تغير نسبة الماء وجودة شحنة الـ GPL على أداء عملية التجفيف. ويهدف هذا البحث إلى تحسين استغلال الغريبال الجزيئي، رفع كفاءة وحدة التجفيف، والمساهمة في إطالة مدة استعمال هذه المعدات وتحسين مردودها الصناعي.

الكلمات المفتاحية: الغاز الطبيعي، غاز البترول المميع، التجفيف، الغريبال الجزيئي،

INTRODUCTION GENERALE

L'historique de la civilisation est largement marqué par la quête de l'énergie par l'homme, le pétrole et le gaz constituant aujourd'hui des ressources stratégiques majeures. L'augmentation significative de coût de l'énergie a contraint les industries et commercial se concentrer sur l'efficacité énergétique, faisant de la maîtrise de la consommation d'énergie une priorité aussi cruciale que la sécurité ou le contrôle qualité.

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL), un mélange d'hydrocarbures léger principalement propane et butane, joue un rôle essentiel dans de nombreux secteurs de l'économie mondiale. Issu du raffinage du pétrole et du traitement du gaz naturel, le GPL est largement utilisé à des fins domestiques, industrielles et commerciales.

Dans ce contexte, l'optimisation des processus de traitement du gaz naturel, notamment l'extraction et le traitement du GPL, est cruciale pour maximiser les revenus et la production. Un aspect important de ce traitement est la déshydratation du gaz. Des projets de mise en situation professionnelles s'inscrivent dans cette optique, visant à optimiser des sections spécifiques où une surconsommation énergétique à été constatée.

Ce projet de mémoire s'inscrit dans une démarche similaire, axée sur l'optimisation du temps d'adsorption du GPL dans un sécheur au sien d'une unité de déshydratation de gaz, comme cela a pu être étudié dans des complexes industriels spécifiques. L'objectif est d'identifier les origines d'éventuels problèmes, d'analyser les causes et de proposer des solutions pour maximiser l'efficacité énergétique et la performance opérationnelle de l'équipement, sans perturber le fonctionnement normal du complexe ni engendrer de coûts supplémentaires.

Notre travail a pour objectif d'identifier les origines de la surconsommation énergétique au niveau de la section de déshydratation.

Dans cette optique, une analyses thermique et massique approfondie est réalisée, reposant sur des calculs rigoureux des flux de chaleur ainsi que des bilans de matière.

Afin d'assurer la fiabilité de la méthodologie adoptée, celle-ci est d'abord appliquée à un sécheur fonctionnant dans ses conditions nominales de conception. Cette étape

essentielle permet de valider les modèles développés à travers une confrontation systématique entre les résultats théorique et les données opérationnelles réelles.

Enfin, la phase finale de cette étude consiste à élaborer un outil de calcul performant, destiné à déterminer les paramètres optimaux de fonctionnement du déshydrateur. Cet outil représente une solution pragmatique visant à améliorer l'efficacité énergétique du procédé, tout en respectant les contraintes industrielles existantes.

CHAPITRE I : Partie théorique

I.1. Introduction

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) désigne un mélange d'hydrocarbures appartenant à la famille des paraffines, principalement constitué de propane (C_3H_8), et de butane (C_4H_{10}) et il y a aussi des traces de pentane et méthane, d'éthane.

Ces composés se trouvent à l'état gazeux dans les conditions normales de température et de pression, le GPL est essentiellement obtenu à partir de deux sources principales : d'une part, lors du processus de distillation du pétrole brut dans les raffineries, et d'autre part, lors des opérations de dégazolinage effectuées sur les champs de production de gaz naturel, permettant de récupérer les hydrocarbures condensables tels que le propane et le butane.

Le GPL est désormais reconnu comme une ressource énergétique précieuse. Il s'impose aujourd'hui comme une alternative intéressante, tant comme carburant que comme source d'énergie pour les usages domestique et industriels, avec bonne performance énergétique et réduction de l'empreinte environnementale.

I.2. Caractéristique physico-chimique du butane et de propane

Les gaz pétrole liquéfié (GPL) possèdent des propriétés physico-chimiques particulières qui conditionnent leurs conditions d'exploitation, de stockage et de transport. A l'état naturel, les GPL sont incolores et inodores, tant en phase liquide qu'en phase gazeuse. Cependant, pour des raisons de sécurité, un agent odorant à base de composés soufrés, comme le di-éthylmercaptan ou le diméthylsulfure, est systématiquement ajouté afin de rendre perceptible toute fuite éventuelle [1].

Sous des conditions normales de température et de pression, ces gaz sont plus lourds que l'air : le butane présente une densité équivalente à une fois et demie celle de l'air. Cette densité diminue progressivement avec l'augmentation de la température ambiante.

Par ailleurs, les GPL sont non corrosifs pour les aciers ainsi que pour la majorité des alliages de cuivre et d'aluminium. Ils sont faiblement toxiques, que ce soit sous forme gazeuse ou liquide, et n'offrent aucune propriété lubrifiante. Ce qui nécessite de prendre certaines précautions lors de la conception et de l'exploitation des installations dédiées à leur utilisation. La tension de vapeur constitue également un paramètre essentiel dans la gestion du GPL : elle est de l'ordre de 8 bars pour le propane et de 2 bars pour le butane à une température de 20°C. A l'état liquide, ces gaz présentent un coefficient de dilatation important, obligeant à ne jamais remplir complètement les réservoirs de stockage afin d'éviter tout risque de surpression.

En ce qui concerne leur caractéristiques thermiques, les GPL se distinguent par des températures d'ébullition basses, situées à -42°C pour le propane et -6°C pour le butane à pression atmosphérique. Leur pouvoir calorifique élevé constitue l'un de leurs atouts majeurs, particulièrement dans le cadre des applications domestiques et industrielles.

Ainsi, le propane possède un pouvoir calorifique de 22 506kcal/kg, contre 29 622 kcal/kg pour le butane.

Enfin, la qualité des GPL commercialisés est rigoureusement contrôlée, notamment en ce qui concerne la teneur en impuretés telles que le soufre, qui doit rester inférieure ou égale à 0.005% en masse, et l'humidité, dont la présence excessive pourrait provoquer la corrosion des conduites et l'obstruction des équipements [2], le tableau I.1 regroupe les caractéristiques physico-chimique du butane et du propane.

I.2.1. Définition

I.2.1.1. Butane (commercial)

Mélange d'hydrocarbures composé principalement de butane et de butènes et contenant moins de 19 pour 100 en volume de propane et de propène.

I.2.1.2. Propane (commercial)

Mélange d'hydrocarbure composé dans la proportion de 90 pour 100 environ de propane, propène et pour le surplus d'éthane, d'éthylène, de butane et de butène

Le tableau suivant résume quelques propriétés physique et chimique des deux produits de GPL.

Tableau I.1.: Caractéristique physico-chimique du butane et du propane.

Propriétés	Propane	n-butane
Poids moléculaire (g/mol)	44.096	58.123
Point de fusion (°C)	-187.7	-138
Chaleur latente de fusion (kJ/kg)	94.98	80.165
Masse volumique de la phase liquide à 1.013 bars au point d'ébullition (kg/m ³)	582	601.4
Point d'ébullition (1.013 bar) °C	-42.1	-0.5
Chaleur lente de vaporisation (1.013 bar au point d'ébullition) kJ/kg	425.31	385.6
Pression de vapeur à 21°C (bar)	8.7	1.2
Température critique (°C)	96.6	152
Pression critique (bar)	42.5	37.96
Masse volumique de gaz à 1.013 bar au point d'ébullition (kg/m ³)	2.423	2.7
Facteur de compressibilité (z) à 1.013 bar et 15°C	1.0193	0.9625
Chaleur spécifique à pression constant (Cp) à 1 bar et 25°C (kJ/mole °K)	0.075	0.096
Chaleur spécifique à volume constant (Cv) à 1 bar et 25°C (kJ/mole °K)	0.066	0.088
Température d'auto-inflammation (°C)	470	365

I.3. Utilisations des gaz de pétrole liquéfié (GPL)

Les GPL sont utilisés dans plusieurs domaines grâce à leurs caractéristiques énergétiques et environnementales avantageuses. Leurs principales applications se répartissent comme suit :

I.3.1. Carburant automobile

Utilisés comme alternative aux carburants traditionnels, les GPL permettent de réduire les émissions polluantes et d'améliorer la qualité de l'air.

I.3.2. Climatisation

Par vaporisation, le GPL absorbe la chaleur de l'environnement et produit du froid.

I.3.3. Source de chauffage

Le GPL utilisé pour le chauffage domestique et industriel grâce à des équipements spécialement conçus pour ce combustible.

I.3.4. Pétrochimie

Les GPL constituent une matière première essentielle dans plusieurs procédés industriels :

- ❖ Production d'oléfines via les vapocraqueurs.
- ❖ Fabrication de butadiène et de propylène pour les caoutchoucs synthétiques.
- ❖ Production de MTBE, utilisé comme additif pour augmenter l'indice d'octane des essences.
- ❖ Synthèse de produits chimiques tels que l'acétaldéhyde, le formaldéhyde, l'acide acétique et l'acétone.

I.4. Les risques associés aux gaz de pétrole liquéfié (GPL)

Les principaux risques liés à l'utilisation et au stockage des GPL sont les suivants :

I.4.1. Stockage sous pression

Les GPL sont généralement stockés à l'état liquide sous pression. En cas de fuite, L'évaporation rapide du liquide génère un volume important de gaz inflammable.

I.4.2. Inflammabilité élevée

La limite inférieure d'inflammabilité du GPL est d'environ 2% de son volume dans l'air.

I.4.3. Risque de brûlures thermique

Lors de l'évaporation du liquide, le refroidissement brutal de l'environnement peut provoquer des brûlures sévères par contact avec le produit ou ses vapeurs.

I.4.4. Mesures de protection

Il est indispensable de porter des équipements de protection individuelle (EPI) adaptés lors des manipulations :

- ❖ Gants isolants.
- ❖ Lunettes de sécurité.
- ❖ Vêtements de protection adaptés aux risques cryogénique et aux projections de gaz.

I.5. La consommation nationale en GPL

Le niveau de la demande nationale de GPL est de l'ordre de 1.4 millions de t/an (sources NAFTAL Année 2007) dont 90% de butane, 5% de propane et 5% de GPL carburant (Figure I.1).

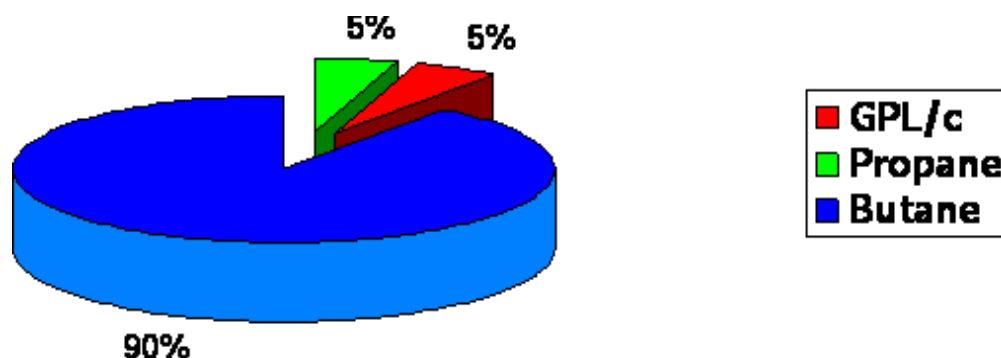


Figure I.1. Répartition de la consommation nationale du GPL en Algérie.

I.6 Présentation du complexe GP2/Z

I.6.1. Introduction

Le sud algérien possède des richesses naturelles et des 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 importantes pour installer ces grands complexes de traitement comme complexe GP2/Z.

Le complexe GP2/Z relève de la sontrach, société nationale chargée du transport, de raffinage et de la commercialisation des hydrocarbures, laquelle a été créée le 31 décembre 1963. Son organisation est basée sur les activités d'approvisionnement énergétique nationales, du développement et de l'exploitation des gisements d'hydrocarbures.

Le complexe GP2/Z situé au nord-ouest du pays à 42km d'Oran dans la commune de Bethioua. L'usine est conçue pour séparer le GPL en propane et butane commercial.

I.6.2. Historique de complexe GP2/Z

Le complexe GP2/Z a presque 30 ans d'existence. Le projet de construction a été lancé en 1970 par la compagnie anglaise CJB.

Les dates importantes à retenir sont :

- **1973** : Mise en service du complexe destiné à traiter une charge de 4 millions de tonnes d'un mélange de condensat
- **1984** : Arrêt du complexe suite à la mise en service des unités de stabilisation du condensat au niveau des champs de HASSI R'MEL et de HASSI MESSOUD.
- **1990** : Redémarrage du complexe après la reconversion de son procédé de rebouillage pour le traitement d'une capacité de 0.6 million de tonne par an.
- **1996** : Extension du complexe pour traiter une capacité de 1.2 million de tonnes de GPL par an.

De plus, des travaux de modification ont été réalisés tels que :

- ❖ La reconversion des deux (02) colonnes de séparation de condensat GPL en colonnes de dépropanisation.
 - ❖ La mise en place des rebouilleurs au niveau des colonnes reconverties et adaptation de leurs boucles de régulation.
 - ❖ La rénovation des aéroréfrigérant et des compresseurs du système biol off.
 - ❖ La construction d'une nouvelle salle de contrôle et remplacement des instruments de contrôle pneumatique par le système DCS.
 - ❖ La rénovation des turbines à gaz, des bras de chargement, des compresseurs d'air, des postes électriques HT et MT.
 - ❖ L'implantation d'une nouvelle unité de déshydratation de la charge.
- **1999** : Extension de la capacité de traitement du complexe pour traiter 1,8 million de tonne par an. Lors de cette extension, plusieurs travaux de modification ont été réalisés comme :
 - ❖ Le remplacement des plateaux des colonnes de séparation de GPL par des plateaux dont le rendement est supérieur.
 - ❖ L'installation de nouveaux ballons séparateurs et des échangeurs de chaleur de grande capacité au niveau de la zone de réfrigération.
 - ❖ Le remplacement des pompes de circulation du fluide caloporteur et des pompes de charge de GPL par des pompes de plus grande capacité.
 - **2000** : Projet d'extension : la capacité de production devait être portée à 2,5 millions de tonnes. L'étendue du projet d'extension devait se limiter aux réalisations suivantes :
 - ❖ Une unité supplémentaire de séparation de GPL de 160T/h.
 - ❖ L'installation d'une nouvelle unité de réfrigération.
 - ❖ L'augmentation de la capacité du stockage des produits réfrigérés.
 - ❖ L'extension du réseau électrique basse tension.
 - ❖ L'installation d'un nouveau four de gasoil.
 - ❖ Une nouvelle unité de déshydratation.

Suite à un incident survenu au niveau du mot-compresseur en date du 24/07/2003, il a été décidé IHI/ITOCHU pour la sécurisation et la fiabilisation du complexe [4].

Ce prestataire a procédé aux modifications suivantes :

Au niveau de la section de stockage de la charge GPL :

- Montage d'une nouvelle sphère de stockage tampon 420/6105G.
- Installation de nouvelles vannes XV au niveau des déshydratations de la charge GPL pour la séquence de réfrigération.

Au niveau de la section séparation :

- Installation de nouvelles vannes de refoulement des motopompes GPL.
- Calorifugeage de la partie supérieure des deux splitter A et B.
- Délocalisation de trois motopompes de la charge GPL.
- Mise en place de deux nouveaux filtres en aval de l'intérieur vers l'extérieur des trains de séparation.

Au niveau de la section de réfrigération :

- Installation de vannes de niveau LV pour réguler le niveau de propane réfrigérant des trois stades BP, MP, HP.

Au niveau du système de chauffage d'huile TORADA TC :

- Montage de la motopompe 425/6215E d'huile chaude pour alimenter le circuit du fluide caloporteur.
- Montage d'un nouveau four 401/6201D pour huile TORADA TC

I.3. Description du procédé :

Le procédé comprend cinq sections :

- Une section de stockage tampon de la charge.
- Une section de déshydratation.
- Une section de réfrigération.
- Une section de stockage des produits finis [4].

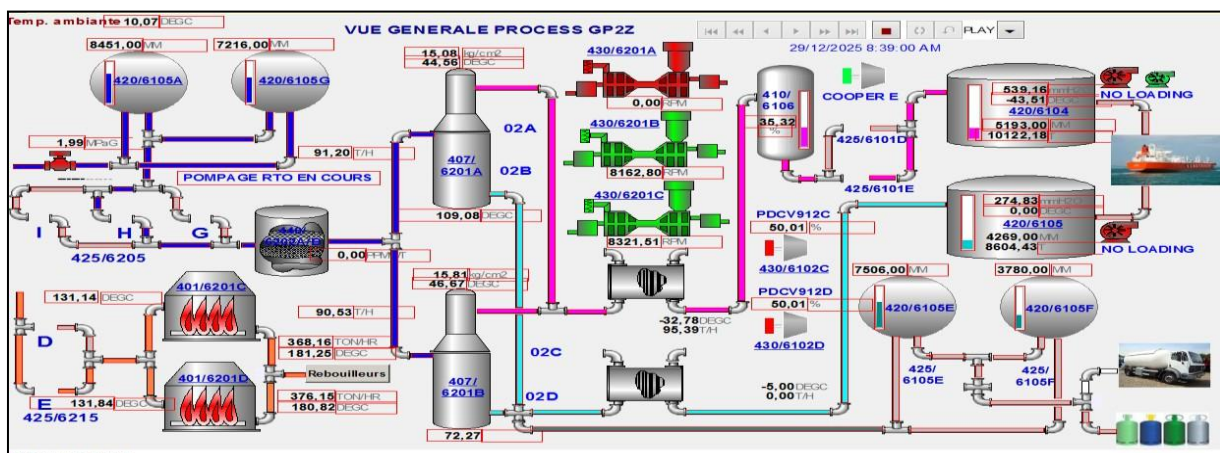


Figure I.2. Schéma de principe du procédé du GP2/Z.

I.6.3.1. Section de réception et stockage de la charge GPL :

La charge GPL est composée en grande partie de propane, de butane et d'un faible taux de méthane, éthane et pentane.

I.6.3.1.1. Section de réception de la charge GPL :

La charge d'alimentation de GPL est envoyée à partir du terminal RTO jusqu'à la limite du batterie du complexe GP2Z à une pression de 20 bar et à la température ambiante, Elle passe par l'un des deux filtres (440/6502 A.B), un en service et l'autre en stand-by, afin d'éliminer les impuretés solides telle que le sables, la poussière et la matière étrangère. Les filtres sont contrôlés par la différence de pression de l'entrée et celle de la sortie (PDI 6501A/B), l'augmentation de ce paramètre jusqu'à l'alarme indique la saturation du filtre qui oblige en revanche son arrêt pour le nettoyage après la permutation vers le deuxième. La charge GPL sortant du filtre en service passe à travers un dégazeur de charge (410/6502) pour enlever les gaz non condensables tel que « C1, C2 ». La pression de la charge GPL est réduite à la pression de service des sphères de stockage par la vanne de détente (FC/6501).

I.6.3.1.2. Section de stockage de la charge :

Cette section a pour fonction de stocker la charge GPL dans sphères (420/6105 A.G), la capacité de chaque sphère est de 1220 m3. Le GPL est stocké à une température ambiante et une pression de 9bar qui est contrôlée par Le PIC 6101 qui permet l'injection du gaz naturel dans les sphères pour la pressurisation et qui décharge les vapeurs vers le système de torchage.

La charge GPL est envoyée à la section déshydratation par les pompes de charge (425/6205 H.I.G).

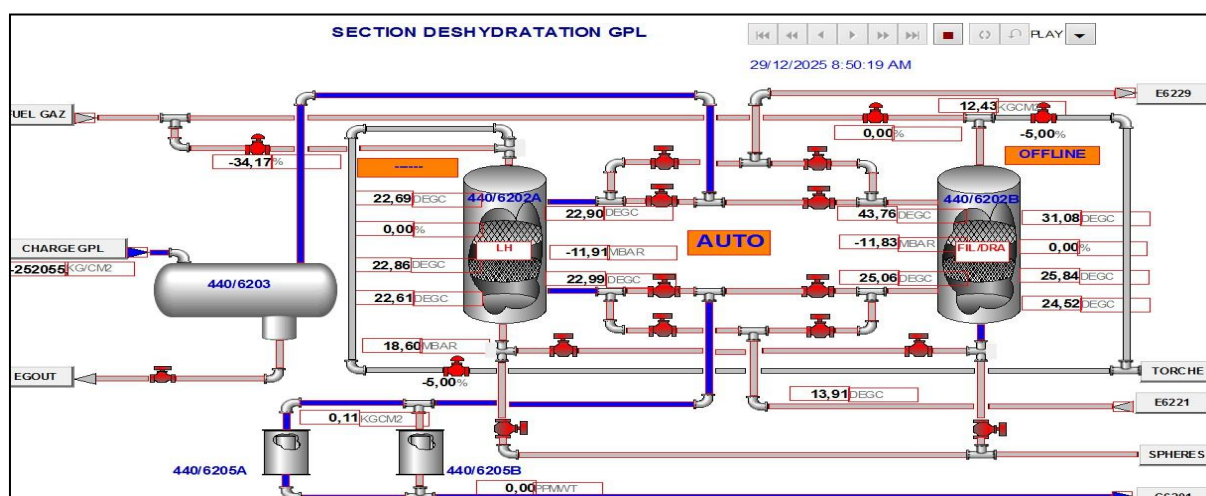


Figure I.3 : Section de la charge GPL.

I.6.3.2. Section de déshydratation :

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

- Un coalesceur d'alimentation.
- Deux sécheurs (adsorbeurs) A/B.
- Deux filtres de GPL A/B.
- Un préchauffeur des gaz de régénération.
- Un aérocondenseur des gaz de régénération.
- Un séparateur des gaz de régénération.

Le GPL, aspiré par les pompes, est acheminé sous contrôle de débit vers le coalesceur, où la majeure partie de l'eau libre est séparée de la charge par coalescence des fines gouttelettes d'eau en suspension à travers les éléments filtrants, puis par décantation gravitaire. L'eau ainsi séparée est recueillie dans le ballon de décantation situé à la base du coalesceur, puis évacuée vers l'atmosphère sous contrôle de niveau à travers le ballon de purge, qui permet également l'évent du gaz entraîné.

Les adsorbeurs sont constitués d'un lit de tamis moléculaire destiné au séchage du GPL en provenance du coalesceur. Le principe de la déshydratation repose sur l'adsorption sélective des molécules d'eau, tandis que les molécules de GPL, de taille plus importante et non polaires, traversent librement le lit adsorbant. Les molécules d'eau, étant polaire, sont fortement attirées par le tamis moléculaire. L'eau adsorbée est ensuite éliminée par apport de chaleur lors du cycle de régénération (voir tableau I.1) [5].

Tableau I.2. : Mode de fonctionnement du cycle de régénération.

Séquence	Temps	Vannes ouvertes
1. Drainage du GPL	02 heures	Pour le drainage Injection fuel gaz
2. Chauffage	8.5 heures	Entrée fuel gaz chaud Sortie fuel gaz chaud
3. Refroidissement	5.5 heures	Entrée fuel gaz froid Sortie fuel gaz froid
4. Remplissage	02 heures	Sortie fuel gaz vers torche
5. Stand-By	06 heures	Aucune
Total	24 heures	

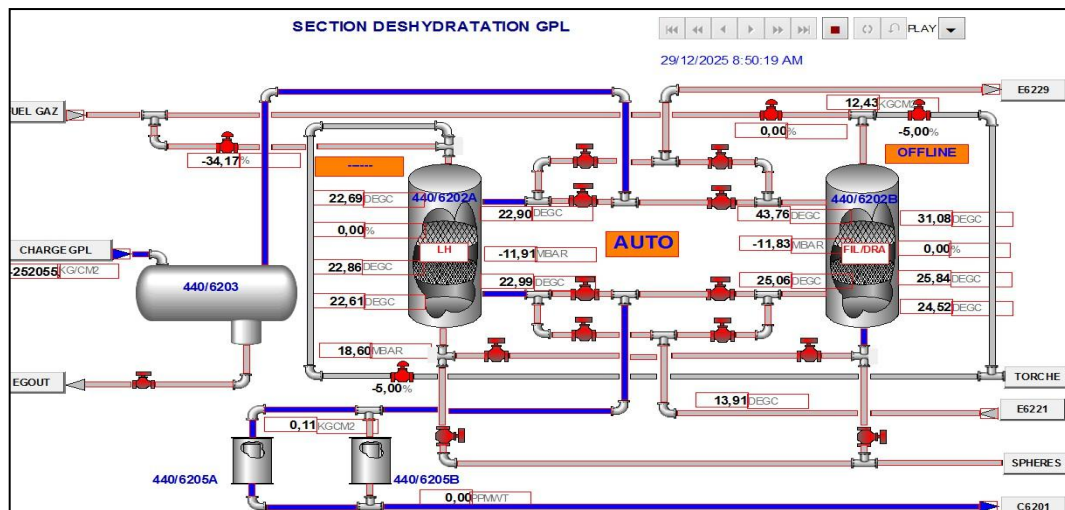


Figure I.4 : Section de la déshydratation [5].

I.6.3.3. Section de séparation :

L'unité de séparation a été conçue pour séparer le mélange de la charge GPL en propane commercial comme produit de tête en butane commercial comme produit de fond et ca au niveau de deux colonnes « 02Splitters » 407/6201/A&B constituée de 46 plateaux. Chaque colonne comprend les équipements suivants :

- Un préchauffeur de la charge GPL 405/6201 A&B.
- Une batterie d'aérocondenseurs 402/6202/A et 405/6204 A&B.
- Un ballon de reflux 410/6201 A&B.
- Deux pompes de reflux 425/6202 A&B.
- Un rebouilleur 405/6224 A&B.

Avant d'arriver à la colonne, la charge GPL se trouve à une pression de 19.8 bars, elle passe par le préchauffeur 405/6201 A&B où elle est préchauffée par le butane venant de fond de colonne (rebouilleur). Le courant de GPL venant du préchauffeur 405/6201 A&B entre au niveau du plateau n°24 de la colonne. Les hydrocarbures légers se séparent du courant d'alimentation et s'élèvent vers le sommet de la colonne à contre-courant d'un reflux continu de propane. Le propane commercial extrait comme produit de tête de distillation est condensé en totalité au niveau des aérocondenseurs 405/6202 A&B et 405/6204 A&. Le propane provenant au ballon de reflux 410/6201 A&B est aspiré par l'une des pompes de reflux 425/6202 A&B. Une partie est réintroduite en tête de colonne comme reflux, L'autre partie du propane s'écoule vers la réfrigération via le LC 6226/LC6227 qui permet de maintenir un niveau liquide dans le ballon de reflux.

Le liquide du fond de colonne (butane) pénètre dans le rebouilleur 405/6224 A&B où il se vaporise partiellement. La partie vaporisée retourne vers la colonne en dessous du 46^{ème} plateau (le dernier) comme reflux vapeur alors que l'autre partie du butane s'écoule vers la réfrigération via le LC 6201/LC6202 qui permet de maintenir un niveau liquide dans le rebouilleur. C'est ce butane produit en fond de colonne qui permet de préchauffer le GPL en circulant en coté calandre dans le préchauffeur 405/6201 A&B. La chaleur nécessaire au rebouillage est fournie par la TORADA TC venant des fours. La température du plateau sensible (plateau n°38 du fond de colonne) TC 6210 contrôle le débit de rebouillage en agissant directement sur la vanne de débit de TORADA TC la FC 6219/FC6220[6].

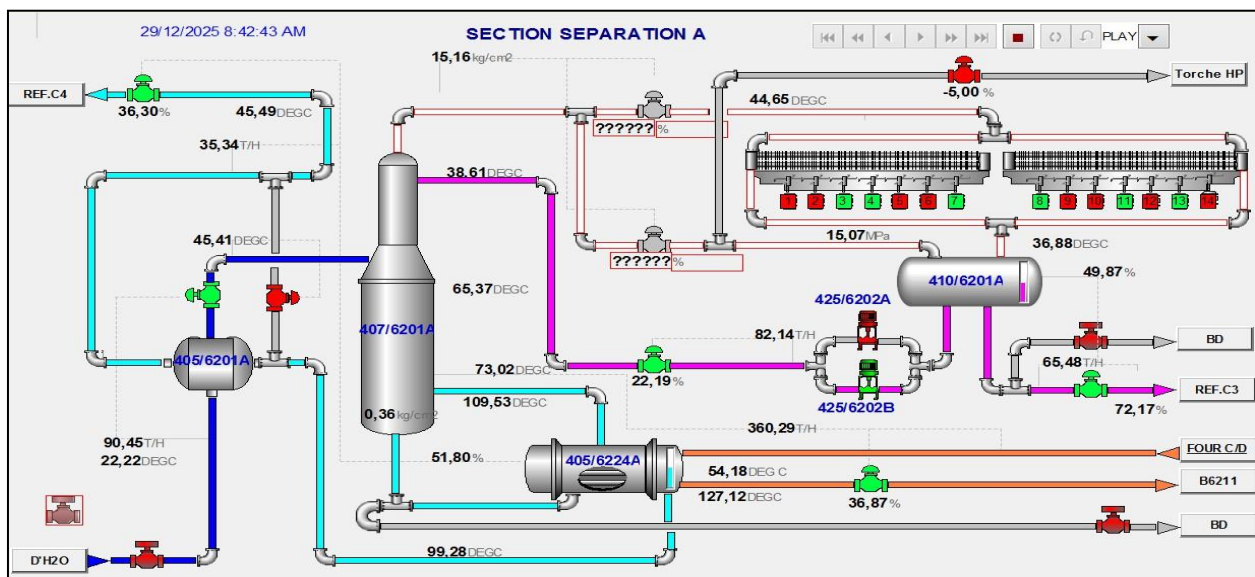


Figure I.5 : section de séparation.

I.6.3.4. Section réfrigération :

I.6.3.4.1. Réfrigération des produits :

La section de réfrigération a pour fonction d'abaisser la température des produits propane et butanes commerciaux jusqu'à leurs températures de stockage respectives, soit -42°C pour le propane et -12°C pour le butane à pression atmosphérique. Le système de réfrigération est de type cascade et utilise du propane pur comme fluide frigorigène. Le refroidissement s'effectue au moyen d'une boucle fermée comportant trois niveaux de température, à savoir 11,8°C, -15°C et -36°C, correspondant respectivement aux niveaux de pression haut (5 bar), moyenne (1,5 bar) et basse (0,5 bar).

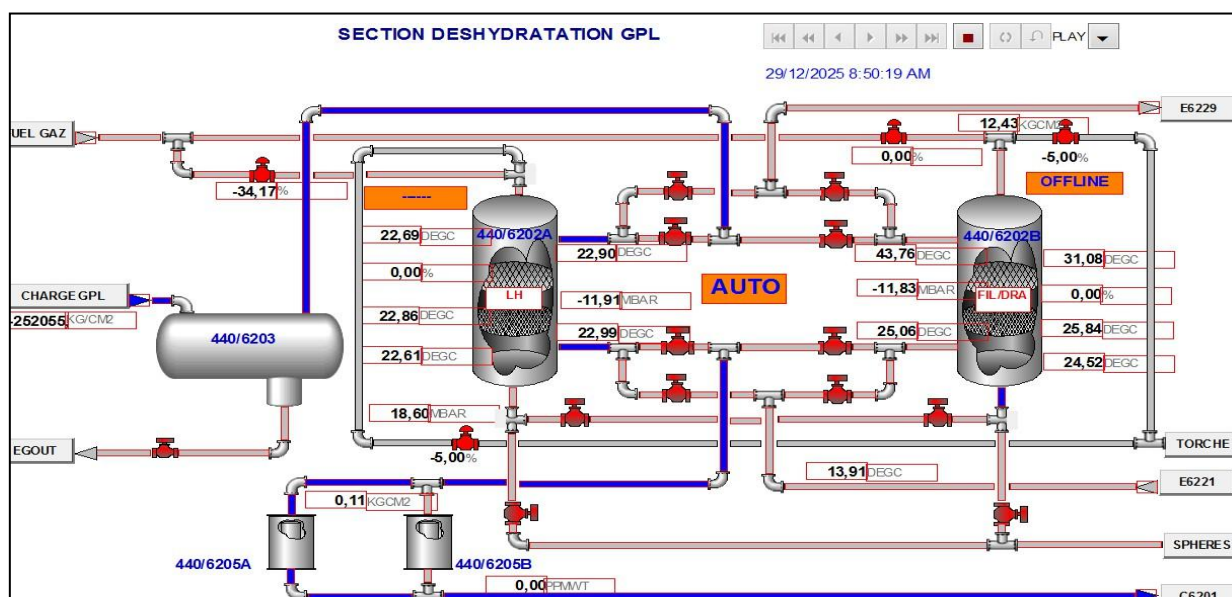


Figure I.6: section de la réfrigération.

I.6.3.4.2. Circuit propane commercial :

Le propane commercial provenant des deux ballons de reflux, A pour le train A et B pour le train B, est acheminé sous contrôle de niveau vers l'aéroréfrigérant, puis dirigé vers le réfrigérant (Schiller) de l'étage haute pression (HP), où il entre à température de 40°C et en ressort à 18°C. A la sortie de Schiller, le produit traverse une déshydratation de garde, destinée au séchage du propane commercial.

La teneur en eau du produit doit être inférieure à 1 ppm à la sortie de cette déshydratation, afin d'éviter toute formation d'hydrates susceptible de provoquer des bouchages. Le propane est ensuite refroidi dans l'étage moyen pression (MP) à travers un deuxième Schiller, à la sortie duquel sa température atteint -16,26°C. Il passe ensuite par l'étage basse pression (PB) de réfrigération via un troisième Schiller, où sa température est abaissée à -34,7°C.

Le produit réfrigéré est alors dirigé vers le ballon flash (ballon de détente) où il est détendu à 0,4 bar afin d'atteindre la température de -42°C, correspondant à la température de stockage du produit fini dans le bac de propane réfrigéré. Enfin, le produit est expédié vers le bac de stockage à l'aide d'une pompe.

I.6.3.4.3. Circuit du butane commercial :

Le butane commercial produit au fond des deux colonnes de dépropanisation est acheminé sous contrôle de niveau vers l'aéroréfrigérant. Il entre ensuite au niveau de l'étage HP du Schiller à une température de 40°C et sort à une température de 14,6°C.

Le produit admis ensuite à l'étage BP au niveau du Schiller d' où il sort à une température de -11°C puis il est acheminé vers le bac de stockage de butane où une température de -15°C .

Le butane ambiante, quant à lui, est obtenu en envoyant une partie du produit sortant de maintenues à pression de 8 bar au moyen de la vanne de pression qui fait partie du circuit fuel gaz. Le butane commercial à la sortie de l'aéroréfrigérant se dirigera vers les sphères de butane ambiant ce qui permet le remplissage de ces dernières.

I.6.3.4.4. Boucle de réfrigération au propane :

Le propane pur est stocké dans le ballon de propane réfrigérant à une pression d'environ 16bar et à une température avoisinant 40°C . Ce ballon est équipé de deux soupapes de sécurité tarée à une pression 18,2bar. Il alimente, sous contrôle de niveau, les deux Schiller haute pression du côté calandre.

Le fluide réfrigérant est ensuite détendu à travers la contrôle de niveau (1) pour l'alimentation du côté calandre du Schiller(A), et à travers la vanne (2) pour l'alimentation du côté calandre du Schiller(B). La détente s'effectue en aval de ces deux vannes, de sorte que le propane pur pénètre dans les deux Schiller à une pression de 6bar et à une température de $11,8^{\circ}\text{C}$. Le même principe de contrôle de niveau est appliqué pour les étages de moyenne et de basse pression.

Le Schiller (A) alimente le Schiller du deuxième étage de refroidissement du propane commercial, tandis que le Schiller (B) alimente le Schiller du deuxième et dernier étage de refroidissement du butane commercial. Après une nouvelle détente, le propane pur pénètre respectivement dans les Schiller (A) et (B) à une pression de 1,8bar et à une température de $-16,9^{\circ}\text{C}$. Chaque Schiller est muni de soupapes de sécurité.

Au niveau du troisième étage de réfrigération (basse pression), seul le propane commercial est refroidi, le butane ayant déjà achevé son cycle de réfrigération. A chaque étage, les vapeurs issues des Schiller sont récupérées par un turbocompresseur via des ballons séparateurs assurant l'élimination des gouttelettes de liquide entraînées avec les vapeurs de propane. Ces vapeurs sont ensuite comprimées dans un compresseur centrifuge multi-étage, entraîné par une turbine à gaz, puis refoulées vers les aérocondenseurs A/B où elles sont condensées avant d'être renvoyées vers le ballon pour un nouveau cycle[4].

I.6.3.5. Section de stockage :

Cette section est dédiée au stockage du propane et du butane commercial réfrigérés. Elle comprend deux bacs de stockage d'une capacité unitaire de $70\,000\text{ m}^3$: un bac de propane (420/6204) et un bac de butane (420/6205). Elle comprend également deux sphères (F/E), chacune d'une capacité de 1115 m^3 , destinées au stockage butane à température ambiante.

Le propane commercial arrive depuis le ballon 410/6102 de la boucle BOG. Le bac de propane est équipé d deux lignes : l'une pour l'azote utilisée pour l'inertage lors des opérations de maintenance, et l'autre pour le fuel gaz servant à purger, l'azote après utilisation et à maintenir une pression positive dans le bac. Quatre pompes immergées (425/6104H-I-J-G) assurant l'expédition du propane vers les quais de chargement. La pompe 425/6104D est spécialement dédiée au refroidissement de la ligne d'expédition du propane commercial, permettant d'abaisser sa température de -40°C et -47°C.

Le bac de stockage du butane présente une configuration identique à celui du propane, avec le même nombre de pompes immergées (425/6101 A-B-C-F). Toute fois, sa température de stockage est plus élevée, comprise entre -10°C et -15°C. Le butane ambiant de composition identique à celle du butane commercial, est stocké dans les sphères 420/6501 E-F, d'une capacité de 1115 m³ chacune. Il est soutiré depuis l'aérocondenseur 405/6214 et stocké à température ambiante sous une pression comprise entre 7 et 8,5bar.

Deux systèmes indépendants de récupération des gaz d'évaporation (BOG- Boil Off Gas) Sont prévus pour les bacs de stockage du propane et du butane. Les vapeurs issues du bac de stockage du propane 420/6104, ainsi que le gaz provenant du ballon de détente du propane produit, sont comprimées à 0.7MP à au niveau des compresseurs centrifuges (430/6101 E-D), puis partiellement liquéfiées dans le Schiller 405/6107.

Le propane liquide obtenu est dirigé vers le séparateur 410/6105. Une partie retourne au bac de propane pour le contrôle du niveau, tandis que l'autre partie est envoyée vers le préchauffeur de charge du dé-éthaniseur dans la section de dééthanisation. La phase vapeur est récupérée comme gaz de dégagement. Le propane liquéfié, contenant encore du C1et C2, est pompé et envoyé vers la section de dééthanisation afin d'éliminer ces composants sous forme de fuel gaz et de récupérer un propane conforme aux spécifications. Le propane liquide est ensuite acheminé, à l'aide des pompes immergées vers les bras de chargement pour l'expédition.

De manière similaire, les vapeurs de C4 issues du bac de stockage 420/6105 sont comprimées par les compresseurs BOG (YORK) 430/6101 A-B, puis totalement condensées dans le condenseur 405/6103. Le butane liquide ainsi obtenu est séparé dans le séparateur 410/6108, avant d'être renvoyé sous contrôle de niveau vers le bac de stockage du butane (420/6105).

1-Bac de propane :

Ce réservoir assure le stockage du propane à la pression atmosphérique et à une température de -45°C. Le bac est muni de trois soupapes de sécurité tarées à différents paliers de pression respectivement à 1010, 1030et 1060 mm H₂O.

2-Bac de butane :

Ce réservoir est destiné au stockage du butane à la pression atmosphérique et à une température de -15°C . Il est équipé de trois soupapes de sécurité réglées à différents seuils de pression, respectivement à 1010, 1030 et 1060 mm H₂O [6].

CHAPITRE II : Procédé de déshydratation du GPL

II.1. Introduction :

La présence d'eau entraîne différents problèmes pour l'exploitation de la séparation du GPL, suivant les conditions de température et de pression qui règnent aux niveaux des équipements ; la vapeur d'eau peut se condenser et provoquer la formation des hydrates, se solidifier ou favoriser la corrosion si le gaz contient du CO₂ par combinaison avec l'eau forme un acide carbonique H₂CO₃.

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

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

A tout instant, une colonne est en ligne pour l'adsorption et la deuxième est en régénération. La durée d'adsorption est de 48 heures, mais elle était modifiée suivant les caractéristiques du GPL à l'entrée, elle est de l'ordre de 36 heures, à l'échéance de ce temps, la colonne en réserve est mise en service, et l'autre colonne passe en régénération.

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

La déshydratation du GPL :

- Risque de corrosion des pipes.
- Risque de formation des hydrates.
- Risque de solidification dans les procédés cryogéniques.

II.2. Définition de l'adsorption :

L'adsorption est le processus au cours duquel des molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé un adsorbat, viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant. Par la surface du solide, on sous-entend les surfaces externes et internes engendrées par le réseau de pores et cavités à l'intérieur de l'adsorbant.

II.3. Procédé de séchage :

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

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

II.3.1. Séchage par absorption :

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

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

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

- Ethylène glycol
- Di-éthylène glycol
- Tri-éthylène glycol
- Tetra-éthylène glycol

II.3.2. Déshydratation par adsorption :

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

Si l'on considère maintenant une molécule d'un fluide et un ensemble de molécules ou atomes à la surface d'un solide, la résultante des interactions conduit à la fixation de la molécule du fluide à la surface du solide. Ce phénomène est l'adsorption. On distingue deux types de phénomène, selon la nature de la fixation. Si l'adsorption conduit à la création d'une véritable liaison chimique entre le fluide et le solide, on parlera de chimisorption. Si la fixation est purement la résultante de forces d'interaction physiques, on emploiera le terme de physisorption, les énergies mises en jeu lors de cette dernière étant généralement beaucoup plus faibles que la chimisorption et plus facilement réversibles[7].

II.3.2.1. Déshydratation par adsorption dans un liquide :

Les solvants doivent répondre à certains critères :

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

II.3.2.2. Adsorption sur un agent desséchant solide :

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

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

La vitesse avec laquelle on s'approche de l'état d'équilibre relevé de l'étude de la cinétique de l'adsorption. Celle-ci dépend de la vitesse avec laquelle les constituants du mélange à séparer diffusent dans l'adsorbant et dans le fluide et des conditions hydrodynamique dans lesquelles s'effectue le contact. Elle aboutit à la détermination de l'efficacité d'un appareillage.

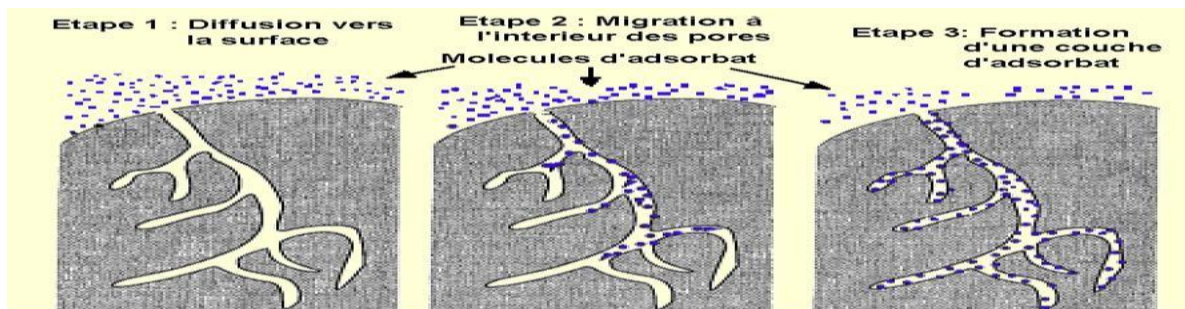
II.3.3. Différents types d'adsorbants utilisés pour la déshydratation

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

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

Figure II.1. Diffusion d'eau à l'intérieur des pores.

II.4. Description du phénomène d'adsorption :



II.4.1. Colonne d'adsorption :

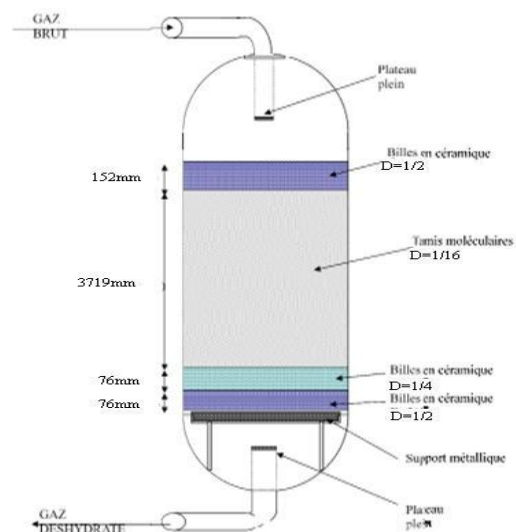


Figure II.2. Colonne d'adsorption.

II.4.2. Concept de zone de transfert de masse :

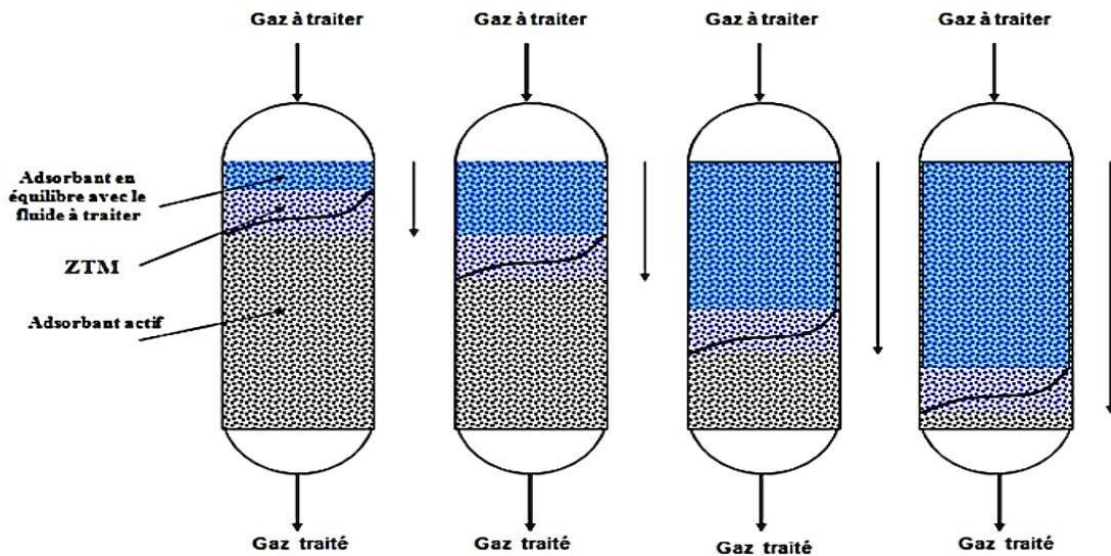


Figure II.3. Evolution de la zone de transfert de masse au cours de temps.

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

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

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

La température et la pression, la vitesse du gaz, le types d'adsorbant, et sa la granulométrie[8].

II.5. Régénération

Pour la description des cycles de régénération, on suppose que l'absorbeur a atteint les 24

Heures d'absorption (durée d'adsorption du tamis moléculaire), en vue du cycle de régénération et qui se compose des étapes suivantes :

- Drainage : 02 heures.
- Chauffage : 8.5 heures.
- Refroidissement : 5.5 heures.
- Remplissage : 02 heures.
- Stand-by : 06 heures.

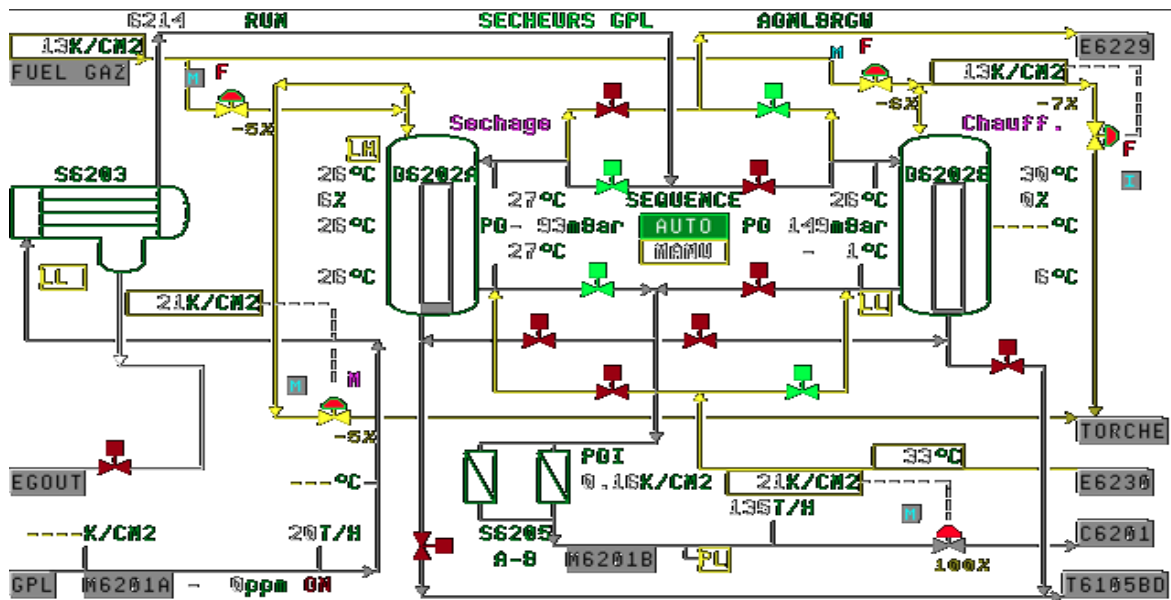


Figure II.4. Procédé de déshydratation de GPL.

II.5.1. Drainage :

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

II.5.2. Chauffage :

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

du tamis moléculaire sera effectué du bas vers le haut (sens inverse de fonctionnement normal de l'opération d'adsorption).

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

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

II.5.3. Refroidissement :

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

II.5.4. Remplissage :

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

II.5.5. Etape d'attente (Stand-Bay) :

Après l'achèvement de l'étape de remplissage, le lit de tamis moléculaire se met en attente (Stand-Bay) pendant approximativement 18 heures avant de commencer le prochain cycle d'adsorption[9].

II.6. Effet des variables de procédé :

II.6.1.Température :

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

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

II.6.2. Pression :

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

II.6.3. Teneur humidité de la charge :

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

II.6.4. Direction de l'écoulement :

La direction de l'écoulement de la charge pendant le cycle de séchage est habituellement d'endommagement du matériau par une fluidisation.

En générale, la direction de l'écoulement du gaz de chauffage est à contre-courant de la direction du courant d'adsorption. Ceci permet une meilleure réactivation du lit desséchant[10].

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

II.6.5. Type et dimension du tamis :

Le tamis moléculaire utilisé pour la déshydratation du GPL est type 4°A. Le dessiacnat adsorbe les molécules ayant un diamètre effectif inférieur à 4°A y compris H_2S , CO_2 , l'éthane et les hydrocarbures les plus légères, en excluant toutes les molécules ayant un diamètre effectif supérieur à 4°A.

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

II.7. Les tamis moléculaires :

Les tamis moléculaires sont différents des agents adsorbants traditionnels principalement par leur aptitude à adsorber des petites molécules tout en excluant de grandes molécules, si bien que des séparations peuvent être effectuées basées sur les différences de tailles des molécules.

Les tamis moléculaires sont des aluminosilicates de métaux hydratés cristallins offrant un certain nombre de propriétés inhabituelles [11].

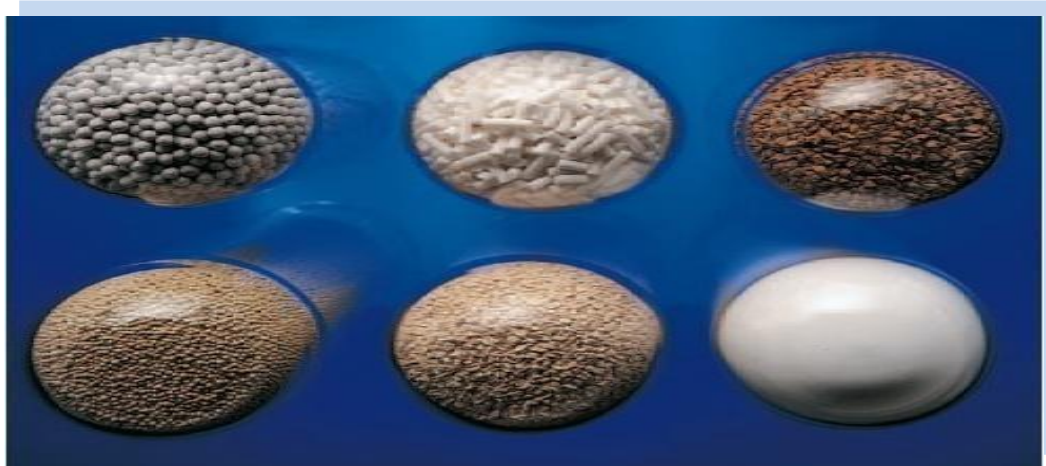


Figure II.5. Différent type de tamis moléculaires.

II.7.1. Tamis moléculaire sous ses différentes formes :

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

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

Les tamis de **structure A**, selon la nature du cation de compensation, la taille des cavités d'accès peut être de l'ordre de 3°A (tamis 3A), de 4°A (tamis 4A) ou de 5°A (tamis 5A). En sélectionnant un tamis de type 3A ou 4A, il est possible d'absorber l'eau au sein de la structure microporeuse tout en excluant les hydrocarbures[12].



Figure II.6. Structure des tamis moléculaire 3A et 4A.

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

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

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

Les tamis moléculaires utilisés dans le traitement du gaz au niveau de GP2Z sont les tamis " UOP type 4A-DG TRISIV 1/8 ".

II.7.2. Régénération de tamis moléculaire :

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

II.7.2.1. Fiche technique du tamis moléculaire :**Tableau II.1.** Fiche technique du tamis moléculaire.

Propriétés	Caractéristique	
	s	
Diamètre nominale des pores	4	°A
Diamètre des particules	1.6	Mm
Densité tassée	700	Kg/m ³
Chaleur de désorption de l'eau	1800	Kcal/kg d'eau
Teneur en eau résiduelle	2	%
Capacité en eau à l'équilibre	21	%
Capacité calorifique	0.22	Kcal/kg °C

II.7.2.2. Application :

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

II.7.2.3. Régénération:

Le tamis moléculaire UOP type 4A-DG peut être régénérer par purgeà haute température, l'efficacité de la régénération dépend de la température, de la pression et de la teneur en humidité du gaz de purge[13].

II.7.2.4. Propriétés de tamis moléculaire type 4A-DG TRISIV™ 1/8 " :**Tableau II.2.** Les propriétés du tamis moléculaire.

PROPRIETE TYPIQUE	4A-DG TRISIV™ 1/8"
Formule de la particule	Extrudé trilobique (brevet UOP)
Diamètre de la particule	3.2 mm
Masse volumique apparente (kg/cm ³)	641
Résistance a l'encrassement	8
Chaleur d'adsorption (kJ/kg h ₂ O)	4186
Capacité en eau à l'équilibre (% wt)	22
Teneur en eau résiduelle (a l'expédition)	<1.5

CHAPITRE III : Partie pratique

III.1. INTRODUCTION:

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

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

Actuellement nous avons remarqués que cette teneur est loin d'être atteinte, ceci est due à une amélioration de la quantité de la charge provenant du sud à 25 ppm et dont le temps de traitement sur les tamis moléculaire méritent d'être revu pour son efficacité.

Remarque :

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

Donc le sécheur travaille bien au dessous des ses performance, et ceci induit des pertes considérables en énergie.

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

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

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

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

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

- Dépressurisation ;
- Pressurisation ;
- Chauffage ;

Chapitre III :

- Refroidissement.

III.2. But:

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

- Un bilan thermique ;
- Un bilan de matière.

C'est bilans sont les parties essentielles de notre travail, ou on va évaluer la quantité et le débit de chaleur nécessaires à la régénération du sécheur.

III.3. Fiche technique du tamis :

Tableau III.1. Quantité des compositions de la charge GPL.

	Caractéristique	
Diamètre nominale des pores	4	°A
Diamètre des particules	1.6	Mm
Densité tassée	700	Kg/m ²
Chaleur de désorption de l'eau	1800	Kcal/kg d'eau
Teneur en eau à résiduelle	2	%
Capacité en eau à l'équilibre	21	%
Capacité calorifique	0.22	Kcal/kg °C

Les conditions opératoires d'adsorption et de désorption (réel)

1. Durée d'adsorption : 48h
2. Durée de régénération : 22.5h
 - a. Réchauffage = 13.5h
 - b. Refroidissement= 9h

Température d'entrée du gaz de régénération

1. Réchauffage $T=280^{\circ}\text{C}$
2. Refroidissement $T=12.7^{\circ}\text{C}$

III.4. LA Théorie des calculs :

III.4.1 Le bilans énergétique :

III.4.1.1 Calcul de la quantité totale de chaleur nécessaire à la régénération

La quantité de chaleur nécessaire à la régénération est :

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

III.4.1.2 Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption

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

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

III.4.1.3 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis

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

III.4.1.4 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier

$$Q_{tamis} = m_t \times C_{Pt} \times (T - T_{ads}) \dots \dots \dots (4)$$

III.4.1.5 Calcul des pertes de chaleur Q_{perte}

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

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

Calcul de la température du lit (T)

On peut l'obtenir par la relation suivante :

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

Chapitre III :

Calcul de la chaleur H_f fournie par le four

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

Calcul du temps de réchauffage du tamis moléculaire « t_r »

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

Calcul de la chaleur fournie par le four par le cycle $H_{\left(\frac{f}{\text{cycle}}\right)}$

Puisque $H_{\left(\frac{f}{\text{cycle}}\right)} = \frac{3 \times H_f \times t_r}{t_{ads}}$ et on $t_{\text{cycle}} = 3 \times t_{ads}$

Donc : $H_{\left(\frac{f}{\text{cycle}}\right)} = \frac{H_f \times t_r}{t_{ads}} \dots\dots\dots (9)$

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

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

Calcul de la chaleur soutirée au système Q_{ref}

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

III.4.2 Le bilan de matière de la régénération

III.4.2.1 Calcul de débit du gaz de refroidissement

Le débit du gaz de refroidissement est calcul comme suit :

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

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

III.4.2.2 Calcul de la chute de pression

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

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

Chapitre III :

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

1) $A = 0.0561$;

2) $B = 0.0000889$;

III.4.2.3 Calcul du nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est calculé par la formule suivant :

$$Re = \frac{G \times D_p}{\mu} \dots\dots\dots(14)$$

III.5 Dimensionnement du sécheur de la section :

III.5.1 Propriété du GPL

- Débit de traitement : $Q = 174 \text{ t/h} = 324.26 \text{ m}^3/\text{h}$
- $P = 24 \text{ bar}$
- $T = 250^\circ\text{C}$
- $d_{\text{GPL}} = 0.54$

III.5.2 Composition de la charge

A partir de l'analyse chromatographique on obtient les résultats suivants :

Tableau III.2. Poids de pourcentage molaire de la charge GPL.

Composant	Poids molaire	% Molaire
C ₁	16	1.26
C ₂	30	1.75
C ₃	44	57.78
i-C ₄	58	12.64
i-C ₅	58	26.14
n-C ₄	72	0.38
n-C ₅	72	0.05

Poids moléculaire du GPL :

$$M_{\text{GPL}} = \sum Y_i \times M_i \quad M_{\text{GPL}} = 48.95 \text{ Kg/Kmol}$$

- Solubilité de l'eau dans le GPL à $T = 25^\circ\text{C}$

Chapitre III :

- Teneur en eau à l'entrée de sécheur : $X_E = 25\text{PPM}$
- Teneur en eau à la sortie de sécheur : $X_S = 01\text{PPM}$
- Phase liquide :

Masse volumique de GPL : $\rho_{GPL} = 536.6\text{Kg/m}^3 = 33.5\text{Lb/f}$

III.5.3 Dimensionnement d'un déshydrateur

Diamètre d'adsorbeur $D_L = 2.286\text{m} = 7.5\text{ ft}$

La hauteur totale du lit $H_t = 3.4\text{m} = 11.2\text{ ft}$

Diamètre minimum du lit $D_{min} = 2.13\text{m} = 7\text{ ft}$

Remarque :

C'est le diamètre minimum que nous devons respecter ou le sécheur doit avoir un diamètre $D \geq D_{min}$

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

$$H_t = H_s + H_z \dots\dots\dots(15)$$

III.5.4 Calcul de la quantité d'eau adsorbée (bilans de matière)

III.5.4.1 Calcul de la vitesse actuelle d'écoulement

$$U_{act} = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots(16)$$

Avec :

$$S = \frac{\pi D_L^2}{4} \quad ; \quad S = 44.156\text{ ft}^2 \quad \text{Tel que : } D_L = 2.28 = 7.5\text{ ft.}$$

III.5.4.2 Calcul de débit d'eau

$$q_w = \frac{4 \times F_{in} \times Q \times \rho_{GPL}}{\pi \times D_L^2} \dots\dots\dots(17)$$

III.5.4.3 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse

$$H_z = \frac{255 \times q_w^{0.7895}}{U_{act}^{0.5506} \times Y_{in}^{0.2646}} \dots\dots\dots(18)$$

III.5.4.4 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre

$$H_s = H_t - H_z \dots\dots\dots(19)$$

III.5.4.5 Estimation de la capacité de d'adsorption à l'équilibre

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

$$X_s = 21 - X_1$$

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

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

- **La capacité d'adsorption de la 1^{er} année est**

$$C_{ap} = 100 - 100 \times 0.05 \quad \Leftrightarrow C_{ap} = 95\%$$

- **La capacité d'adsorption de la 2^{eme} année est**

$$C_{ap} = 95 - 95 \times 0.05 \quad \Leftrightarrow C_{ap} = 90.25\%$$

- **La capacité d'adsorption de la 3^{eme} année est**

$$C_{ap}=90.25 - 90.25 \times 0.05 \quad \Leftrightarrow C_{ap} = 85.73\%$$

Donc la perte des 3 années est la suivant

$$Perte=100-85.73 \quad \Leftrightarrow perte= 14.24 \cong 0.15$$

La capacité sera enfin :

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

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

III.5.4.6 Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100Lb de dessicant

$$H = X_s \times [1 - C \times \frac{H_z}{H_s}] \dots\dots\dots (20)$$

C_e : Une concentration empirique que l'on prend généralement égale à 0.45 et qui dépend de la forme des particules se tamis moléculaire.

III.5.4.7 Estimation de la quantité d'eau absorbée M_{ads}

$$M_{ads} = \frac{[H_s - (C \times H_z)] \times (X_s \times D_L^2 \times \rho_{tamis})}{254.76} \dots\dots\dots (21)$$

III.5.4.8 Calcul du temps d'adsorption

$$t_{ads} = \frac{M_{ads}}{F_{in} \times Q \times \rho_{GPL}} \dots\dots\dots (22)$$

III.5.4.8.1 Détermination de l'efficacité d'adsorption

$$\square\square\square = \frac{X}{X_s} \dots\dots\dots (23)$$

Tableau III.3. Résultat des paramètre de dimensionnement pour une teneur en eau de 100 PPM.

Paramètre	Résultat	Unité	Numéro de l'équation
U_{act}	259.32	ft/h	eq16
q_w	0.8687	Lb/ft ² .h	eq17
H_z	2.79	ft	eq18
H_s	8.41	ft	eq19
X	10.47	Lb d'eau/Lb adsorbant	eq20
M_{ads}	849.472	Lb	eq21
t_{ads}	22.14	H	eq22
EFF	64.83%	////	eq23

Chapitre III :

III.6 Calcul du bilan thermique

III.6.1 Propriété du gaz de régénération

Tableau III.4. La composition du gaz de régénération.

Composition	% molaire	Poids moléculaire	C _{pi} (280°C) Kcal/mole. °K	C _{pi} (12.7°C) Kcal/mole. °K	T _c (°K)	P _c (atm)
N ₂	5.451	28	6.885	6.93	126.2	33.5
CO ₂	0.203	44	7.27	7.28	191.1	45.8
C ₁	83.678	16	7.27	7.28	191.1	45.8
C ₂	7.499	30	12.983	13.868	305.5	48.2
C ₃	1.979	44	21.37	23.4096	370	42
i-C ₄	0.295	58	30.52	33.717	408.1	36
n-C ₄	0.456	58	41.82	47.44	461	32.9
i-C ₅	0.096	72	31.63	34.984	425.2	37.5
n-C ₅	0.106	72	42.15	46.697	496.8	33.3
C ₆	0.053	86	53.28	58.5999	507.9	29.9
He	0.184	4	4.96	4.96	5.3	2.26

Poids moléculaire du GN : $M_{GN} \Leftrightarrow \sum Y_i \times M_i$ $M_{GN} = 18.7585\text{g/mole}$

III.6.2 Calcul du coefficient de compressibilité (Z) à température de 280 et 22°C

III.6.2.1 Le gaz naturel de réchauffage

$$\begin{cases} T = 280^\circ\text{C} \\ P = 14\text{Kg/cm}^2 \end{cases}$$

Le facteur de compressibilité est calculé par la formule suivante :

$$Z = 1.046 - (2.034 \times 10^{-4}) + (4.571 \times 10^{-8})P^2 \dots\dots\dots (24)$$

$$Z = 1.043$$

Chapitre III :

➤ Calcul de la masse volumique du GN

$$\rho_{GN} = \frac{P M_{GN}}{Z R T} \dots\dots\dots(25)$$

Puisque

$$Z = 1.043$$

$$M_{GN} = 18.7585 \text{ Kg /Kmol}$$

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

$$P = 14 \text{ Kg / cm}^2 = 13.82 \text{ atm}$$

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

Alor $\rho_{GN} = 5.48 \text{ kg/m}^3$

Capacité calorifique du gaz de chauffage (C_{pg}) à 280°C $C_{pg} = 8.26 \text{ Kcal/Kmol.}^\circ\text{K}$

III.6.2.2 Le gaz naturel de refroidissement

$$\begin{cases} T = 22^\circ\text{C} \\ P = 14 \text{ Kg/cm}^2 \end{cases}$$

➤ Calcul du coefficient de compressibilité (Z)

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

Avec : $P_r = \frac{P}{P_c}$ ET $T_r = \frac{T}{T_c}$

T_c, P_c : Paramètre pseudo-critiques ;

T_r, P_r : Température et pression réduites.

$$T_c = \sum Y_i T_{ci} \dots\dots\dots(26)$$

$$\Rightarrow T_c = 202.13^\circ\text{K}$$

$$P_c = \sum Y_i P_{ci} \dots\dots\dots(27)$$

$$\Rightarrow P_c = 45.1 \text{ atm}$$

Donc : $\Rightarrow Z = 0.92$

Chapitre III :

➤ Calcul de la masse volumique du GN

$$\rho_{GN} = \frac{PM_{GN}}{ZRT} \quad \rho_{GN} = 11.7 \text{ kg/m}^3$$

Capacité calorifique de refroidissement (C_{pg}) à 22°C

$$C_{pg} = 8.43 \text{ kcal/kmol.}^\circ\text{K}$$

III.6.3 Calcul de la masse du tamis m_t

$$m_t = \frac{\pi D_L^2}{4} H_t \rho_{tamis} \dots \dots \dots (28)$$

Puisque :

$$D_L = 7.5 \text{ ft}$$

$$H_t = 11.2 \text{ ft}$$

$$\rho_{tamis} = 700 \text{ kg/m}^3 = 43.69 \text{ Lb/ft}^3$$

$$\text{Donc : } m_t = 21606.8895 \text{ LB}$$

III.6.4 Calcul de la température moyenne du lit en fin de chauffage T

$$T = T_s - \left(\frac{T_e}{T_s} \right)^2 \dots \dots \dots (29)$$

Puisque :

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

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

$$\text{Donc : } T = 198.63^\circ\text{C} = 471.63^\circ\text{K}$$

III.6.5 Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage du tamis Q_{tamis}

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

Puisque :

- $T = 198.63^\circ\text{C} = 389.534^\circ\text{F}$.

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

Chapitre III :

- $m_t = 21606.8895 \text{ LB}$.
- $C_{p_{tamis}} = 0.22 \text{ BTU/LB}^\circ\text{F}$.

Donc : $\Rightarrow Q_{tamis} = 1485635.27 \text{ BTU}$

III.6.6 Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage de l'acier Q_{acier}

$$Q_{acier} = m_c \times C_{pc} \times (T - T_{ads}) \dots\dots\dots (30)$$

- $m_c = 28268.30564 \text{ Lb}$.
- $C_{pc} = 0.12 \text{ BTU/Lb }^\circ\text{F}$.
- $T = 198.63^\circ\text{C} = 389.534^\circ\text{F}$.
- $T_{ads} = 25^\circ\text{C} = 77^\circ\text{F}$.

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

$$\Rightarrow Q_{acier} = 1060176.8 \text{ BTU}$$

III.6.7 Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q_{acier}

$$\Rightarrow Q_{deshy} = M_{ads} \times \Delta H \dots\dots\dots (31)$$

Puisque

- $\Delta H = 1800 \text{ BTU/LB}$ D'après figure 2
- $M_{ads} = 849.472 \text{ LB}$

Donc $\Rightarrow Q_{deshy} = 1529049.6 \text{ BTU}$

III.6.8 Calcul des pertes de chaleurs Q_{perte}

$$Q_{perte} = 0.1 \times (Q_{deshy} + Q_{tamis} + Q_{acier}) \dots\dots\dots (32)$$

Puisque

- $Q_{deshy} = 1529049.6 \text{ BTU}$.
- $Q_{tamis} = 1485635.27 \text{ BTU}$.
- $Q_{acier} = 1060176.8 \text{ BTU}$.

Donc $\Rightarrow Q_{perte} = 407486.167 \text{ BTU}$

III.6.9 Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Q_{totale}

$$Q_{totale} = Q_{tamis} + Q_{deshy} + Q_{acier} + Q_{perte} \dots\dots\dots (33)$$

$$\Rightarrow Q_{totale} = 4482347.837 \text{ BTU}$$

III.6.10 Calcul de la capacité calorifique moyenne du gaz

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

$$\Rightarrow C_{Pg_{moy}} = 8.345 \text{ Kcal/Kmol. }^{\circ}\text{K} = 0.8 \text{ BTU/Lb}^{\circ}\text{K}$$

III.6.11 Calcul de la chaleur de four H_f D'après

l'équation (7) : $H_f = M_g \times C_{pg} \times (T_e - T_{ads})$

Puisque

- $C_{pg} = 0.8 \text{ BTU/Lb. }^{\circ}\text{K}$.
- $M_g = 1300 \text{ Kg/h} = 2865.9612 \text{ Lb/h}$.
- $T_e = 280^{\circ}\text{C} = 553^{\circ}\text{F}$.
- $T_{ads} = 25^{\circ}\text{C} = 298^{\circ}\text{F}$.

Donc $\Rightarrow H_f = 584656.0848 \text{ BTU/h}$

III.6.12 Calcul du temps de réchauffage du tamis « TR »

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

Tableau III.5. Données utilisées pour le calcul du temps de réchauffage du tamis.

Débit de GN de chauffage (Q_1 : Kg/h)	Température du GN sortant de l'économiseur (T_s : $^{\circ}\text{K}$)
1300	426.1
1300	604.3
1300	604.8
1300	604.9
1300	604.8
1300	604.7
1300	604.6
1300	606
1300	605.4
1300	4605.3
1300	605.4
1300	605.4
1300	605.4
1300	605.5

Tableau III.6. Donnée de calcul de l'économiseur.

Débit de GN de chauffage (Q_{GN} : Lb/h)	2865.9612
Capacité calorifique moyenne (C_{pg} : BTU/Lb °K)	0.8
Masse volumique du GN	5.48 kg/m ³
Température finale (T_f, °F)	630.23
Température initiale (T_i, °F)	77

III.6.12.1 Calcul de l'énergie totale fournie par l'économiseur

$$E_{totale} = C_{pgmoy} \times \sum Q_i \times (T_s - T_i) \dots\dots\dots(32)$$

$$\Rightarrow E_{totale} = 8749776.26 \text{ BTU/h}$$

III.6.12.1.1 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis Q_{tamis}

$$Q_{tamis} = m_t \times C_{pt} \times (T_f - T_i) \quad m_t = 210606.8895 \text{ Lb}$$

$$\Rightarrow Q'_{tamis} = 2629787.48 \text{ BTU}$$

III.6.12.1.2 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier Q_{acier}

$$Q_{acier} = m_c \times C_{Pc} \times (T_f - T_i)$$

- $m_{acier} = 28268.30564 \text{ Lb}$
- $C_{Pacier} = 0.12 \text{ BTU/Lb °F}$

$$\Rightarrow Q'_{acier} = 1876664.97 \text{ BTU}$$

III.6.12.1.3 Calcul des pertes de chaleur Q_{perte}

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

$$\Rightarrow Q'_{perte} = 603550.205 \text{ BTU}$$

D. Calcul de la chaleur totale réelle consommé par le système «sécheur »

$$Q_{totale} = Q'_{tamis} + Q'_{acier} + Q'_{desorption} + Q'_{perte}$$

$$\Rightarrow Q_{totale} = 6639052.255 \text{ BTU}$$

E. Calcul de l'efficacité thermique de l'économiseur EFF'

$$EFF = \frac{Q'_{totale}}{E_{totale}} \Rightarrow EFF = 0.76 = 76\%$$

Le temps de réchauffage du tamis est :

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

Puisque $H_f : 584654.0848 \text{ BTU/h.}$ $t_r = 15\text{h}$

III.6.12.1.4 Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur par cycle

Puisque $t_{ads} = 22.14 \text{ h}$ et d'après (eq22)

$$H_{\left(\frac{f}{cycle}\right)} = \frac{H_f \times t_r}{t_{ads}} \Rightarrow H_{cycle} = 396108.46 \text{ BTU/h}$$

III.6.13 Calcul du temps de refroidissement du tamis « T_{REF} »

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

- $Q'_{tamis} = 2629787.48 \text{ BTU}$
- $Q'_{acier} = 1876664.97 \text{ BTU}$
- $Q'_{totale} = 6639052.255 \text{ BTU}$
- $t_t = 15\text{h}$

$$\Rightarrow t_{ref} = 10.18\text{h}$$

III.6.14 Calcul de la chaleur saturée Q_{ref}

$$Q_{ref} = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{t_{ref}} \quad \text{donc} \quad \Rightarrow Q_{ref} = 442677.05 \text{ BTU/h}$$

III.7 Calcul du bilan de matière de la régénération

III.7.1 Calcul du débit du gaz de refroidissement

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

$$\checkmark Q_{ref} = 442677.05 \text{ BTU/h} ; C_{pg_{moy}} = 8.345 \text{ kcal/kmol.}^\circ\text{K} = 0.8 \text{ BTU/Lb. }^\circ\text{K}$$

$$\checkmark T_S = 227^\circ\text{C} = 440.6^\circ\text{F} = 500^\circ\text{K} ; T_E = 12.7^\circ\text{C} = 54.86^\circ\text{F} = 285.7^\circ\text{K}$$

$$\Rightarrow M_{ref} = 2582.11 \text{ Lb/h} = 1171.24 \text{ kg/h.}$$

III.7.2 Calcul des pertes de charges

III.7.2.1 Calcul de la vitesse superficielle U_1 à travers le lit pour le GN chaud

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4} = ; \rho_{GN} = 5.48 \text{ kg/m}^3 = 0.34 \text{ Lb/ft}^3$$

$$M_g = 1300 \text{ kg/h} = 2865.9612 \text{ Lb/h}$$

$$U_1 = \frac{M_g}{60 \times S \times \rho_{GN}} \dots\dots\dots (33)$$

$$\Rightarrow U_1 = 3.18 \text{ ft/min}$$

III.7.2.2 Calcul de la vitesse superficielle U_2 à travers le lit pour le GN froid

a. $S = \frac{\pi D^2}{4} = 44.156 \text{ ft}^2$

b. $\rho_{GN} = 11.7 \text{ kg/m}^3 = 0.73 \text{ Lb/ft}^3$

$$M_g = M_{ref} = 2582.11 \text{ Lb/h} = 1171.24 \text{ kg/h}$$

$$U_2 = \frac{M_{ref}}{60 \times S \times \rho_{GN}} \dots\dots\dots (34)$$

$$U_2 = 1.33 \text{ ft/min}$$

Nous remarquons que la vitesse superficielle U_2 à travers le lit est inférieure à celle de la vitesse de GN chaud U_1 à cause de la différence de viscosité.

III.7.2.3 Calcul de la perte de charge $\frac{\Delta P}{L_1}$ pour le GN chaud

Calcul de la perte de charge connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération

a. $P = 450 \text{ kpas}$

b. $d_r = \frac{M_{GN}}{M_{air}} = 0.643$

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

d. $VIS_i = 0.07 C_P = 0.2219 \text{ Lb/ft.h}$

$$\frac{\Delta P}{L_1} = (A \times VIS \times U) + (B \times \rho_{GN} \times U^2)$$

$$A = 0.0561$$

$$B = 0.0000889$$

$$\frac{\Delta P}{L_1} = 0.039 \text{ psi/ft}$$

III.7.2.4 Calcul de la perte de charge $\frac{\Delta P}{L_2}$ pour GN froid

Calcul de la perte de charge connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération

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

b. $VIS = 0.08 C_P = 0.2536 \text{ Lb/ft.h}$

Chapitre III :

$$c. \frac{\Delta P}{L_2} = 0.019 \text{ psi/ft}$$

III.7.2.5 Calcul du nombre de Reynolds

$$Re = \frac{G \times D_L}{\mu} \dots\dots\dots (34)$$

$$G = \frac{M_g}{s} \quad \Rightarrow \quad G = 64.9 \text{ Lb/ft}^2 \cdot \text{h}$$

$$Re_1 = 65189.73$$

III.7.2.6 Calcul du nombre de Reynolds

$$Re = \frac{G \times D_L}{\mu}$$

$$G \frac{M_g}{s} \Rightarrow G = 58.48 \text{ Lb/ft}^2 \cdot \text{h}$$

$$\Rightarrow Re = 51395.8$$

III.8 Résultats

Tableau III.7. Récapitulation des résultats :

	Les valeurs calculées		Les valeurs de design	
H_t	= 11.2 ft	= 3.4 m	= 11.2 ft	= 3.4 ft
H_f	= 584656.0848 BTU/h	= 147366.06 Kcal/h	$0.13 \times 10^6 \leq H_f \leq 0.33 \times 10^6$	
t_r	= 15 h		= 13.5 h	
t_{ref}	= 10.08 h		= 9 h	
M_g	= 2865.9612 Lb/h	= 1300 kg/h	$1000 \leq \text{débit} \leq 2500 \text{ kg/h}$	
M_{ref}	= 2582.11 Lb/h	= 1171.24 kg/h		
$\frac{\Delta P_1}{L}$	= 0.039 psi/ft		$0.01 \leq \frac{\Delta P}{L} \leq 0.25 \text{ psi/ft}$	
$\frac{\Delta P_2}{L}$	= 0.019 psi/ft			
Re_1	= 65189.73		$Re \geq 2500$	
Re_2	= 51395.8			
t_{ads}	= 22.14 h		= 24 h	

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

Chapitre III :

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

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

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

III.9 La prolongation temps d'adsorption

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

III.9.1 Calcul du temps d'adsorption :

III.9.1.1 Calcul de débit d'eau

$$q_w = \frac{4 \times Y_{in} \times Q \times \rho_{GPL}}{\pi \times D_L^2} \dots\dots\dots(35)$$

$$Y_{in}: 25\text{ppm} \quad q_w = 0.217 \text{ LbH}_2\text{O}/\text{ft}^2 \cdot h$$

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.

III.9.2 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse

$$H_z = \frac{225}{U_{act}^{0.5506} \times R_s^{0.2646}} q_w^{0.7895} \dots\dots\dots(36)$$

$$U_{act} = 259.32 \text{ ft}/h = 4.322 \text{ ft}/min$$

$$\Rightarrow H_z = 1.354 \text{ ft}$$

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

III.9.3 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre

$$H_s = H_t - H_z \dots\dots\dots(37)$$

$$\Rightarrow H_s = 9.85 \text{ ft}$$

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

Chapitre III :

III.9.4 Estimation de la quantité d'eau adsorbée M_{ads}

$X_s = 16.15$ Lb d'eau/Lb d'adsorbant

$X = 13.80$ Lb d'eau/Lb d'adsorbant

$$M'_{ads} = \frac{[H_s - (C \times H_z)] \times (X_s \times D^2 \times \rho_{tamis})}{254.76} \dots\dots\dots (38)$$

$$\Rightarrow M'_{ads} = 1311.615 \text{ Lb}$$

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

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

$$\Rightarrow M_{ads} = 852.55 \text{ Lb}$$

Donc le nouveau temps d'adsorption jusqu'à saturation est

$$t_{ads} = \frac{M_{ads}}{F_{in} \times Q \times \rho_{GPL}} \dots\dots\dots (39)$$

$$t_{ads} = 88.6 \text{ h}$$

Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 25 Lb de dessicants

D'après l'équation
$$X = X_s \times \left[1 - C \times \frac{H_z}{H_s}\right]$$

$$\Rightarrow X = 13.80 \text{ Lb d'eau/Lb d'adsorbant}$$

III.9.5 Détermination de l'efficacité d'adsorption

$$EFF = 0.85$$

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

III.9.6 Calcul du bilan thermique

III.9.6.1 Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption $Q_{déschy}$

$$\Delta H = 1800 \text{ BTU/Lb}$$

$$Q_{déschy} = M_{ads} \times \Delta H$$

$$\Rightarrow Q_{déschy} = 1534589.55 \text{ BTU}$$

III.9.6.2 Calcul des pertes de chaleurs Q_{perte}

$$Q_{perte} = 0.1 \times (Q_{deshy} + Q_{tamis} + Q_{acier}) \dots\dots\dots(40)$$

Puisque

$$Q_{deshy} = 1534589.55 \text{ BTU}$$

$$Q_{tamis} = 1485635.27 \text{ BTU}$$

$$Q_{acier} = 1060176.8 \text{ BTU}$$

$$\Rightarrow Q_{perte} = 408040.162 \text{ BTU}$$

III.9.6.3 Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Q_{totale}

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

$$\Rightarrow Q_{totale} = 4488441.787 \text{ BTU}$$

III.9.6.4 Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur H_f

D'après l'équation :

$$H_f = M_g \times C_{Pg} \times (T_e - T_{ads}) \dots\dots\dots(41)$$

$$\Rightarrow H_f = 584656.0848 \text{ BTU/h}$$

III.9.6.4.1 Calcul du temps de réchauffage du tamis $\ll t_r \gg$

$$t_r = \frac{Q_{totale}}{(H_f \times Eff)} \dots\dots\dots(42)$$

$$\Rightarrow t_r = 9.03 \text{ h}$$

III.9.6.4.2 Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur par cycle

a. $t_r = 9.03 \text{ h}$

b. $H_f = 584656.0848 \text{ BTU/h}$

c. $T_{ads} = 88.9\text{h}$

$$H_{\left(\frac{f}{cycle}\right)} = \frac{H_f \times t_r}{t_{ads}} \dots\dots\dots(43)$$

$$\Rightarrow H_{cycle} = 59386.33 \text{ BTU/h}$$

G. Calcul du temps de refroidissement du tamis $\ll t_{ref} \gg$

$$t_{ref} = \left[\frac{(Q_{tamis} + Q_{acier})}{Q_{totale}} \right] \times t_r \dots\dots\dots(44)$$

Chapitre III :

$$Q_{tamis} = 1485635.27 \text{ BTU}$$

$$Q_{acier} = 1060176.8 \text{ BTU}$$

$$Q_{totale} = 4488441.787 \text{ BTU}$$

$$t_r = 9.03 \text{ h}$$

$$\Rightarrow t_{ref} = 5.2 \text{ hr}$$

III.10 La réduction temps d'adsorption

III.10.1 Calcul de la hauteur la zone d'équilibre

Cette solution est basée sur l'optimisation des paramètres de régénération avec un temps d'adsorption de 48h sans modifier les dimensions du tamis moléculaires, et celui de l'adsorbeur. Cette solution est basée sur l'optimisation des paramètres de régénération avec un temps d'adsorption de 48h sans modifier les dimensions du tamis moléculaires, et celui de l'adsorbeur.

$$H_t = 7.5 \text{ ft}$$

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

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

$$q_w = 0.217 \text{ LbH}_2\text{O/ft}^2 \cdot \text{h}$$

$$H_z = 1.35 \text{ ft}$$

Estimation de la quantité d'eau absorbée M_{ads}

D'après la relation précédente et pour une teneur en eau de 25 ppm et un temps d'adsorption de 48h on trouve :

$$M_{ads} = Y_{in} \times t_{ads} \times \rho_{GPL} \times Q \dots \dots \dots (45)$$

$$\Rightarrow M_{ads} = 460.31 \text{ Lb}$$

Qui donne une zone d'équilibre égale à

$$H_s = \left[\frac{254.76 \times M_{ads}}{X_s \times \rho_{tamis} \times D_L^2} \right] + (C \times H_z) \dots \dots \dots (46)$$

$$\Rightarrow H_s = 4.39 \text{ ft}$$

III.10.2 Calcul de la hauteur non utilisée H'

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

Chapitre III :

$$\Rightarrow H' = 5.46\text{ft}$$

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

Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 25 Lb de dessicants

D'après l'équation 20

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

$$\Rightarrow X = 10.88 \text{ Lb d'eau/Lb d'adsorbant}$$

III.10.3 Détermination de l'efficacité d'adsorption

$$EFF = \frac{X}{X_s} \dots\dots\dots (47)$$

$$EFF = 0.67$$

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

III.10.4 Calcul du bilan thermique

III.10.4.1 Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q_{deshy}

$$\Delta H = 1800 \text{ BTU/Lb}$$

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

$$\Rightarrow Q_{deshy} = 828558 \text{ BTU}$$

III.10.4.2 Calcul des pertes de chaleur Q_{perte}

$$Q_{perte} = 0.1 \times (Q_{deshy} + Q_{tamis} + Q_{acier}) \dots\dots\dots (48)$$

Puisque

$$Q_{deshy} = 828558 \text{ BTU}$$

$$Q_{tamis} = 1485635.27 \text{ BTU}$$

$$Q_{acier} = 1060176.8 \text{ BTU}$$

Donc

$$\Rightarrow Q_{perte} = 337437.007 \text{ BTU}$$

Chapitre III :

III.10.4.3 Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Q_{totale}

$$Q_{totale} = Q_{tamis} + Q_{désy} + Q_{acier} + Q_{perte} \dots \dots \dots (49)$$

$$\Rightarrow Q_{totale} = 3711807.077 \text{ BTU}$$

III.10.4.4 Calcul du temps de réchauffage du tamis $\ll t_r \gg$

$$t_r = \frac{Q_{totale}}{(H_f \times Eff)} \dots \dots \dots (50)$$

Eff : l'efficacité thermique durant la régénération = 0.67

H_f : 584656.0848 BTU/h

$$\Rightarrow t_r = 9.47 \text{ h}$$

D'après les calculs on remarque :

Une quantité d'eau absorbée $M_{ads} = 849.472 \text{ Lb}$ tandis que nous avons une quantité d'eau adsorbée

$$M_{ads} = 460.31 \text{ Lb.}$$

Et une zone de transfert de masse $H_z = 2.79 \text{ ft}$ alors que nous avons une zone égale à $H_z = 1.35 \text{ ft}$

III.10.4.5 Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur par cycle

$$t_r = 9.47 \text{ h}$$

$$T_{ads} = 48 \text{ h}$$

$$H_f = 584656.0848 \text{ BTU/h}$$

$$H_{\left(\frac{r}{cycle}\right)} = \frac{H_f \times t_r}{t_{ads}} \dots \dots \dots (51)$$

$$\Rightarrow H_{cycle} = 115347.77 \text{ BTU/h}$$

III.10.4.6 Calcul du temps de refroidissement du tamis $\ll t_{ref} \gg$

$$t_{ref} = \left[\frac{(Q_{tamis} + Q_{acier})}{Q_{totale}} \right] \times t_r \dots \dots \dots (52)$$

Puisque

$$Q_{totale} = 3711807.077 \text{ BTU}$$

$$Q_{tamis} = 1485635.27 \text{ BTU}$$

$$Q_{acier} = 1060176.8 \text{ BTU}$$

Chapitre III :

$$t_r = 9.47 \text{ hr}$$

$$\Rightarrow t_{\text{ref}} = 6.49 \text{ hr}$$

III.10.5 Interprétation résultats

Le chapitre III traite de l'optimisation de la section de déshydratation du complexe GP2/Z, qui traite du GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié). Le design initial prévoyait une teneur en eau de 100 ppm avec des cycles d'adsorption et de régénération de 24 heures chacun.

Or, les relevés terrain montrent que la charge provenant du sud ne contient que 25 ppm d'eau, soit bien en dessous du design. Cela signifie que le sécheur travaille très en dessous de ses capacités, entraînant des pertes énergétiques considérables.

Les deux solutions étudiées pour remédier à ce problème sont :

- La prolongation du temps d'adsorption jusqu'à saturation réelle du tamis ;
- La variation (réduction) du temps de régénération avec un temps d'adsorption fixé à 48h.

III.10.5.1. Dimensionnement du Sécheur Base de Référence (100 ppm)

Tableau III.8. Résultats de calcul de référence pour une teneur en eau de 100 ppm.

Paramètre	Valeur	Unité
Vitesse d'écoulement (Uact)	259,32	ft/h
Débit d'eau (qw)	0,8687	Lb/ft ² .h
Hauteur zone de transfert (Hz)	2,79	ft
Hauteur zone d'équilibre (Hs)	8,41	ft
Quantité eau adsorbable (X)	10,47	Lb eau/Lb adsorbant
Quantité eau adsorbée (Mads)	849,47	Lb
Temps d'adsorption (tads)	22,14	h
Efficacité d'adsorption (EFF)	64,83	%

Chapitre III :

- Interprétation : À 100 ppm, le tamis est utilisé à environ 65 % de sa capacité maximale théorique. Ce résultat est cohérent avec la prise en compte du vieillissement du tamis (perte estimée de 15 % sur 3 ans).

III.10.5.2. Validation du modèle par bilan thermique

La comparaison entre les valeurs calculées et celles du design montre une bonne concordance, ce qui valide la méthode de calcul :

Tableau III.9. La comparaison entre les valeurs calculées.

Paramètre	Calculé	Design	Conformité
Temps de chauffage (tr)	15 h	13,5 h	✓ Acceptable
Temps de refroidissement (tref)	10,08 h	9 h	✓ Acceptable
Débit gaz régénération (Mg)	1 300 kg/h	1 000–2 500 kg/h	✓ Dans la plage
Perte de charge ($\Delta P/L$)	0,039 psi/ft	0,01–0,25 psi/ft	✓ Conforme
Reynolds (Re)	65 189	> 2 500	✓ Turbulent

L'écoulement est turbulent ($Re \gg 2\,500$), ce qui favorise un bon transfert de masse et une bonne distribution du gaz dans le sécheur. Toutes les marges du design sont respectées : la méthode de calcul est validée et applicable à une teneur d'eau de 25 ppm

III.10.5.3. Solution 1 : Prolongation du Temps d'Adsorption (25 ppm)

Cette première solution consiste à laisser le sécheur travailler jusqu'à saturation réelle du tamis, puisque la charge est beaucoup plus sèche (25 ppm) que prévu (100 ppm).

III.10.5.3.1. Résultats de calcul

Tableau III.10. Résultats des calculs pour la première solution.

Paramètre	Valeur	Unité
Débit d'eau (qw)	0,217	Lb H ₂ O/ft ² .h
Hauteur zone de transfert (Hz)	1,354	ft
Hauteur zone d'équilibre (Hs)	9,85	ft
Quantité eau adsorbée (Mads)	852,55	Lb
Nouveau temps d'adsorption (tads)	88,6	h
Efficacité d'adsorption (EFF)	85	%
Temps de chauffage (tr)	9,03	h
Temps de refroidissement (tref)	5,2	h
Chaleur par cycle (Hfcycle)	59 386	BTU/h

III.10.5.3.2 Interprétation :

En prolongeant le temps d'adsorption d' environ 88,6 heures, on exploite le tamis jusqu'à sa saturation réelle pour une charge à 25 ppm. Les bénéfices sont les suivants :

- Réduction du nombre de cycles de régénération : moins de dépressurisations, chauffages et refroidissements, ce qui préserve la durée de vie du dessicant.
- Amélioration de l'efficacité à 85 % contre 65 % dans le scénario de référence.
- Économie d'énergie majeure par cycle : la chaleur fournie par cycle chute de ~396 000 BTU/h à ~59 400 BTU/h, soit une économie d'environ 85 % sur l'énergie de régénération.

Chapitre III :

III.10.5.4. Solution 2 — Réduction du temps d'adsorption (tads = 48h)

Cette deuxième solution consiste à maintenir un temps d'adsorption de 48 heures avec une hauteur de lit réduite ($H_t = 7,5$ ft), en optimisant uniquement les paramètres de régénération.

III.10.5.4.1. Résultats de calcul :

Tableau III.11. Résultats de calcul pour la deuxième solution .

Paramètre	Valeur	Unité
Quantité eau adsorbée (Mads)	460,31	Lb
Hauteur zone d'équilibre (Hs)	4,39	ft
Hauteur non utilisée (H')	5,46	ft
Efficacité d'adsorption (EFF)	67	%
Temps de chauffage (tr)	9,47	h
Temps de refroidissement (tref)	6,49	h
Chaleur par cycle (Hfcycle)	115 347	BTU/h

III.10.5.4.2. Interprétation :

Cette solution s'avère moins efficace que la prolongation du temps d'adsorption, pour les raisons suivantes :

- Une hauteur de 5,46 ft de tamis reste inutilisée (chauffée sans avoir adsorbé d'eau), ce qui constitue un gaspillage d'énergie direct.
- L'efficacité reste à 67 %, sans amélioration notable par rapport à la situation de base (65 %).
- La consommation énergétique par cycle (115 347 BTU/h) est presque le double de celle de la Solution 1 (59 386 BTU/h).

Chapitre III :

III.10.5.5 Comparaison des deux solutions :

Tableau III.12. Comparaison entre solution 1 et solution 2.

Critère	Solution 1 (tads = 88,6h)	Solution 2 (tads = 48h)
Efficacité d'adsorption	85 %	67 %
Chaleur par cycle (BTU/h)	59 386	115 347
Économie d'énergie	Très élevée (~85 %)	Faible
Utilisation du lit	Complète	Partielle (5,46 ft inutilisés)
Durée de vie du dessicant	Préservée	Moins préservée
Nb. de cycles de régénération	Très réduit	Inchangé

III.10.5.6. Conclusion :

La solution optimale est clairement la prolongation du temps d'adsorption à environ 88,6 heures pour une charge à 25 ppm. Elle présente les avantages suivants :

- Exploitation du tamis jusqu'à saturation réelle, d'où une meilleure efficacité (85 %).
- Réduction drastique du nombre de cycles de régénération, ce qui se traduit par des économies d'énergie majeures et une durée de vie du tamis prolongée.
- Respect de toutes les contraintes du design (perte de charge, débit, régime turbulent).

La Solution 2 (réduction à 48h) reste une alternative exploitable mais sous-optimale : elle laisse une fraction importante du tamis inutilisée et ne réalise pas d'économies d'énergie significatives par rapport à la situation initiale.

CONCLUSION

Les sources d'énergie jouent un rôle primordial dans l'économie nationale. Toute perte d'énergie, quelle qu'en soit la nature, influence directement les coûts d'exploitation ainsi que le prix des produits finis.

Au sein du complexe GP2/Z, l'objectif principal est de réduire la teneur en eau de l'alimentation. Dans la section de déshydratation, cette teneur est abaissée d'une valeur maximale de 100 ppm à 1 ppm.

Dans ce contexte, une étude a été réalisée afin d'optimiser les paramètres de fonctionnement de la section de déshydratation de la charge.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence les points suivants :

- L'augmentation du temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau de la charge. Il a été observé que ce temps diminue lorsque la teneur en eau augmente.
- La modification de la durée de régénération, notamment les phases de chauffage et de refroidissement.

Un temps d'adsorption plus élevé permet de réaliser un gain énergétique appréciable. En effet, la même quantité de gaz naturel utilisée dans le cycle actuel est consommée sur une période plus longue, ce qui améliore l'efficacité énergétique du procédé.

En plus de cette économie en gaz naturel, plusieurs autres avantages peuvent être obtenus :

- Une augmentation de la durée de vie du tamis moléculaire, dont le vieillissement est principalement causé par les dépôts de coke à haute température.
- Une réduction du nombre de régénérations grâce à l'augmentation du temps d'adsorption, ce qui limite l'exposition du tamis aux températures élevées durant les phases de chauffage.
- Une amélioration de la durée de vie des équipements, due à la diminution du nombre de cycles de fonctionnement et, par conséquent, à la réduction des contraintes mécaniques et thermiques liées aux séquences de pressurisation, de dépressurisation, de chauffage et de refroidissement.
- Une augmentation de la durée de vie de la robinetterie, les séquences de fonctionnement étant assurées par l'ouverture et la fermeture des vannes. La réduction du nombre de cycles diminue ainsi la sollicitation des vannes.

Cette optimisation nous permettra d'économiser une quantité de fuel gaz qui se traduit par une valeur annuelle de $G_e = 205931.11 \$$.

Les références :

- [1] : A. Rojey – Le gaz naturel (production, traitement, transport) ; édition technip,1994.
- [2] : Polycop I.A.P. " Propane liquide déshydratation usine moléculaire seive".
- [3] : Revue de I.F.P. Gras pretreatment : w.w Waterman Institutof gas technology Chicago.
- [4] : Manuel opératoire de complexe GP2/Z.
- [5] : Soft Déshydratation, Département technique service étude.
- [6] : Manuel de Formation IHI.(2007)
- [7] : Hadj, Ali Djamel. Etude de la section de déshydratation de l'unité GPL-2 HASSIMESSAOUD. Aout 2005 ; 75P.
- [8] : Daddiou, Abdelaziz. Optimisation des paramètres de marche de l'unité de GPL de RHOUDRE NOUSS. 2010. 58P
- [9] : Projet GPL/Z, formation du personnel Exploitions « Institut Algérien du pétrole » Mme Bouzabia.
- [10] :Chouat, Chahinez. Etude de l'unité GTFT en mode Turn Down. Janvier 2017 ; 61P.
- [11] :Spécification technique pour la fourniture de tamis moléculaire pour l'adsorption de charge (juillet 2009).
- [12] :B.BELADIS, Etude comparative de dimensionnement d'un déshydrateur de gaz de l'unité de récupération de GPL à GTL,SH-DP-GASS TOUIL 2015.
- [13] : Westem Germany les tamis moléculaire Caractéristique et Application, Grace, Juin 1980.

Annexe 01 :

Fiche technique du tamis moléculaire.

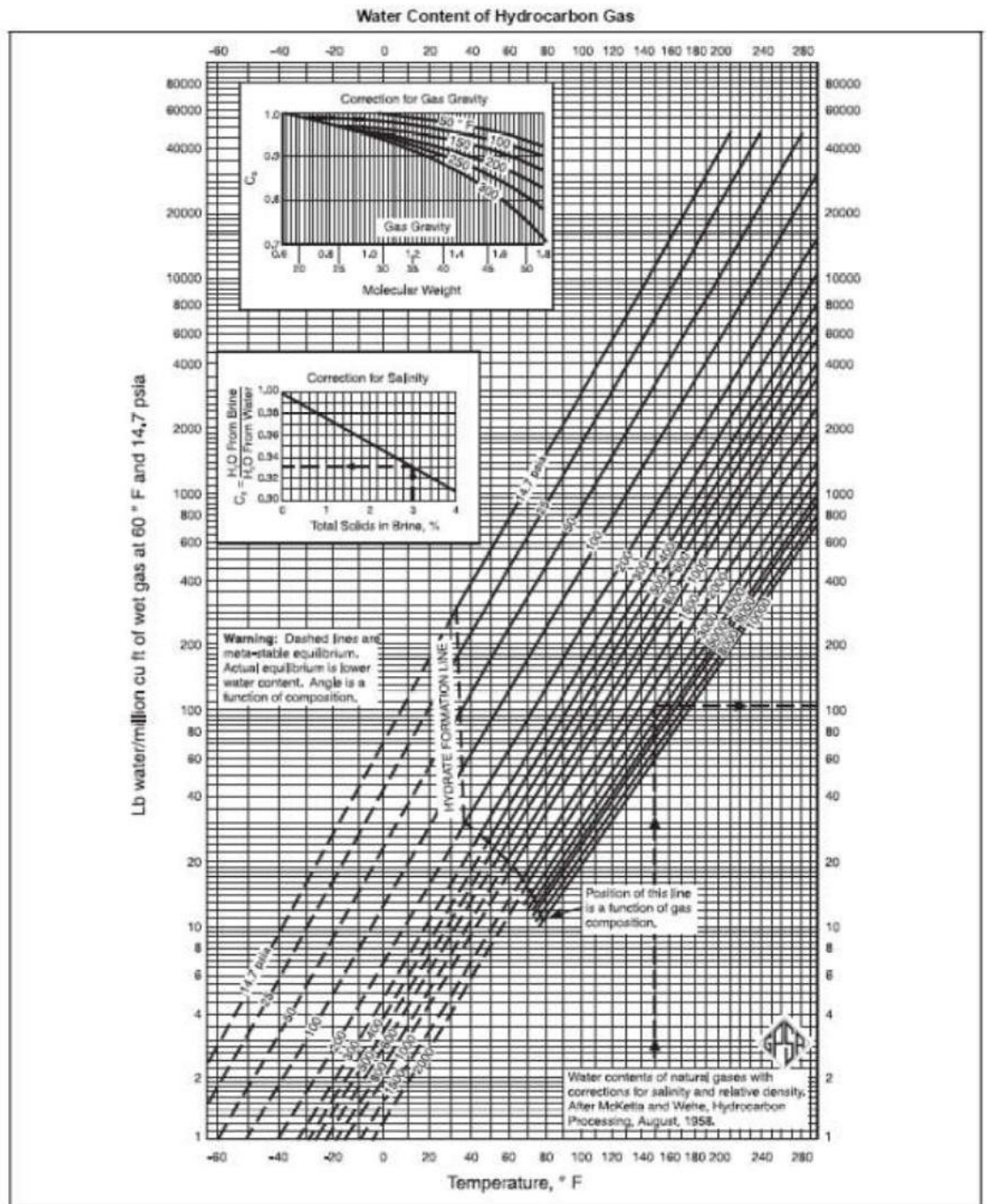
Propriétés	Caractéristiques	
Diamètre nominale des pores	4	°A
Diamètre des particules	1.6	Mm
Densité tassée	700	Kg/m ³
Chaleur de désorption de l'eau	1800	Kcal/kg d'eau
Teneur en eau résiduelle	2	%
Capacité en eau à l'équilibre	21	%
Capacité calorifique	0.22	Kcal/kg °C

Annexe 02 :

Les propriétés du tamis moléculaire.

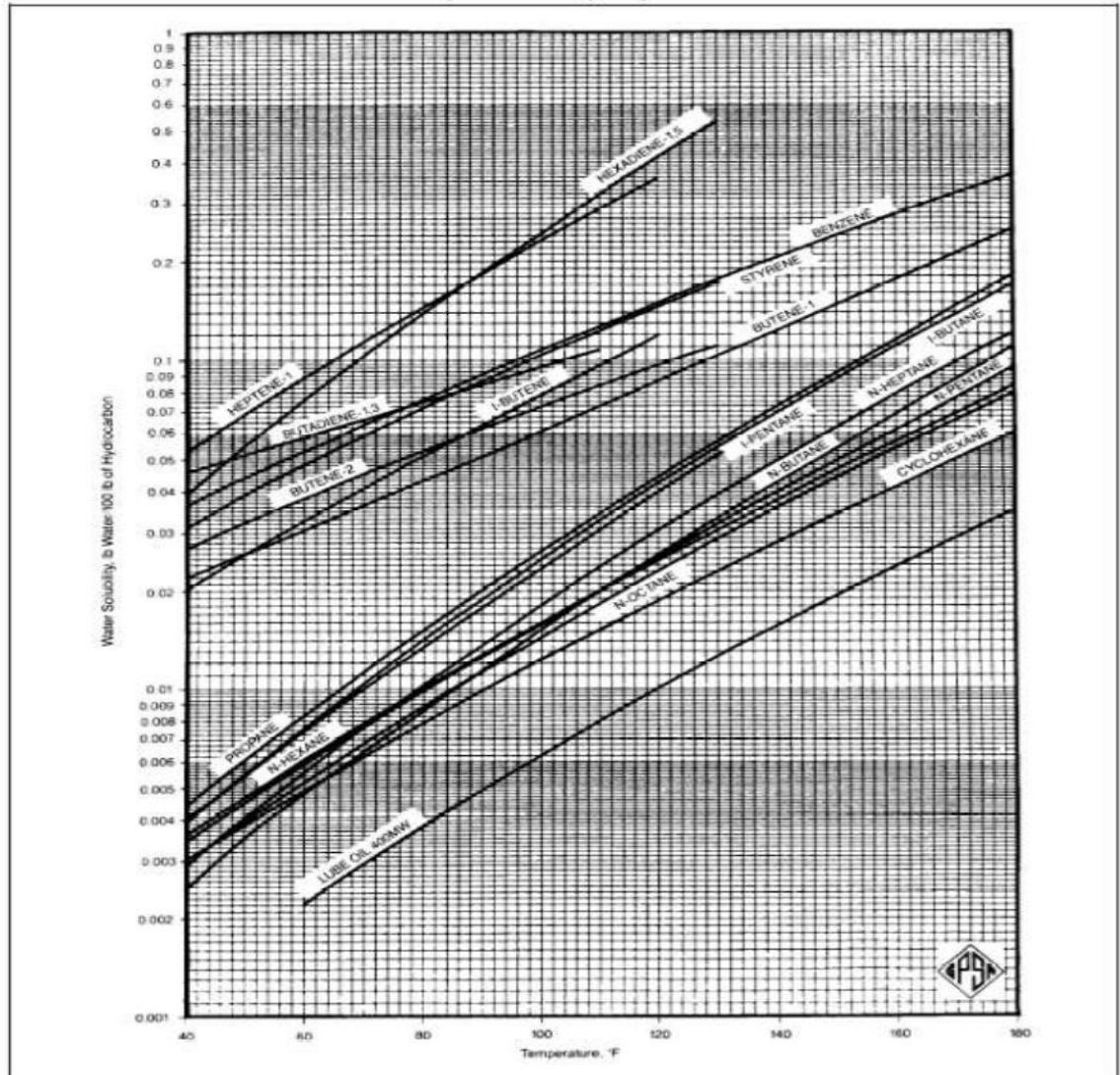
PROPRIETE TYPIQUE	4A-DG TRISIV™ 1/8"
Formule de la particule	Extrudé trilobique (brevet UOP)
Diamètre de la particule	3.2 mm
Masse volumique apparente (kg/cm ³)	641
Résistance a l'encrassement	8
Chaleur d'adsorption (kJ/kg h20)	4186
Capacité en eau à l'équilibre (%wt)	22
Teneur en eau résiduelle (a l'expédition)	<1.5

Annexe

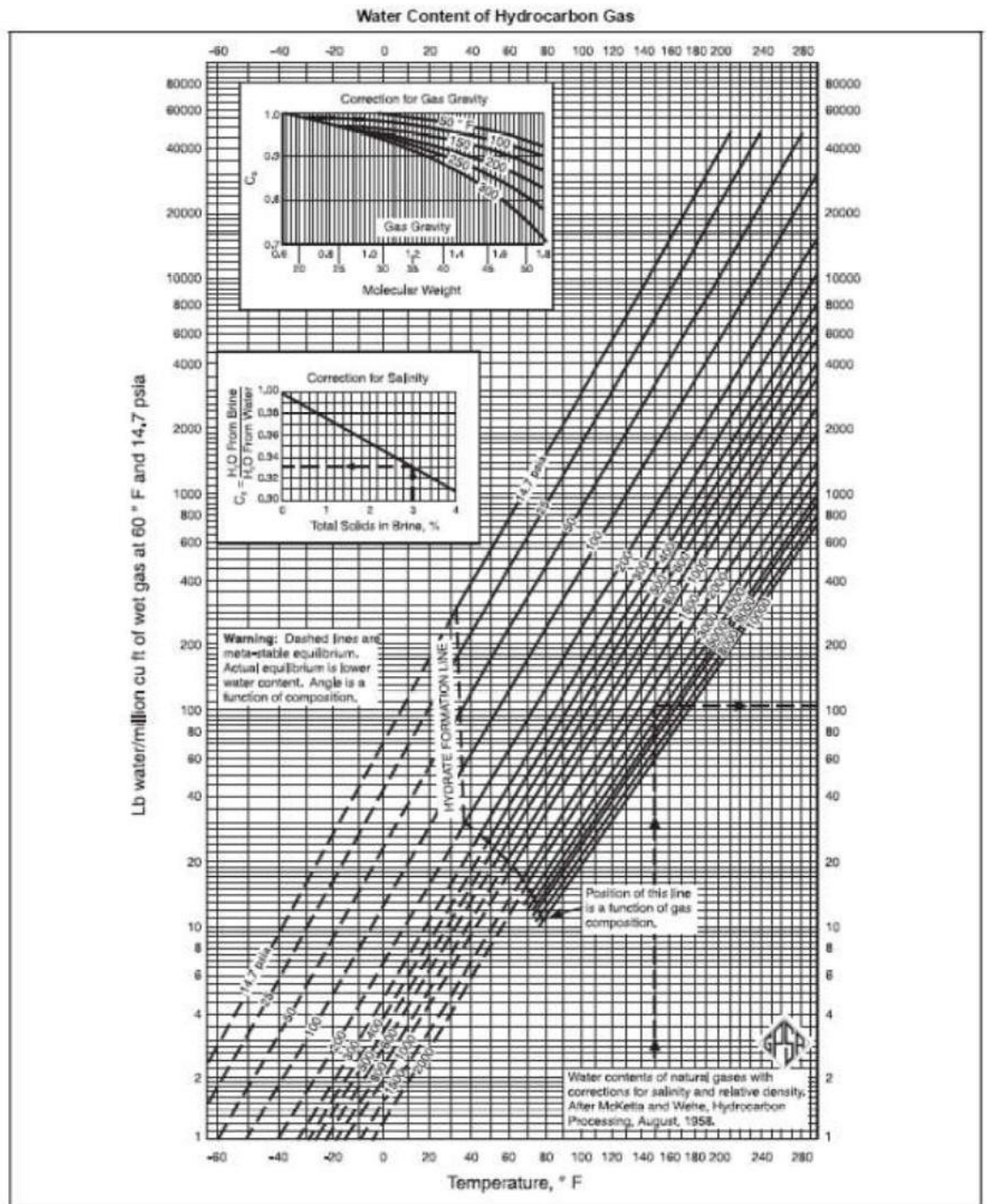


Annexe

Solubility of Water in Liquid Hydrocarbons



Annexe



Annexe

Water Content of Hydrogen Sulfide

