

Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique
Département de chimie
Filière : Science de la matière

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master en chimie
Option : **Chimie appliquée**

Thème :

**Optimisation de la section déshydratation au niveau de
complexe GP2/Z (Adsorption par tamis moléculaire)**

Présenter par : **Krimo CHAMI**

Salah Eddine BENBEDRA

Devant le jury composé de :

Président :	Mr C.HARRATS	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	Mr A.KADI	MAA	Université de Mostaganem
Encadreur :	Mr A.BELHAKEM	Professeur	Université de Mostaganem

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu Dieu le tout puissant de nous avoir donné le souffle et l'aptitude pour mener à terme ce travail.

Nous exprimons notre plus profonde gratitude à Mr A.BELHAKEM qui nous encadrés et orientée, nous le remercions pour tous ses conseils, et son aide à progresser dans nos recherches grâce à son esprit critique et son soutien tout le long de la réalisation de ce modeste travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Grand merci aux membres du laboratoire et production de complexe GP2/Z pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail.

A celui qui fait de moi un homme, Ma très chère mère et mon très cher père.

A Mes chères sœurs et à mes frères

A toute ma famille CHAMI & SAIDI.

A notre Encadreur A.BELHAKEM .

*A tous mes amis: Aziz, Sofiane, Boubakeur, Foudhile,
Laid, Youcef, Malik, Tandjaoui, Abdennour, Abdelkadir,
Amine, Badr Eddine, Salah Eddine, Alaa Eddine,
Maammar, Zian et Chafie.*

A tous ceux qui sèment le bonheur sur mon chemin.

*A toutes les enseignantes et tous les enseignants de
département de chimie de la faculté des sciences
exactes et de l'informatique.*

A tous ceux que j'aime.

CHAMI Krimo

Dédicace

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail.

A celui qui fait de moi un homme, Ma très chère mère et mon très cher père.

A Ma chère sœur et à mes chers frères

*A toute ma famille **BENBEDRA & ZENAINI.***

*A notre Encadreur **A.BELHAKEM .***

*A tous mes amis: **Kaddour, Omar, Houari
Chaabane, Amine, Badr Eddine et Krimo.***

A tous ceux qui sèment le bonheur sur mon chemin.

A toutes les enseignantes et tous les enseignants de département de chimie de la faculté des sciences exactes et de l'informatique.

A tous ceux que j'aime.

BENBEDRA Salah Eddine

SOMMAIRE

Sommaire.....	I
Résumé.....	VI
Nomenclatures.....	VII
Liste des abréviations.....	IX
Liste des figures.....	X
Liste des tableaux.....	XI
INTRODUCTION GENERAL.....	1
Chapitre I	
I.1 INTRODUCTION.....	4
I.2 DEFINITION DU GPL.....	4
I.3 L'ORIGINE DES GPL.....	4
I.4 CARACTERISTIQUES DU GPL.....	5
I.5 L'UTILISATION DES GPL.....	5
Chapitre II	
II.1 INTRODUCTION.....	7
II.2 DEFINITION DE L'ADSORPTION.....	7
II.3 LES MODES DE DESHYDRATATION.....	7
II.3.1 DESHYDRATATION DU GPL PAR REFROIDISSEMENT.....	7
II.3.2 DESHYDRATATION PAR ABSORPTION (AVEC UN SOLVANT PHYSIQUE.....	8
II.3.3 DESHYDRATATION PAR ADSORPTION.....	8
II.3.3.1 déshydratation par adsorption dans un liquide.....	8
II.3.3.2 adsorption sur un agent dessicant solide.....	8
II.4 DESCRIPTION DU PHENOMENE D'ADSORPTION.....	9
II.4.1 ADSORPTION PHYSIQUE OU PHYSISORPTION.....	9
II.4.2 ADSORPTION CHIMIQUE OU CHIMISORPTION.....	9
II.4.3 PROCEDE D'ADSORPTION.....	10
II.4.4 LES TAMIS MOLECULAIRES.	11
II.4.5 ADSORPTION DYNAMIQUE.....	14
II.5 CONCEPT DE LA ZONE DE TRANSFERT DE MASSE.....	15
II.6 EFFET DES VARIABLES DE CONCEPTION DU LIT.....	16
II.6.1 VITESSE ET DIAMETRE DU LIT.....	17

II.6.2	TENEUR EN ADSORBAT DE L'EFFLUENT.....	17
II.6.4	LA PHASE LIQUIDE OU GAZEUSE.....	17
II.6.5	DIMENSIONS DES PARTICULES.....	18
II.7	EFFET DES VARIABLES DE PROCEDE.....	18
II.7.1	TEMPERATURE.....	18
II.7.2	PRESSION.....	18
II.7.3	TENEUR EN HUMIDITE DE LA CHARGE.....	18
II.7.4	DIRECTION DE L'ECOULEMENT.....	18
II.7.5	TYPE ET DIMENSION DU TAMIS.....	19
II.8	REGENERATION DES TAMIS MOLECULAIRES.....	19
II.8.1	PROPRIETES DE TAMIS MOLECULAIRE TYPE 4A-DG TRISIV™ 1/8”.....	19
II.8.2	AUGMENTATION DE LA TEMPERATURE.....	20
II.8.3	DIMINUTION PAR VARIATION DE PRESSION.....	20

Chapitre III

III.1

INTRODUCTION.....	22
--------------------------	-----------

III.2 PRESTATION DU COMPLEXE GP2/Z.....	22
--	-----------

III.4 SCHEMA D'IMPLANTATION DES EQUIPEMENTS.....	23
---	-----------

III.5 LES PRINCIPALES SECTIONS DU COMPLEXE.....	24
--	-----------

III.6 DESCRIPTION DE LA SECTION DE DESHYDRATATION DE GPL.....	24
--	-----------

III.6.1 DESCRIPTION DE L'OPERATION D'ADSORPTION	25
--	-----------

III.6.1.1 Coalesceur 440/6203.....	25
---	-----------

III.6.1.2 Sécheurs (adsorbeurs) 440/6202A/B.....	25
---	-----------

III.6.1.3 Élément filtrant 440/6205 A/B.....	26
---	-----------

III.6.2 Description de l'opération de régénération	27
---	-----------

Chapitre IV

IV.1 INTRODUCTION.....	33
-------------------------------	-----------

IV.2 BUT.....	34
----------------------	-----------

IV.3 CONSTITUTION D'UN DESHYDRATEUR DE CHARGE.....	35
---	-----------

IV.3.1 FICHE TECHNIQUE DU TAMIS.....	35
---	-----------

IV.4 LA THEORIE DE CALCUL.....	36
---------------------------------------	-----------

IV.4.1 LE BILAN ENERGETIQUE.....	36
---	-----------

IV.4.1.1 Calcul de la quantité totale de chaleur nécessaire à la régénération.....	36
---	-----------

IV.4.1.2	Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q_{deshy}	36
IV.4.1.3	Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis.....	36
IV.4.1.4	Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier Q_{acier}	36
IV.4.1.5	Calcul des pertes de chaleur Q_{perte}	36
IV.4.1.6	Calcul de la température du lit « T ».....	36
IV.4.1.7	Calcul de la chaleur H_f fournie par le four.....	36
IV.4.1.8	Calcul du temps de réchauffage du tamis moléculaire « t_r ».....	37
IV.4.1.9	Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle $H\left(\frac{f}{cycle}\right)$	37
IV.4.1.10	Calcul du temps de refroidissement du tamis « t_{ref} ».....	37
IV.4.1.11	Calcul de la chaleur soutirée au système Q_{ref}	37
IV.4.2	LE BILAN DE MATIERE DE LA REGENERATION.....	33
IV.4.2.1	Calcul du débit du gaz de refroidissement.....	37
IV.4.2.2	Calcul de la chute de pression.....	37
IV.4.2.3	Calcul du nombre de Reynolds.....	38
IV.5	DIMENSIONNEMENT DU SECHEUR DE LA SECTION.....	38
IV.5.1	PROPRIETE DU GPL.....	38
IV.5.2	COMPOSITION DE LA CHARGE.....	38
IV.5.3	DIMENSIONNEMENT D'UN DESHYDRATEUR.....	39
IV.6	CALCUL DE LA QUANTITE D'EAU ADSORBEE (BILAN DE MATIERE).....	40
IV.6.1	CALCUL DE LA VITESSE ACTUELLE D'ECOULEMENT.....	40
IV.6.2	CALCUL DE DEBIT D'EAU.....	40
IV.6.3	CALCUL DE LA HAUTEUR DE LA ZONE DE TRANSFERT DE MASSE.....	40
IV.6.4	CALCUL DE LA HAUTEUR DE LA ZONE D'EQUILIBRE.....	40
IV.6.5	ESTIMATION DE LA CAPACITE D'ADSORPTION A L'EQUILIBRE.....	40
IV.6.6	ESTIMATION DE LA QUANTITE REELLE D'EAU ADSORBEE PAR 100 LB DE DESSICANT.....	41
IV.6.7	ESTIMATION DE LA QUANTITE D'EAU ABSORBEE M_{ads}	41
IV.6.8	CALCUL DU TEMPS D'ADSORPTION.....	41
IV.6.9	DETERMINATION DE L'EFFICACITE D'ADSORPTION.....	41
IV.7	CALCUL DU BILAN THERMIQUE.....	42

IV.7.1	PROPRIETE DU GAZ DE REGENERATION.....	42
IV.7.2	CALCUL DU COEFFICIENT DE COMPRESSIBILITE (Z) A TEMPERATURE DE 280 ET 22 °C.....	42
IV.7.2.1	Le gaz naturel de réchauffage (280 °C).....	42
IV.7.2.2	Le gaz naturel de refroidissement (22 °C).....	42
IV.7.3	CALCUL DA LA MASSE VOLUMIQUE DU GN A TEMPERATURE DE 280 ET 22 °C.....	43
IV.7.4	CALCUL DE LA MASSE DU TAMIS m_t	43
IV.7.5	CALCUL DE LA TEMPERATURE MOYENNE DU LIT EN FIN DE CHAUFFAGE T'.....	44
IV.7.6	CALCUL DE Q_{tamis}	44
IV.7.8	CALCUL DE Q_{acier}	44
IV.7.9	CALCUL DE Q_{deshy}	44
IV.7.10	CALCUL DE Q_{perte}	45
IV.7.11	CALCUL DE Q_{totale}	45
IV.7.12	CALCUL DE LA CAPACITE CALORIFIQUE MOYENNE DU GAZ.....	45
IV.7.13	CALCUL DE LA CHALEUR L'ECONOMISEUR PAR LE FOUR H_f	45
IV.7.14	CALCUL DU TEMPS DE RECHAUFFAGE DU TAMIS « TR ».....	46
IV.7.15	CALCUL DE LA CHALEUR FOURNIE PAR L'ECONOMISEUR PAR CYCLE..	47
IV.7.16	CALCUL DU TEMPS DE REFROIDISSEMENT DU TAMIS « T _{REF} ».....	48
IV.7.17	CALCUL DE LA CHALEUR SATUREE Q_{ref}	48
IV.8	CALCUL DU BILAN DE MATIERE DE LA REGENERATION.....	48
IV.8.1	CALCUL DU DEBIT DU GAZ DE REFROIDISSEMEN.....	48
IV.8.2	CALCUL DES PERTES DE CHARGES.....	48
IV.8.2.1	Calcul de la vitesse superficielle U_1 à travers le lit pour le GN chaud.....	48
IV.8.2.2	Calcul de la vitesse superficielle U_2 à travers le lit pour le GN froid.....	48
IV.8.2.3	Calcul de la perte de charge $\frac{\Delta P}{L_1}$ pour le GN chaud.....	49
IV.8.2.4	Calcul du nombre de Reynolds.....	49
IV.8.2.5	Calcul de la perte de charge $\frac{\Delta P}{L_2}$ pour le GN froid.....	49

IV.8.2.6	Calcul du nombre de Reynolds.....	49
IV.9	RECAPITULATION DES RESULTATS.....	50
IV.10	LA PROLONGATION DU TEMPS D'ADSORPTION.....	51
IV.10.1	CALCUL DU TEMPS D'ADSORPTION.....	51
IV.10.1.1	Calcul de débit d'eau.....	51
IV.10.1.2	Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse.....	51
IV.10.1.3	Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre.....	51
IV.10.1.4	Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 25 Lb de dessicant M_{ads}	51
IV.10.1.5	Détermination de l'efficacité d'adsorption.....	52
IV.10.2	CALCUL DU BILAN THERMIQUE.....	52
IV.10.3	CALCUL DU BILAN DE MATIERE DE LA REGENERATION.....	52
IV.11	LA REDUCTION DU TEMPS D'ADSORPTION.....	55
IV.11.1	CALCUL DE LA HAUTEUR DE LA ZONE D'EQUILIBRE.....	55
IV.11.2	CALCUL DE LA HAUTEUR NON UTILISEE H'	55
IV.11.3	DETERMINATION DE L'EFFICACITE D'ADSORPTION.....	56
IV.11.4	CALCUL DU BILAN THERMIQUE.....	56
IV.11.5	CALCUL DU BILAN DE MATIERE DE LA REGENERATION.....	58
IV.12	INTERPRETATION DES RESULTATS.....	59
Chapitre V		
V.1	INTRODUCTION.....	62
V.2	INTERPRETATION ECONOMIQUE DES RESULTATS DE LA SOLUTION OPTIMALE.....	62
V.3	NOMBRE DES CYCLES.....	62
V.4	LE GAIN REEL ECONOMISE.....	63
V.4.1	FUEL GAZ CHAUD.....	63
V.4.2	FUEL GAZ DE FROID.....	63
V.5	RECAPITULATION DES RESULTATS.....	64
V.6	CONCLUSION.....	64
	CONCLUSION GENERALE.....	66

Référence et bibliographiques

Annexe

Résumé

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

Suite à la qualité de la charge de GPL de complexe GP2/Z et la variation de la teneur en eau. Dans ce travail, nous étudions l'optimisation de la section de la déshydratation de GPL par tamis moléculaire (adsorption) pour avoir une meilleure exploitation des tamis et l'augmentation de la durée d'utilisation de ces derniers.

Mot clés : Gaz, déshydratation, tamis moléculaire, déshydrateur, adsorption.

Summary

The presence of water in the natural gas may causes problems in treatment and transport as well, so, several types of dehydration should be applied in order to avoid these problems.

To the see the quality of GPL chargement of GP2/Z complex and the the variation of water teneurs. In this work, we study the optimizing of the LPG section dehydration and molecular sieves to have a better exploitation of molecular sieves and also the increasement of their last time use.

Key words: Gas, dehydration, molecular sieves, dehydrator, adsorption.

ملخص

وجود الماء في الغاز الطبيعي يسبب عدة مشاكل أثناء عملية المعالجة وكذلك أثناء النقل, ولأجل تجنب هذه المشاكل نستعمل عدة أنواع لتجفيف الغاز

تتبعاً لنوعية كمية الغاز البترولي المميع للمركب البترولي GP2/Z وتغيرات كمية الماء, قمنا بدراسة حول تحسين المقطع الخاص بتجفيف الغاز عن طريق استعمال الغربال الجزيئي (عملية الادمصاص) وكيفية الاستغلال لهذا الأخير بطريقة جيدة ومع زيادة وقت استعماله.

الكلمات المفتاحية: الغاز, تجفيف الغاز, شحنة الغربال الجزيئي, مجفف الغاز, الادمصاص

NOMENCLATURE

N°	Symbole		Unité
01	ΔH	Chaleur de désorption de l'eau	kcal/kg
02	T	la température finale du sécheur après le réchauffage	°K
03	T_s	la température de la sortie au sécheur	°K
04	T_e	la température de l'entrée au sécheur	°K
05	M_g	Le débit de GN	kg/h
06	$C_{Pg, moy}$	la capacité calorifique du GN	Kcal/Kmole.°K
07	T_{ads}	la température initiale du sécheur avant le réchauffage	°K
08	ρ_{GPL}	Masse volumique de la charge	Lb/ft ³
09	ρ_{tamis}	Masse volumique du dissicant	Lb/ft ³
10			
11	D_{min}	Diamètre minimum du lit de tamis	ft
12	D_L	le diamètre de lit	ft
13	C	concentration empirique	
14	H_s	La hauteur de la zone d'équilibre	ft
15	H_z	La longueur de la zone de transfert de masse	ft
16	Q	débit volumique de la charge	ft ³ /hr
17	Y_{in}	la teneur en eau à l'entrée du déshydrateur	ppm
18	H_t	la hauteur totale du lit	ft
19	X_s	la capacité d'adsorption à l'équilibre	////
20	X_1	la teneur en eau résiduelle	/////
21	P	la pression du travail	Psia
22	S_{ext}	la surface externe de sécheur	ft ²
23	S_{int}	la surface interne de sécheur	ft ²
24	Q_i	le débit du GN sortant du l'économiseur	°K
25	T_i	la température du GN à la sortie du l'économiseur	°K
26	T_e	la température du GN à l'entrée du l'économiseur	°K
27	m_t	la masse totale du tamis moléculaire	Lb
28	C_{Pt}	la capacité calorifique du tamis	BTU/Lb. °F
29	C_{PC}	la capacité calorifique de l'acier	LTU/Lb.°F
30	m_c	la masse totale de l'acier	Lb
31	G	vitesse massique de l'écoulement de fluide	Lb/ft ² .hr
32	$\Delta P/L$	La perte de charge	////
33	Mads	Quantité d'eau adsorbée	hr
34	Hf/cycle	La chaleur fournie par l'économiseur par cycle	BTU/h
35	Hf	La chaleur fournie par l'économiseur	

36	<i>EFF</i>	L'efficacité thermique durant la régénération	////
37	<i>VIS</i>	La viscosité du GN	Lb/ ft
38	t_r	Le temps de réchauffage	h
39	t_{ref}	Le temps de refroidissement	h
40	M_{ref}	Débit du gaz de refroidissement	Lb/h
41	R_e	Nombre de Reynolds	////
42	H'	La hauteur non utilisée	ft
43	E_{tot}	La chaleur totale fournie par l'économiseur	BTU/h
44	U	La vitesse superficielle	ft/min
45	Ge'	Gain économique de gaz de chaud	\$
46	Ge''	Gain économique de gaz froid	\$
47	Ge	Gain économique totale par mois	\$

UNITE

Distance

1ft	0.3048m
-----	---------

Température

1°C	33.8 °F
-----	---------

	273 °K
--	--------

Masse

1Lb	0,45359237 kg
-----	---------------

Volume

1ft ³	0,028316846592 m ³
------------------	-------------------------------

	28,316846592 litre
--	--------------------

Pression

1 bar	100000 pascal
-------	---------------

	14,5037737730209 PSI
--	----------------------

	0,986923266716013 atm
--	-----------------------

Liste des abréviations

XV	Vanne tout ou rien
HV	Hand valve
LSL	Level switch low
LSH	Level switch high
PIC	Indicateur contrôle de pression
TIC	Indicateur contrôle de température
FIC	Indicateur contrôle de débit
TI	Indicateur de température
TV	Transmetteur de température
PI	Indicateur de pression
PV	Vanne de pression

Liste des figures

Tableau	page
Figure N° II.1 : Diffusion d'eau a l'intérieur des pores	10
Figure N° II.2 : Tamis moléculaire sous ses différentes	11
Figure N° II.03 : Tamis moléculaire et solution d'adsorption	12
Figure N° II.4 : La forme cristalline de Tamis moléculaire	12
Figure N° II.5 : Evolution de la zone de transfert de matière au cours de temps	15
Figure N° II.6 : Zone de transfert de matière	16
Figure N° III.1 : schéma d'implantation des équipements de complexe GP2/Z	23
Figure N° III.2 : section de déshydratation	24
Figure N° III.3 : Disposition du lit de l'adsorbeur 440/6202 A/B	26
Figure N° III.4 : Section de régénération	27
Figure N° IV.1 : courbe d'humidité de GPL pendant un mois	34
Figure N° IV.2 : Graphe d'analyse chromatographique	38
Figure N° IV.3 : l'adsorbeur avant et après de la déshydratation	56

Liste des tableaux

Tableau	page
Tableau N° II.1 : configurations de lit pour le séchage de l'air sur tamis moléculaire	17
Tableau N° II.2 : Les propriétés du tamis moléculaire TYPE 4A-DG TRISIV™ 1/8''	19
Tableau N° IV.1 : Les propriétés du tamis moléculaires	35
Tableau N° IV.2 : quantité des compositions de la charge GPL	38
Tableau N° IV.3 : poids et pourcentage molaire de la charge GPL	39
Tableau N° IV.4 : résume les résultats de calcul	41
Tableau N° IV.5 : la composition du gaz de régénération	42
Tableau N° IV.6 : variation de température du gaz de régénération	46
Tableau N° IV.7 : caractéristique du gaz de régénération	46
Tableau N° IV.8 : récapitulation des résultats	50
Tableau N° V.1 : récapitulation des résultats de gain économique	64



Introduction

Introduction générale

Introduction générale

Le gaz naturel est la source d'énergie fossile qui a connu la plus forte progression depuis les années 70. Elle représente le cinquième de la consommation énergétique mondiale.

Le gaz naturel utilisé dans différents domaines n'est pas tout à fait celui qui a été extrait du puits de production pour prétendre au titre de combustible. Le gaz naturel doit être sec, il ne contient ni eau ni hydrocarbure à l'état liquide. Débarrassé de ses composés acides ou de ses éléments toxiques, c'est la mission dévolue au traitement dont l'objet est par ailleurs de récupérer séparément, les hydrocarbures qui pourrait être commercialisés comme l'éthane, les GPL (gaz de pétrole liquéfiés) ou condensât.

L'eau et le gaz naturel sont intimement liés. Sous forme vapeur, l'eau n'est pas gênante.

A l'état de liquide elle corrode les canalisations, bloque les détendeurs par formation du givre (glace). Pour éviter cette multitude de problèmes on fait appel aux procédés de déshydratation basé sur différentes technologies de traitement, tels que, la déshydratation par absorption, séparation par membrane et adsorption par tamis moléculaires.

L'élimination de l'eau par la technologie des tamis moléculaires est le but de notre étude, au sein de complexe GP2/Z. Pour cela on a préféré étudier la méthode de calcul pour l'optimisation des cycles d'adsorption et régénération dans le but de prolonger la durée de vie des tamis. Étant donné que la charge actuelle est de 174 t/h au lieu de 160 t/h.

L'objectif de cette étude est l'optimisation des paramètres de fonctionnement de la section de déshydratation de l'unité de gaz GP2/Z, afin d'avoir une meilleure exploitation des tamis moléculaires et d'augmenter la durée d'utilisation de ces derniers.

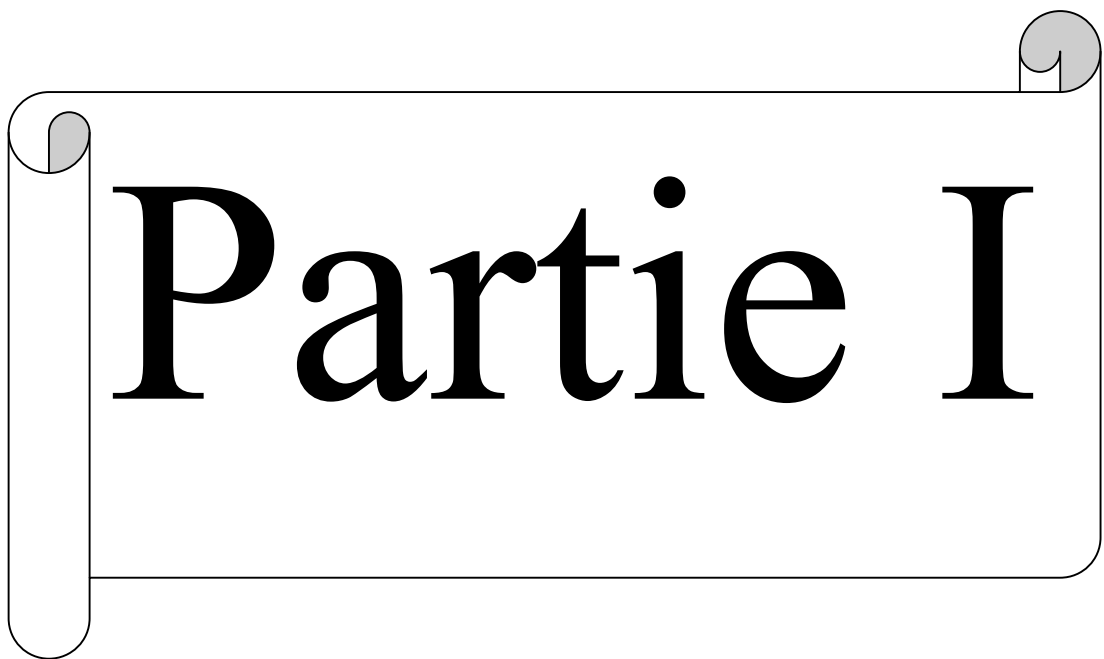
Une généralité sur le GPL est donnée au premier chapitre.

La déshydratation de GPL par adsorption est détaillée au deuxième chapitre.

Le troisième chapitre est consacré à description de section déshydratation du complexe GP2Z.

Le quatrième chapitre est réservé à la partie de calcul sur l'optimisation des cycles d'adsorption est pratique.

Enfin, nous terminerons ce document par une partie d'étude économique et une conclusion générale.

A decorative scroll graphic with the text "Partie I" written on it. The scroll is white with a black outline and features two grey circular elements at the top corners, resembling the ends of a rolled-up document. The text "Partie I" is centered on the scroll in a large, black, serif font.

Partie I



Chapitre I

I.1 INTRODUCTION

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

Pour ce qui est du pétrole algérien réputé pour sa haute qualité en raison de faible présence des impuretés tels que le soufre et les sels, la composition moyenne en général des GPL algériens se situe autour de 60% de propane contre 40% de butane (dépendant de la provenance des GPL) avec des traces d'eau.

I.2 DEFINITION DU GPL

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

Cette propriété permet de stocker dans un volume réduit (1m^3 de GPL liquide occupe un volume de 225 m^3 à l'état gazeux).

Les GPL appartiennent à la famille des paraffines et sont composés essentiellement du C_3H_8 , C_4H_{10} avec de faibles proportions de CH_4 , C_2H_6 , et C_5H_{12} .

I.3 L'ORIGINE DES GPL

Les gaz de pétrole liquéfiés sont obtenus principalement :

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

I.4 CARACTERISTIQUES DU GPL

Le GPL a les propriétés suivantes :

- a) Tension de vapeur : Soumis à des températures supérieures à leurs points d'ébullition, le propane et le butane ne peuvent être amenés à l'état liquide que sous pression ou par réfrigération (tension de vapeur à 20°C : butane = 2 bars, propane = 8 bars).
- b) Densité : A l'état gazeux, ils sont plus lourds que l'air ; la densité du propane égale 0.510 et celle du butane égale 0.580
- c) Dilatation : A l'état liquide, ils ont un coefficient de dilatation important dont il faut tenir compte lors de leur stockage.
- d) Pouvoir calorifique: Le GPL a un pouvoir calorifique élevé : Propane 12200 Kcal / Nm³ butane 11800 Kcal / Nm³
- e) Non toxique et inodore. Pour la détection des fuites ils sont odorisés par des composés à base de soufre appelés mercaptans.
- f) Etat gazeux à la température ambiante.
- g) Mise en bouteilles et transports faciles.
- h) Non corrosifs, Inflammables dans des limites relativement faibles.

I.5 L'UTILISATION DES GPL

Parmi les principales utilisations des GPL, on peut citer :

- ✚ La combustion ;
- ✚ La climatisation : deux principes peuvent être réalisés
 1. les GPL adsorbent la chaleur de l'environnement et créent du froid ;
 2. un moteur qui fonctionne aux GPL peut entrainer un compresseur qui comprime ce gaz, la détente absorbe de la chaleur et crée du froid.
- ✚ Matière première pour l'industrie, comme l'utilisation des GPL dans les centrales pour la création d'électricité.



Chapitre II

II.1 INTRODUCTION

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

Pour éviter ces phénomènes, il est nécessaire de réduire la teneur en eau du gaz naturel au moyen de techniques de traitement appropriées. Diverses méthodes ont été appliquées pour éviter l'obturation des conduites de transport ou des installations de traitement des GPL par les hydrates. La plus courante est la réduction de la teneur en eau par déshydratation.

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

II.2 DEFINITION 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 LES MODES DE DESHYDRATATION

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

✚ Déshydratation du GPL par refroidissement.

✚ Déshydratation du GPL par absorption.

✚ Déshydratation du GPL par adsorption :

1. déshydratation par adsorption dans un liquide.
2. adsorption sur un agent desséchant solide active.

II.3.1 DESHYDRATATION DU GPL PAR REFROIDISSEMENT

C'est une méthode utilisée pour contrôler simultanément les points de rosée d'eau et de GPL. La formation des hydrates pendant le refroidissement peut être inhibée par injection de glycol liquide ; l'éthylène glycol ; le diéthylène glycol. Ce dernier est le plus populaire à cause de son faible coût et du fait qu'il est le moins soluble dans les hydrocarbures liquides.

II.3.2 DESHYDRATATION PAR ABSORPTION (AVEC UN SOLVANT PHYSIQUE)

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

Les glycols sont recommandés pour absorber l'eau contenue dans le GPL. Les glycols qui peuvent être utilisés pour la déshydratation du gaz sont au nombre de quatre :

- Éthylène glycol
- Diéthylène glycol
- Triéthylène glycol
- Tetraéthylène glycol

II.3.3 DESHYDRATATION PAR ADSORPTION

II.3.3.1 Déshydratation par adsorption dans un liquide

Les solvants doivent répondre à certains critères

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

II.3.3.2 Adsorption sur un agent dessicant 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 thermodynamiques données.

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

II.4 DESCRIPTION DU PHENOMENE D'ADSORPTION

Quelque soit la nature des forces auxquelles il est soumis, un atome situé à la surface d'un solide se distingue d'un atome situé en profondeur du fait que la résultante des forces qui lui sont appliquées est différente de zéro.

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

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

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

Si on prolonge un adsorbant dans un fluide, la composition de ce dernier varie plus au moins vite jusqu'à atteindre une valeur d'équilibre. L'adsorption est un processus spontané toujours exothermique.

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

II.4.1 ADSORPTION PHYSIQUE OU PHYSISORPTION

Dans l'adsorption physique, la liaison entre adsorbant et l'adsorbât est due aux forces de VAN DER WAALS. Ces forces ne sont pas sélectives et s'exercent sur n'importe quelle substance, le processus est réversible.

On peut décrire à un couple adsorbant-adsorbât un cycle d'adsorption en passant par une suite d'états d'équilibre et récupérer l'adsorbant et le fluide dans leur état initial.

II.4.2 ADSORPTION CHIMIQUE OU CHIMISORPTION

Elle met en jeu des liaisons chimiques engendrées par des forces attractives de nature chimique. Lorsqu'elle intervient, il y a transfert ou mise en commun d'électrons et par conséquent destruction de l'individualité des molécules contrairement à la physisorption.

L'énergie mise en jeu est beaucoup plus élevée (en générale plus de 10 kcal/mole).

On outre, cette adsorption est sélective comme l'est une réaction chimique qui est généralement irréversible. La désorption est difficile et le résultat est fréquemment une combinaison chimique de l'adsorbât avec l'adsorbant.

Notons aussi ; qu'au cours de ce processus, la surface se garnit au maximum de recouvrement d'une couche mono-moléculaire d'adsorbât.

II.4.3 PROCEDE D'ADSORPTION

Il existe quatre agents desséchants importants utilisés :

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

Tout atome ou molécule qui s'approche d'une surface subit une attraction qui peut conduire à la formation d'une liaison entre la particule et la surface : ce phénomène constitue l'adsorption, à ne pas confondre avec l'absorption qui se produit lorsque les molécules adsorbées pénètrent au cœur du solide ou du liquide adsorbant.

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

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

C'est ce que nous appelons phénomène de « concentration capillaire ».

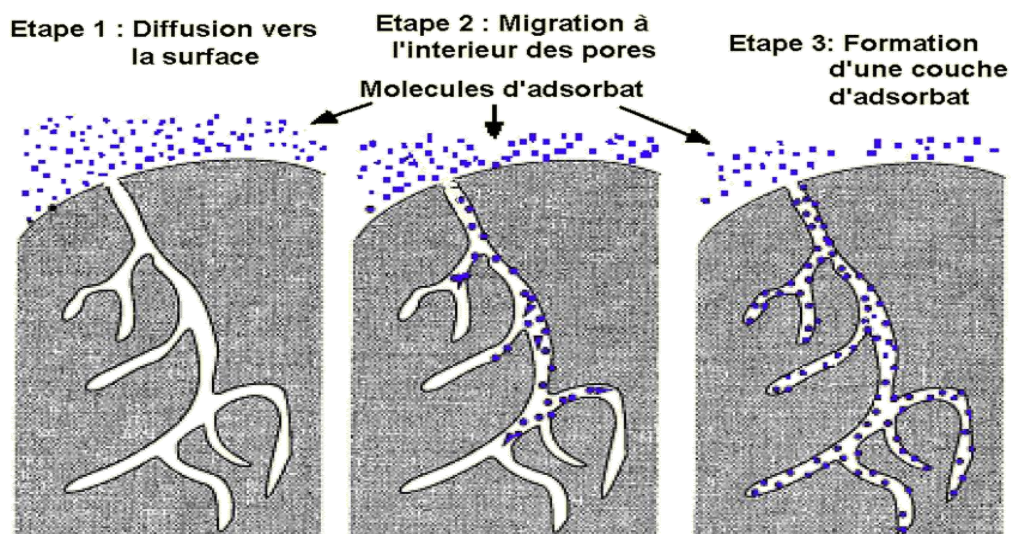


Figure N° II.1 : Diffusion d'eau à l'intérieur des pores

Cette force de condensation est si puissante qu'elle peut extraire de l'eau d'un courant au dessus de son point d'ébullition et le condenser en phase liquide à l'intérieur des pores.

Dans le complexe GP2/Z l'agent desséchant utilisé c'est les Tamis moléculaire.

II.4.4 LES TAMIS MOLECULAIRES

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

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



Figure N° II.2 : Tamis moléculaire sous ses différentes

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

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

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

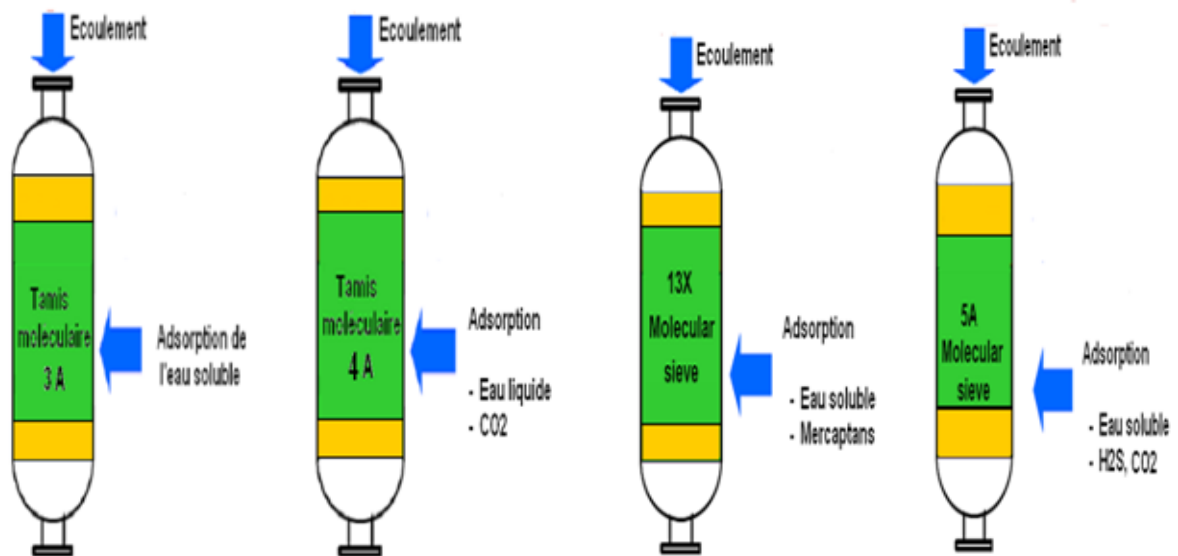
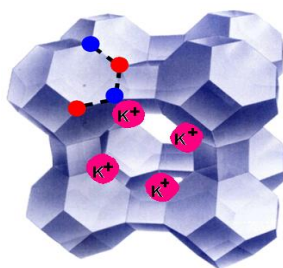
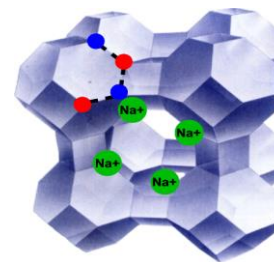


Figure N° II.03 : Tamis moléculaire et solution d'adsorption

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



Tamis moléculaire 3A



Tamis moléculaire 4A

Figure N° II.4 : La forme cristalline de Tamis moléculaire

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Les tamis moléculaires, ayant des propriétés constantes : tels que les données d'équilibre qui se représentent sous forme d'une isotherme (figure de l'annexe 01), représentent une relation d'équilibre existant entre le fluide et le solide.

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

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

- ✚ Les caractéristiques principales d'un tel procédé sont les suivantes :
- ✚ La concentration en H₂O doit être faible ;
- ✚ Il est peu recommandé pour les grands débits de charge ;
- ✚ Le pourcentage résiduel d'eau est très faible ;
- ✚ Il nécessite un fonctionnement discontinu ;
- ✚ La présence de COS et CS₂ est nuisible ;
- ✚ L'adsorbant est un produit cher et doit être remplacé tous les 3 ans.

Remarque

Les tamis moléculaire utiliser dans le traitement du gaz au niveau du GP2Z sont les tamis UOP type 4A-DG TRISIV 1/8". Sa formule chimique est Na₁₂.(AlO₂)₁₂.(SiO₂)₁₂.H₂O

APPLICATION

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

II.4.5 ADSORPTION DYNAMIQUE

L'adsorption est un phénomène de surface qui correspond à la fixation des molécules d'un fluide à la surface d'un solide. Les solides poreux, qui présentent une grande porosité interne et dont la surface développée de support est de l'ordre de plusieurs centaines de m²/gr de par leur structure cristalline à pores de dimensions bien déterminées, ont une sélectivité d'adsorption maximale.

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

II.5 CONCEPT DE LA ZONE DE TRANSFERT DE MASSE

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

- ✚ En amont de la zone de transfert, l'adsorbant est saturé ;
- ✚ En aval, l'adsorbant est vierge ou régénéré, est prêt à travailler ;
- ✚ L'importance de la zone de transfert de masse dépend principalement :
 1. de la cinétique d'adsorption de l'adsorbât ;
 2. des caractéristiques thermodynamiques de fluide ;
 3. de la vitesse linéaire superficielle ;
 4. du type, de la forme et de la granulométrie du tamis moléculaire ;
 5. des concentrations d'entrées et de sortie.

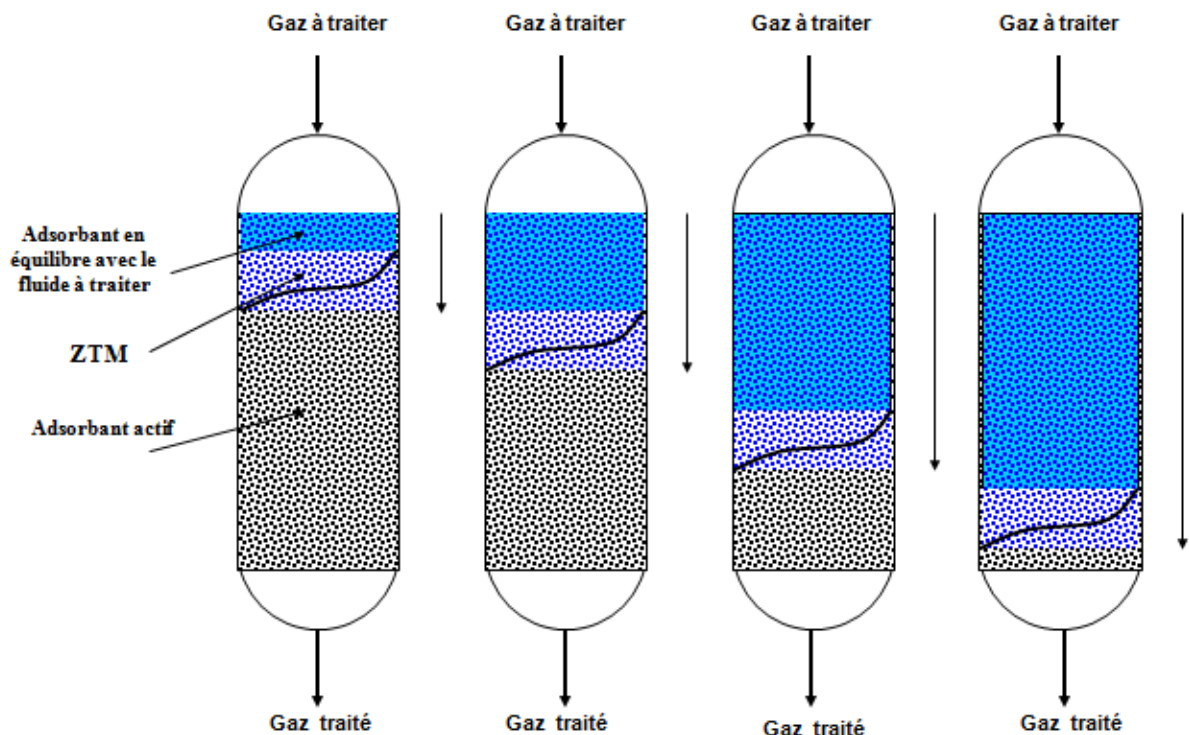


Figure N° II.5 : Evolution de la zone de transfert de matière au cours de temps

Le front d'adsorption se déplace régulièrement dans la couche d'adsorbant, de l'entrée à la sortie durant une période d'adsorption au terme de laquelle l'épuration n'est plus assurée. Il faut alors procéder à la régénération de l'adsorbant par désorption de l'adsorbat. La vitesse de déplacement du front d'adsorption est en fonction du taux de chargement en adsorbat, de l'adsorbant, et du débit d'adsorbat.

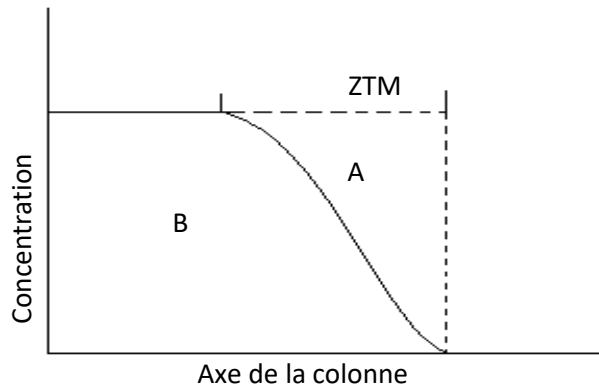


Figure N° II.6 : Zone de transfert de matière

La zone A est proportionnelle à la capacité adsorbante inutilisée. Un meilleur transfert de masse réduit la ZTM (et A) et améliore l'efficacité du procédé d'adsorption et le transfert de masse dans la colonne d'adsorption.

II.6 EFFET DES VARIABLES DE CONCEPTION DU LIT

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

La section d'entrée du lit est très rapidement saturée d'eau, si bien que l'eau entrant dans le lit passe à travers cette section comme si elle n'existait pas pour atteindre la zone de transfert de masse ; cette zone saturée continue à augmenter au fur et à mesure qu'elle se remplit d'eau et se déplace vers le haut du lit ; poussant la zone de transfert avec elle.

Lorsque la zone de zone transfert atteint la sortie du lit ; Ceci est défini comme le point de saturation ou « Breakthrough ».

La longueur de la zone de transfert est très importante dans le calcul de l'efficacité d'un système d'adsorption.

La zone de transfert doit être aussi courte que possible parce que la charge d'eau dans la zone de transfert est faible comparé à la zone de saturation ; donc le lit le plus efficace sera un lit mince et haut.

En outre plusieurs facteurs affectent la conception des adsorbants par exemple :

II.6.1 VITESSE ET DIAMETRE DU LIT

En général, les lits longs et de faibles diamètres sont plus efficaces que les lits courts de grands diamètres.

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

Tableau N° II.1 : configurations de lit pour le séchage de l'air sur tamis moléculaire

Tamis Moléculaire Lb	Capacité utile adsorption d'eau %	Diamètre du lit FT	Haut du lit FT	Chute de P FT
8900	10	4.5	12.1	4.3
9610	9.3	6	7.4	0.9
10200	8.7	7	5.8	0.4

II.6.2 TENEUR EN ADSORBAT DE L'EFFLUENT

La capacité utile du lit adsorbant dépend en outre de la teneur en adsorbât désirée dans l'effluent. Puisque la longueur de la zone de transfert de masse augmente lorsque l'on désire diminuer la concentration de l'effluent.

Une faible concentration en adsorbât se traduit par de faible capacité d'adsorption

II.6.3 CHARGE D'ADSORBAT

La quantité d'adsorbât présente dans le lit au début de la période d'adsorption affecte la capacité dynamique, plus la charge d'adsorbât résiduelle est élevée, plus la capacité est faible.

II.6.4 LA PHASE LIQUIDE OU GAZEUSE

Ce sont les phases dans lesquelles opèrent les agents adsorbants ; influençant de manière importante la longueur de la zone de transfert de masse.

Le taux d'adsorption d'une phase liquide est inférieur souvent par un facteur de dix ou plus, les vitesses superficielles du fluide dans les systèmes liquides doivent être relativement faibles afin de maintenir la longueur des colonnes et des zones de transfert à des valeurs raisonnables.

II.6.5 DIMENSIONS DES PARTICULES

Une petite partie a un taux d'adsorption plus important qu'une grande particule, les dimensions des particules influencent la longueur de la zone de transfert de masse et de la distribution des fluides d'adsorption et de régénération.

II.7 EFFET DES VARIABLES DE PROCEDE

II.7.1 TEMPERATURE

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

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

II.7.2 PRESSION

En général, l'efficacité de l'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.7.3 TENEUR EN HUMIDITE 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 (fig. de l'annexe).

II.7.4 DIRECTION DE L'ECOULEMENT

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

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

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

II.7.5 TYPE ET DIMENSION DU TAMIS

Le tamis moléculaire utilisé pour la déshydratation du GPL est de type 4°A. Ce dessicant adsorbe les molécules ayant un diamètre effectif inférieur à 4°A y compris H₂S, CO₂, 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.

II.8 REGENERATION DES TAMIS MOLECULAIRES

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

II.8.1 PROPRIETES DE TAMIS MOLECULAIRE TYPE 4A-DG TRISIV™ 1/8''

Tableau N° II.2 : Les propriétés du tamis moléculaire TYPE 4A-DG TRISIV™ 1/8''.

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

** kg H₂O/100kg d'adsorbant activé à 24 bar, 25 °C

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

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

II.8.2 AUGMENTATION DE LA TEMPERATURE

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

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

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

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

II.8.3 DIMINUTION PAR VARIATION DE PRESSION

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

REMARQUE

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



Chapitre III

III.1 INTRODUCTION

Créée le 31 décembre 1963, la Société Nationale pour le Transport et la Commercialisation des Hydrocarbures « SONATRACH », a pour mission de gérer et valoriser le domaine minier national des hydrocarbures. Son domaine d'activité touche l'exploration, la production, le transport, la transformation et la commercialisation.

Cependant, sa dénomination sociale a été modifiée par le décret présidentiel n° 98-48 du 11 février 1998, portant sur le nouveau statut de la société nationale pour la recherche, la production, le transport et la commercialisation des hydrocarbures.

Le gaz du pétrole liquéfié est un mélange gazeux, composé essentiellement de Butane et Propane à température ambiante et pression atmosphérique, mais il peut demeurer à l'état liquide sous des pressions relativement basses (4 -18 bars). Ceci, présente l'intérêt de stocker une importante quantité d'énergie dans un volume réduit (1 litre de GPL liquide égal 250 litres de GPL gazeux), ce qui permet de le transporter plus facilement que pour les gaz non condensables (Méthane, éthane) qui exigent des pressions très élevées, et de le commercialiser aisément, dans des bouteilles en acier. Il se gazéifie au moment de son utilisation.

Le GPL produit dans les unités du sud notamment HASSI MESSAOUD et HASSI RMEL qui constituent le principe source, est transporté à l'aide d'un oléoduc d'une longueur de l'ordre de 900KM.

III.2 PRESTATION DU COMPLEXE GP2/Z

Le complexe GP2Z est situé au niveau de la zone industrielle d'Arzew. Il a été construit en 1973 par Société Nationale pour le Transport et la Commercialisation des Hydrocarbures « SONATRACH » en collaboration avec le constructeur anglais John Brown. Le complexe s'étend sur une superficie de 13.50 Hectares. Sa principale fonction est le traitement par séparation du GPL pour la production du propane et du butane commercial.

Le complexe GP2/Z comporte deux trains (semi-modulaires) et un en arrêt, utilisant le procédé de distillation sous pression pour produire du propane et du butane. Construit à l'origine pour traiter une charge composée d'un mélange GPL/condensât.

III.4 SCHEMA D'IMPLANTATION DES EQUIPEMENTS

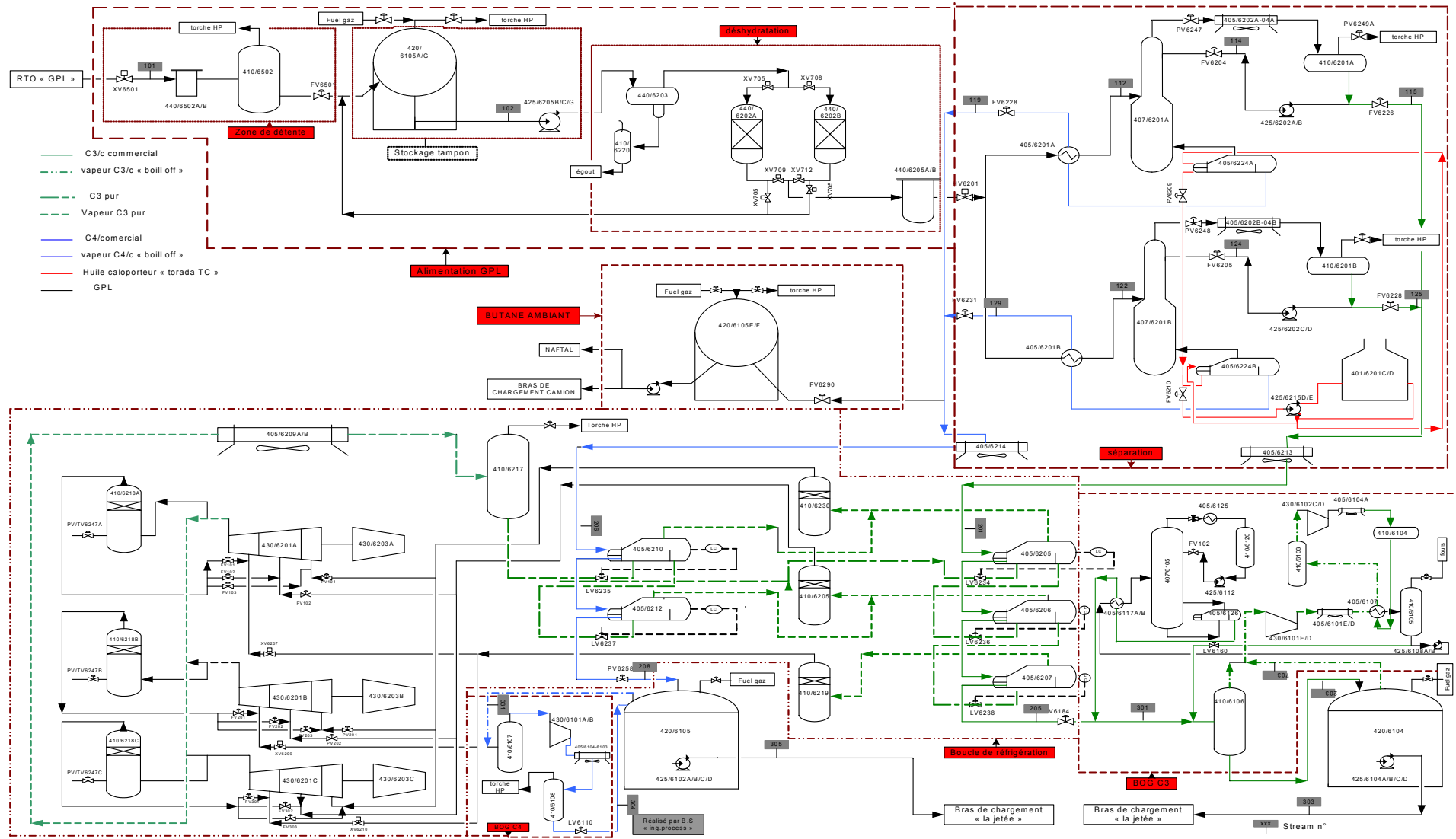


Figure N° III.1 : schéma d'implantation des équipements de complexe GP2/Z

III.5 LES PRINCIPALES SECTIONS DU COMPLEXE

- Section de réception.
- Section de détente.
- Section stockage tampon
- Section déshydratation
- Section séparation
- Section réfrigération
- Section stockage

III.6 DESCRIPTION DE LA SECTION DE DESHYDRATATION DE GPL

L'unité est constituée des équipements suivants:

- un coalesceur 440/6203
- deux sécheurs 440/6202A/B (. L'adsorbant utilisé pour le séchage est le tamis moléculaire UOP MOLSIV 4A (1/8").
- un refroidisseur de gaz de régénération 405/6229
- un séparateur de gaz de régénération 405/6214
- deux filtres 440/6205 A/B

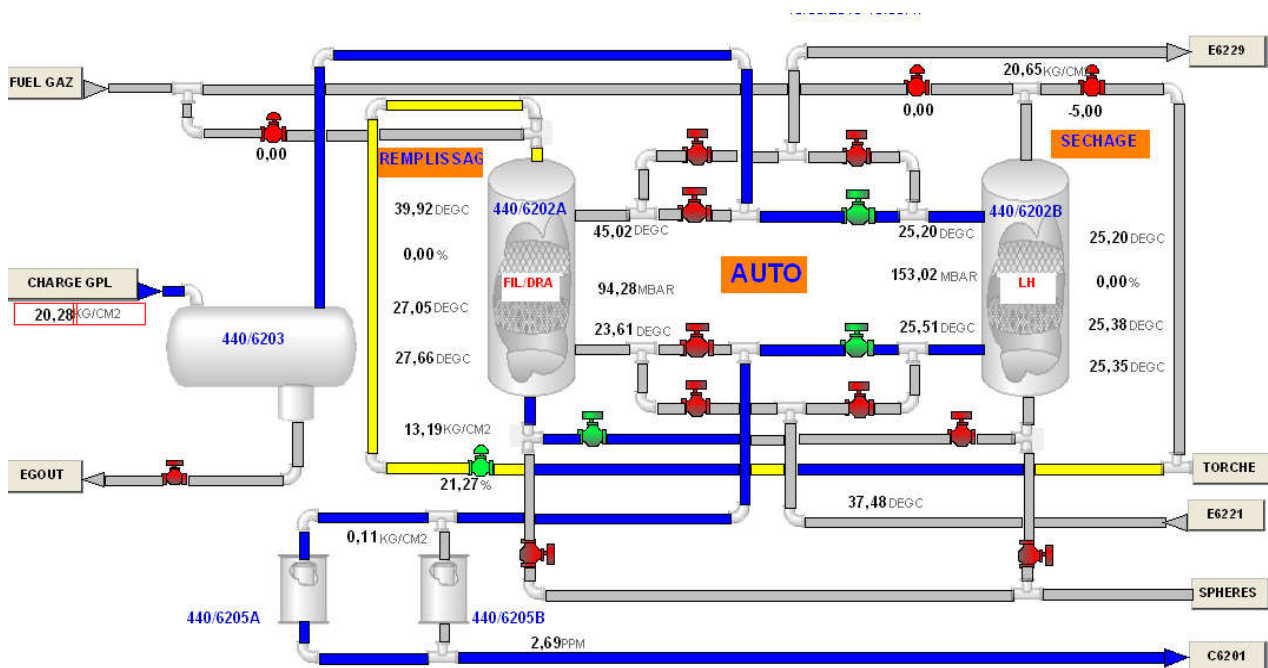


Figure N° III.2 : section de déshydratation

III.6.1 DESCRIPTION DE L'OPERATION D'ADSORPTION

III.6.1.1 Coalesceur 440/6203

La charge d'alimentation de GPL est alimentée au coalesceur; Le principe de fonctionnement du coalesceur est comme suit :

C'est un séparateur à 4 cartouches de fibres de 120 '' chacun séparant les gouttelettes d'eau dont la taille est supérieure à 10 micromètres. Ces gouttelettes d'eau se joignent et se forment à plus grandes gouttelettes dans le filtre coalescent, et elles sont séparées par gravitation.

La séparation est généralement réalisée par les éléments filtrants à 3 étapes par émulsion à 2 phases immiscibles : (collection, coalescence et séparation par gravité).

L'interface entre l'eau et GPL dans le pot de purge est contrôlée entre le niveau bas LSL702 et le haut niveau LSH7036. L'eau séparée est évacuée du pot de purge du coalesceur de la charge au pot d'étanchéité 440/6220. le débit de décharge est limité par RO701 pour empêcher le débit excessif.

Le pot d'étanchéité sépare la vapeur dissoute dans l'eau pour dégager la vapeur à l'atmosphère à une hauteur suffisamment élevée, tandis que l'eau est drainée vers égout.

III.6.1.2 Sécheurs (adsorbours) 440/6202A/B

La charge d'alimentation GPL issue du coalesceur passe dans le déshydrateur (sécheur) en cycle d'adsorption et elle s'écoule de haut vers le bas en traversant le lit de tamis moléculaire. A la sortie de ce dernier la teneur en eau dans la charge est inférieure à 1ppm en poids.

La disposition du lit du tamis moléculaire des adsorbours 440/6202A/B est comme suite :

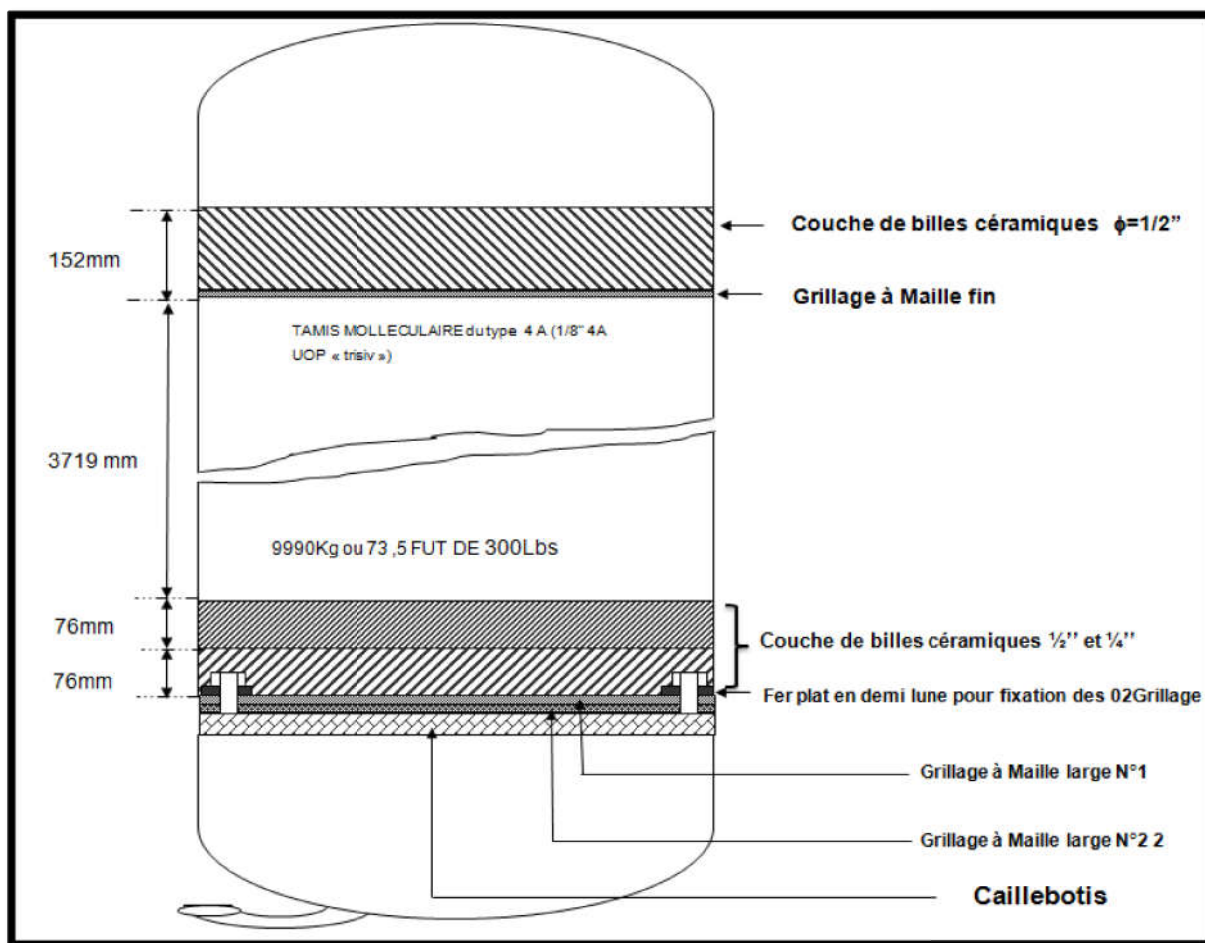


Figure N° III.3 : Disposition du lit de l'adsorbent 440/6202 A/B

III.6.1.3 Élément filtrant 440/6205 A/B

Après achèvement de l'opération de séchage, la charge GPL passe à travers les filtres 440/6205 A/B pour l'élimination des particules solides provenant du lit de tamis.

Le bouchage des éléments filtrants est détecté par l'indicateur de pression différentielle PDI 704 pour informer l'exploitation de la nécessité de nettoyage.

L'analyseur d'humidité (MRE-700) dont les points de prélèvement sont situés en amont et en aval du coalesceur et en aval du filtre assure la surveillance sur la teneur d'eau dans la charge. Les trois prélèvements sont sectionnés par commande manuelle.

Si l'opération de la Section de déshydratation commence par la séquence d'adsorption, la teneur en eau dans la charge d'alimentation GPL et/ou le produit C3 doit être surveillée soigneusement pour éviter le problème de la formation de givrage et/ou d'hydrates dans le système de basse température. La charge GPL déshydratée et filtrée est fournie à la section de séparation.

Chapitre III Description de section déshydratation du complexe GP2Z

La vanne d'arrêt à commande à distance XV 6201 qui est actionnée par le système ESD est installée avant la section de séparation afin d'isoler la section de déshydratation.

III.6.2 DESCRIPTION DE L'OPERATION DE REGENERATION

La régénération du lit se fait par les étapes suivantes :

Drainage	180 min
Dépressurisation	5 min
Chauffage :	810 min
Refroidissement :	540 min
Pressurisation :	5 min
Remplissage :	120 min
Stand by	1100 min
En attente :	60 min

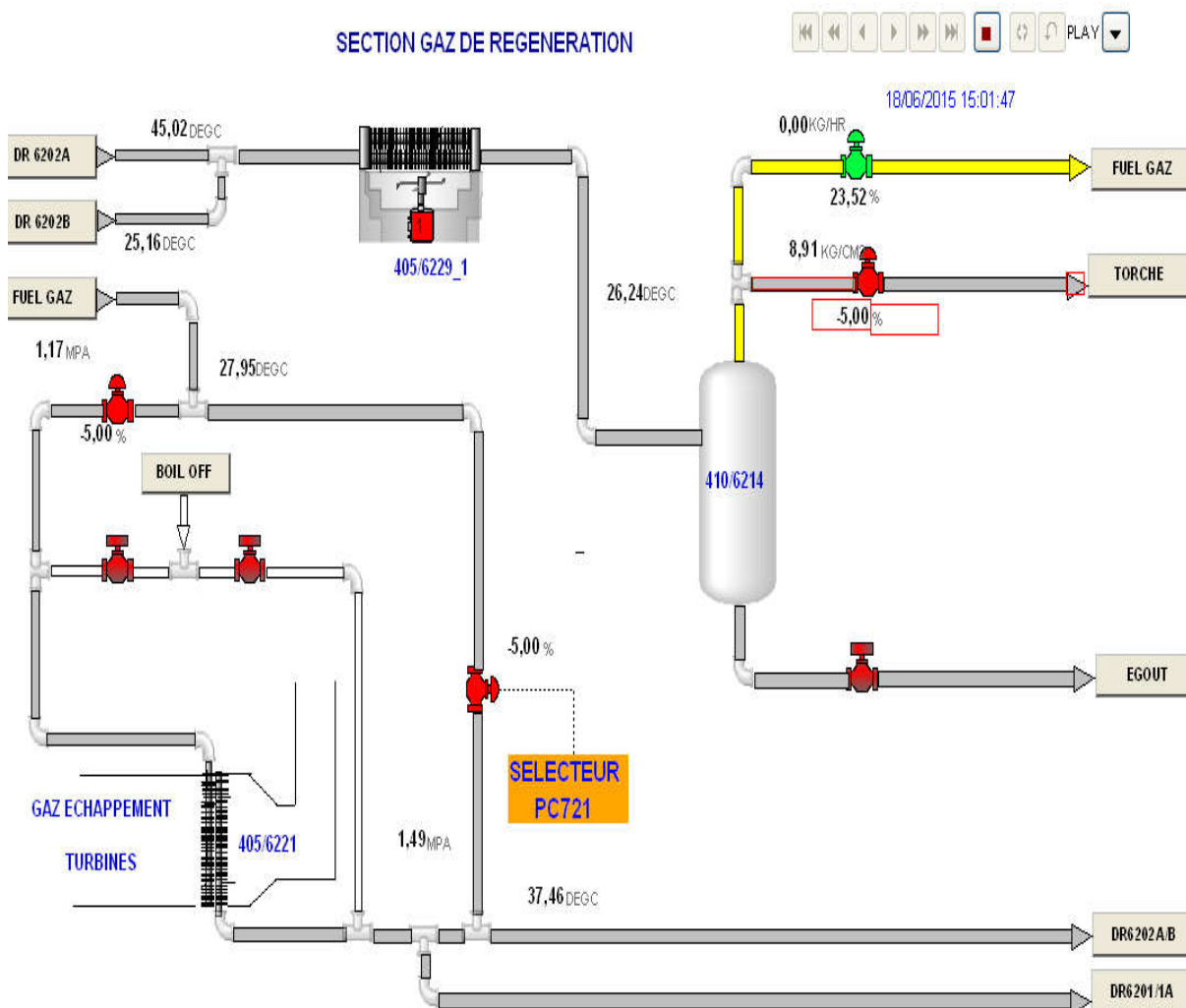


Figure N° III.4 : Section de régénération

La description ci-dessous sur le cycle de régénération commence par:

A. Commutation de déshydrateurs (sécheurs)

Après que le déshydrateur (A par exemple) ait terminé 48 heures d'adsorption, le déshydrateur est commuté au cycle de régénération, le lit en attente (déshydrateur B) est le premier mise en ligne par l'ouverture de la XV708 et XV712 avant que le lit saturé du déshydrateur A soit retiré d'en ligne par fermeture de la XV705 & XV709.

B. Drainage

Le drainage du déshydrateur est démarré par l'ouverture de XV-715 et HV-705. La charge d'alimentation de GPL est vidangée sous pression du gaz naturel (1,4 MPa) introduit du sommet de la colonne. Le GPL est alors évacué du déshydratateur (sécheur-A) vers la sphère de stockage de la charge d'alimentation de GPL. Le temps de drainage est approximativement 3 heures.

L'étape de drainage est terminée quand LSL-715 détecte le bas niveau de liquide du déshydratateur-A (sécheur-A) et que XV-715 et HV-705 sont fermées. Le temporisateur pour l'étape de drainage est réglé à 3 heures. Quand le temporisateur expire, alors la séquence de commande passe au mode manuel par l'interverrouillage

C. Dépressurisation

Après l'achèvement de drainage, PIC-703 est activée, et le déshydratateur-A (sécheur-A) est dépressurisé à 1,0 MPa. Le temporisateur pour l'étape de dépressurisation est réglé à 5 minutes. Quand le temporisateur expire, alors la séquence de commande passe au mode manuel par l'interverrouillage.

D. Chauffage

Après l'achèvement de la dépressurisation, la XV-701 et XV-713 sont ouvertes pour introduire le gaz chaud de régénération dans le lit de tamis moléculaire.

PIC-721B monté sur la ligne d'entrée du réchauffeur de gaz de régénération est activé, et contrôle la pression à 1,0 MPa.

TIC 721 est activé, et contrôle la température de gaz de régénération en injectant le gaz ambiant combustible dans le gaz chaud de régénération par le réchauffeur de gaz de régénération.

La température à l'entrée du lit de tamis moléculaire est 280°C .

Chapitre III Description de section déshydratation du complexe GP2Z

FIC-701, monté sur la ligne de sortie du ballon séparateur de gaz de régénération, augmente graduellement le débit de régénération à 1300 kg/h.

Le refroidisseur à air de gaz de régénération 405/6229 doit être démarré lorsque la température de gaz de régénération à la sortie du lit de tamis moléculaire (TI-701) va au-dessus de 50°C.

Le gaz chaud de régénération qui traverse le lit de tamis moléculaire et qui monte vers le haut, se vaporise et enlève l'eau adsorbée dans le lit.

TI-704 à 706 dans le lit de tamis moléculaire surveille le déroulement de l'étape de chauffage.

Le refroidisseur à air de gaz de régénération (405/6229) refroidit le gaz chaud de régénération venant du lit de tamis moléculaire, et condense l'eau enlevée. Le ballon séparateur de gaz de régénération (410/6214) sépare l'eau et le gaz. Et le gaz est alimenté au système de gaz combustible pour utiliser comme carburant pour le four d'huile chaude (401/6201C/D).

L'eau séparée est vidangée vers le pot d'étanchéité (440/6220) du ballon séparateur de gaz de régénération par les contacts de niveau LSL-708 et LSH-709, et le débit de décharge d'eau est limité par RO-704 pour empêcher le débit excessif.

Le pot d'étanchéité (440/6220) sépare la vapeur dissoute d'hydrocarbure pour la dégager à l'atmosphère au point assez élevé pour la sécurité, tandis que l'eau est évacuée à l'égout ouvert.

Le temps de chauffage est approximativement 13.5 heures. L'étape de régénération est terminée quand TI-701 monté au sommet du lit de tamis moléculaire détecte sa température régénérée. La température régénérée du tamis moléculaire est comme suit:

218°C pour 100% achevé

180°C pour 90% achevé

La température régénérée est actuellement réglée à 200°C.

Le temporisateur pour l'étape de chauffage est réglé à 13.5 heures. Quand le temporisateur expire, la séquence de commande passe au mode manuel par l'interverrouillage.

E. Refroidissement

Pour démarrer l'étape de refroidissement la vanne du réchauffeur de gaz de régénération (PV-721B) est fermée, et la vanne du gaz ambiant combustible (TV-721A) est ouverte. Actuellement le contrôleur de TV-721A est commuté de TIC-721 à PI0721A pour contrôler la pression de gaz de régénération.

Le temps de refroidissement est actuellement de 9 heures. L'étape de régénération est terminée quand TI-701 monté au sommet du lit de tamis moléculaire détecte la température suffisamment refroidie (40°C). Puis XV-701 et XV-713 sont fermées pour isoler la section du système de gaz de régénération.

A ce moment, le refroidisseur à air de gaz de régénération est arrêté par l'opérateur.

Quand le temporisateur expire, la séquence de commande passe au mode manuel par l'interverrouillage.

F. Pressurisation et remplissage

Pour démarrer l'étape de pressurisation et remplissage, XV-721 est ouverte pour introduire GPL séché au lit de tamis moléculaire. Le contrôleur de pression PIC'703 est activé pendant ce cycle et PV-703 dégage la pression au système de torchage HP quand la pression monte approximativement à la pression d'absorption (2,4 MPa).

Le temps de pressurisation et remplissage est approximativement 2 heures. L'étape de remplissage est terminée quand LSH-716 détecte le haut niveau de liquide du déshydrateur-A (sécheur-A) et que la vanne de remplissage XV-721 est fermée.

Le temporisateur pour l'étape de pressurisation et remplissage est réglé à 2 heures. Quand le temporisateur expire, la séquence de commande passe au mode manuel par l'interverrouillage.

I. Etape d'attente (stand by)

Après l'achèvement de l'étape de remplissage, le lit de tamis moléculaire se met en attente (stand-by) pendant approximativement 18 h heures avant de commencer le prochain cycle d'adsorption.

A decorative scroll graphic with the text "Partie II" written on it. The scroll is white with a black outline and features two grey circular elements at the top corners, resembling rolled-up paper. The text "Partie II" is centered on the scroll in a large, black, serif font.

Partie II



Chapitre IV

IV.1 INTRODUCTION

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

Le désigne de la section de déshydratation de charge du complexe GP2Z à été conçu pour une teneur en eau dissoute dans la charge du GPL égale à 100 PPM, mais actuellement on a remarqué que cette teneur n'est pas atteinte, ceci est à l'amélioration de la qualité de la charge provenant de sud.

En effet une concentration en eau égale à 100 PPM le temps d'adsorption a été fixé 24 heures et celui de la régénération à 19 heures. Mais les concentrations actuelles d'eau dans la charge de GPL sont réduites à des valeurs qui peuvent même chuter jusqu'au moins de 25 PPM, ce problème a été confirmé en traçant la courbe durant un mois, et le problème persiste et il est permanent et ceci à de considérable pertes économiques vu que le lit d'adsorption travaille bien au dessous de sa capacité.

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

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

 **La prolongation du temps d'adsorption ;**

 **Variation du temps de régénération ;**

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

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

Il a été remarqué qu'il va avoir moins de dépôt de coke sur la surface du tamis, grâce a prolongation d'adsorption donc la réduction du nombre de cycles de chauffage.

Par conséquent la durée de vie du disséquant augmente suite à cette diminution parce qu'il va être moins exposé aux contraintes des séquences :

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

REMARQUE

D'après les suivis qu'on a effectué dans des périodes différentes allant de 24h à un mois.

Pour une durée de 24h et d'après les résultats de laboratoire, on a constaté que la teneur en eau dans la charge n'a pas dépassé 25 PPM.

On a poussé le suivi à une semaine puis pendant un mois et d'après la figure ci-dessous obtenue on voit que la teneur en eau dans la charge n'a pas dépassé 25 PPM.

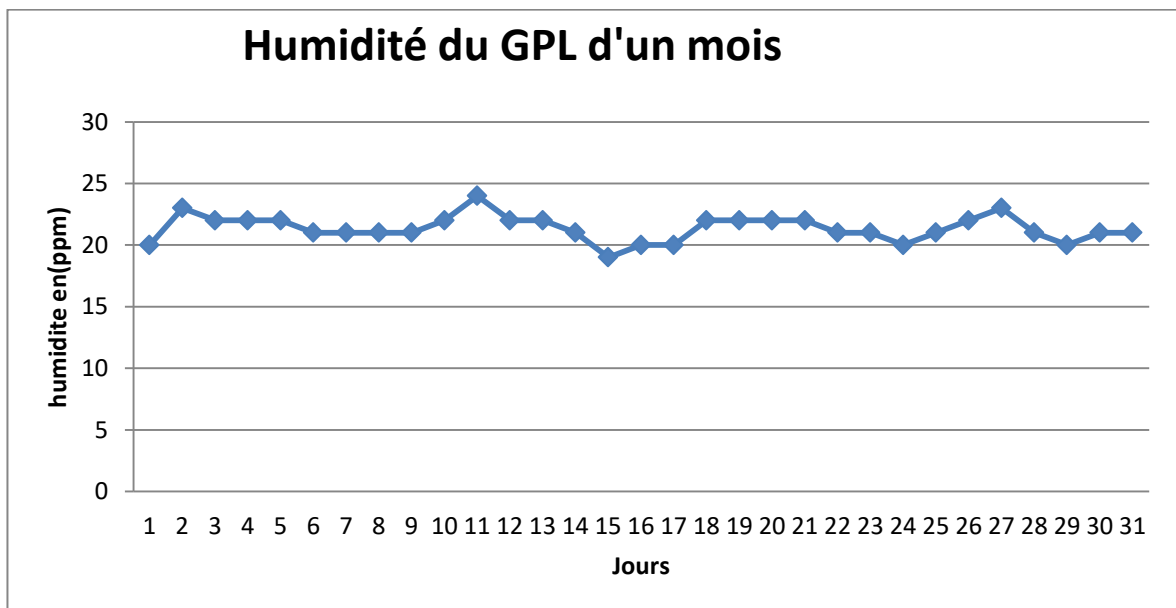


Figure N° IV.1 : courbe d'humidité de GPL pendant un mois

On remarque que la teneur en eau ne dépasse pas 25 PPM qui est une teneur très loin des normes exigées.

Donc le sécheur travaille bien au dessous de sa capacité, et ceci induit des pertes considérables en énergie.

IV.2 BUT

Dans cette partie notre travail consiste d'optimiser le fonctionnement de la section de déshydratation de la charge, on déterminant le temps d'adsorption nécessaire pour faire fonctionner

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.

Donc la partie calcul comprend :

- ✚ Un bilan thermique ;
- ✚ Un bilan de matière.

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

IV.3 CONSTITUTION D'UN DESHYDRATEUR DE CHARGE

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

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

Les autres éléments existent pour assurer soit l'étanchéité, soit la réduction de la vitesse de fluide entrant, soit sa distribution sur toute la section du lit.

IV.3.1 FICHE TECHNIQUE DU TAMIS

Tableau N° IV.1 : Les propriétés du tamis moléculaires

	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

➤ Les conditions opératoires d'adsorption et de désorption (design)

1. Durée d'adsorption : 24h
2. Durée de régénération : 19h
 - a. Réchauffage = 11h
 - b. Refroidissement = 6h

➤ **Température d'entrée du gaz de régénération**

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

IV.4 LA THEORIE DE CALCUL

IV.4.1 LE BILAN ENERGETIQUE

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

La quantité de chaleur nécessaire à la régénération est :

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

IV.4.1.2 Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q_{deshy}

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

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

ΔH : la chaleur spécifique de la désorption de l'eau ;

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

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

IV.4.1.4 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier Q_{acier}

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

IV.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 » :

IV.4.1.6 Calcul de la température du lit « T »

On peut l'obtenir par la relation suivante :

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

IV.4.1.7 Calcul de la chaleur H_f fournie par le four

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

IV.4.1.8 Calcul du temps de réchauffage du tamis moléculaire « t_r »

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

IV.4.1.9 Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle $H(\frac{f}{cycle})$

Puisque $H(\frac{f}{cycle}) = \frac{3 \times H_f \times t_r}{t_{cycle}}$ et on $t_{cycle} = 3 \times t_{ads}$

Donc :

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

IV.4.1.10 Calcul du temps de refroidissement du tamis « t_{ref} »

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

IV.4.1.11 Calcul de la chaleur soutirée au système Q_{ref}

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

IV.4.2 LE BILAN DE MATIERE DE LA REGENERATION

IV.4.2.1 Calcul du débit du gaz de refroidissement

Le débit du gaz de refroidissement est calculé comme suit :

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

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

IV.4.2.2 Calcul de la chute de pression

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

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

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

- 1) A = 0.0561 ;
- 2) B = 0.0000889.

IV.4.2.3 Calcul du nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est calculé par la formule suivant :

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

IV.5 DIMENSIONNEMENT DU SECHEUR DE LASECTION

IV.5.1 PROPRIETE DU GPL

- ✚ Débit de traitement : Q = 174 t/h = 324.26 m³/h
- ✚ P= 24 bar
- ✚ T= 25°C
- ✚ d_{GPL}=0.54

IV.5.2 COMPOSITION DE LA CHARGE

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

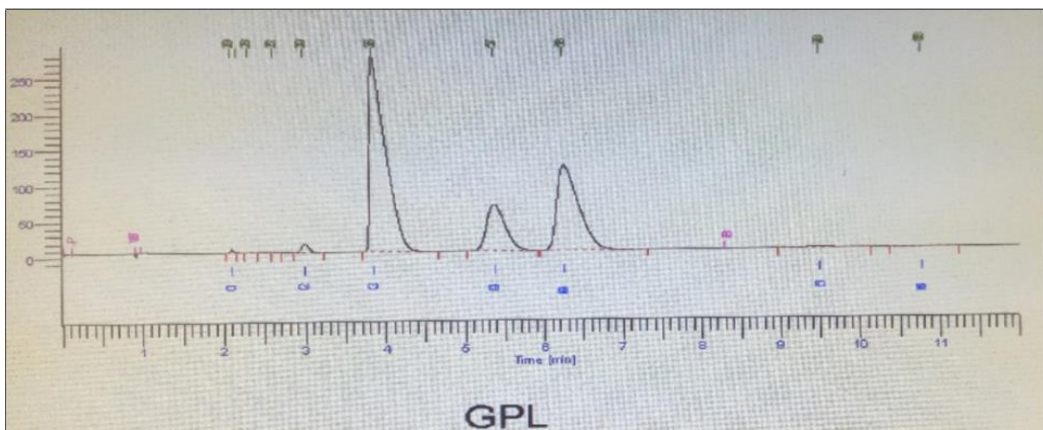


Figure N° IV.2 : Graphe d’analyse chromatographique

Tableau N° IV.2 : quantité des compositions de la charge GPL

Peak #	Component Name	Area [%]	Time [min]	Adjusted Amount	Amount [Norm. %]
1	C1	0.17	2.091	1.3971	1.26
5	C2	1.00	2.991	1.9329	1.75
6	C3	52.39	3.846	63.9400	57.78
7	IC4	14.54	5.367	13.9892	12.64
8	NC4	31.33	6.255	28.9192	26.14
9	IC5	0.51	9.503	0.4162	0.38
10	NC5	0.07	10.783	0.0576	0.05
		100.00		110.6520	100.00

Tableau N° IV.3 : poids et 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 :

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

- Solubilité de l'eau dans le GPL à T=25C°
- Teneur en eau à l'entrée de sécheur : X_E = 25 PPM
- Teneur en eau à la sortie de sécheur : X_S = 01 PPM
- Phase liquide :

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

IV.5.3 DIMENSIONNEMENT D'UN DESHYDRATEUR

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

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

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

Remarque

C'est le diamètre minimum que nous devons respecter où le sécheur doit avoir un diamètre

$$D \geq D_{min}$$

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

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

IV.6 CALCUL DE LA QUANTITE D’EAU ADSORBEE (BILAN DE MATIERE)

IV.6.1 CALCUL DE LA VITESSE ACTUELLE D’ECOULEMENT

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

Avec :

$$S = \frac{\pi D_L^2}{4} \quad ; \quad \boxed{S = 44.156 \text{ ft}^2} \quad \text{Tel que :} \quad D_L = 2.286 \text{ m} = 7.5 \text{ ft} .$$

IV.6.2 CALCUL DE DEBIT D’EAU

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

IV.6.3 CALCUL DE LA HAUTEUR DE LA ZONE DE TRANSFERT DE masse

$$H_z = \frac{225 q_w^{0.7895}}{U_{act}^{0.5506} \times Y_{in}^{0.2646}} \dots\dots\dots(18)$$

IV.6.4 CALCUL DE LA HAUTEUR DE LA ZONE D’EQUILIBRE

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

IV.6.5 ESTIMATION DE LA CAPACITE D’ADSORPTION A L’EQUILIBRE

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

$$X_s = 21 - X_1$$

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

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

- **La capacité d’adsorption de la 1ere année est**

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

- **La capacité d’adsorption de la 2eme année est**

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

- **La capacité d’adsorption de la 3eme année est**

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

Donc la perte des 3 années est la suivant

$$perte = 100 - 85.73 \quad \Rightarrow \quad \boxed{perte = 14.27 \cong 0.15}$$

La capacité sera enfin :

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

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

IV.6.6 ESTIMATION DE LA QUANTITE REELLE D’EAU ADSORBEE PAR 100 LB DE DESSICANT

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

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

IV.6.7 ESTIMATION DE LA QUANTITE D’EAU ABSORBEE M_{ads}

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

IV.6.8 CALCUL DU TEMPS D’ADSORPTION

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

IV.6.9 DETERMINATION DE L’EFFICACITE D’ADSORPTION

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

Estimation des résultats pour 100 PPM anciens charge GPL

Tableau N° IV.4 : résume les résultats de calcul

Paramètres	Résultats	Unité	Numéro de l’équation
U_{act}	259.32	<i>ft/h</i>	eq16
q_w	0.8687	<i>Lb/ft².h</i>	eq17
H_z	2.79	<i>ft</i>	eq18
H_s	8.41	<i>ft</i>	eq19
X	13.74	<i>Lb d’eau/Lb adsorbant</i>	eq20
M_{ads}	1114.61	<i>Lb</i>	eq21
t_{ads}	29	<i>h</i>	eq22
EFF	0.85	<i>////</i>	eq23

IV.7 CALCUL DU BILAN THERMIQUE

IV.7.1 PROPRIETE DU GAZ DE REGENERATION

Tableau N° IV.5: la composition du gaz de régénération

Composition	% Molaire	Poids moléculaire	T _c (°K)	P _c (atm)
N ₂	5.451	28	126.2	33.5
CO ₂	0.203	44	304.2	72.9
C ₁	83.678	16	191.1	45.8
C ₂	7.499	30	305.5	48.2
C ₃	1.979	44	370	42
i-C ₄	0.295	58	408.1	36
n-C ₄	0.456	58	461	32.9
i-C ₅	0.096	72	425.2	37.5
n-C ₅	0.106	72	469.8	33.3
C ₆	0.053	86	507.9	29.9
He	0.184	4	5.3	2.26

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

IV.7.2 CALCUL DU COEFFICIENT DE COMPRESSIBILITE (Z) A TEMPERATURE DE 280 ET 22 °C

IV.7.2.1 Le gaz naturel de réchauffage (280 °C)

$$\left\{ \begin{array}{l} T = 280^\circ\text{C} \\ P = 14 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$$

Le facteur de compressibilité est calculé par la formule suivante :

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

$Z = 1.043$

IV.7.2.2 Le gaz naturel de refroidissement (22 °C)

$$\left\{ \begin{array}{l} T = 22^\circ\text{C} \\ P = 14 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$$

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

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

- ◆ T_c, P_c : Paramètres pseudo-critiques ;
- ◆ T_r, P_r : Température et pression réduites.

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

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

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

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

Donc:

$$\Rightarrow Z = 0.92 \quad (\text{Voire l'annexe})$$

IV.7.3 CALCUL DE LA MASSE VOLUMIQUE DU GN A TEMPERATURE DE 280 ET 22 °C

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

Puisque

- ◆ $M_{GN} = 18.7585 \text{ kg/kmole}$
- ◆ $P = 14 \text{ kg/cm}^2 = 13.82 \text{ atm}$
- ◆ $R = 0.082 \text{ l.atm/mole.}^\circ K$

Alors $\rho_{GN(280^\circ C)} = 5.48 \text{ kg/m}^3$

$$\rho_{GN(22^\circ C)} = 11.7 \text{ kg/m}^3$$

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

Capacité calorifique de refroidissement (C_{Pg}) à 22 °C $C_{pg} = 8.43 \text{ Kcal/Kmol.}^\circ K$

IV.7.4 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 :

- ◆ $D_L = 7.5 \text{ ft}$; $H_t = 11.2 \text{ ft}$
- ◆ $\rho_{tamis} = 700 \text{ kg/m}^3 = 43.69 \text{ Lb/ft}^3$

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

IV.7.5 CALCUL DE LA TEMPERATURE MOYENNE DU LIT EN FIN DE CHAUFFAGE T'

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

Puisque :

- ◆ $T_s = 200^\circ\text{C} = 473^\circ\text{K}$
- ◆ $T_e = 280^\circ\text{C} = 553^\circ\text{K}$

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

IV.7.6 CALCUL DE Q_{tamis}

$$Q_{\text{tamis}} = m_t \times C_{p_t} \times (T - T_{\text{ads}}) \dots\dots\dots(\text{eq3})$$

Puisque :

- $T = 198.63^\circ\text{C} = 389.534^\circ\text{F}$.
- $T_{\text{ads}} = 25^\circ\text{C} = 77^\circ\text{F}$.
- $m_t = 21606.8895 \text{ Lb}$.
- $C_{p_{\text{tamis}}} = 0.22 \text{ BTU} / \text{Lb } ^\circ\text{F}$.

Donc :

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

IV.7.8 CALCUL DE Q_{acier}

$$Q_{\text{acier}} = m_c \times C_{p_c} \times (T - T_{\text{ads}}) \dots\dots\dots(\text{eq4})$$

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

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

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

IV.7.9 CALCUL DE Q_{deshy}

$$Q_{\text{deshy}} = M_{\text{ads}} \times \Delta H \dots\dots\dots(\text{eq2})$$

Puisque

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

$M_{\text{ads}} = 1114.61 \text{ LB}$

Donc

$$Q_{\text{deshy}} = 2006298 \text{ BTU}$$

IV.7.10 CALCUL DE Q_{perte}

$$Q_{perte} = 0.1 \times (Q_{deshy} + Q_{tamis} + Q_{acier}) \dots\dots\dots(eq5)$$

Puisque

- $Q_{deshy} = 2006298 \text{ BTU}$
- $Q_{tamis} = 1485635.27 \text{ BTU}$
- $Q_{acier} = 1060176.8 \text{ BTU}$

Donc

$$\Rightarrow Q_{perte} = 455211.007 \text{ BTU}$$

IV.7.11 CALCUL DE Q_{totale}

$$Q_{totale} = Q_{tamis} + Q_{deshy} + Q_{acier} + Q_{perte} \dots\dots\dots(eq1)$$

$$\Rightarrow Q_{totale} = 5007321.077 \text{ BTU}$$

IV.7.12 CALCUL DE LA CAPACITE CALORIFIQUE MOYENNE DU GAZ

$$C_{Pg_{moy}} = \frac{C_{Pg_{280^{\circ}C}} + C_{Pg_{22^{\circ}C}}}{2} \dots\dots\dots(31)$$

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

IV.7.13 CALCUL DE LA CHALEUR L'ECONOMISEUR PAR LE FOUR H_f

D'après l'équation (eq7)

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

Puisque

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

Donc

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

IV.7.14 CALCUL DU TEMPS DE RECHAUFFAGE DU TAMIS « TR »

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

Tableau N° IV.6 : variation de température du gaz de régénération

Débit de GN de chauffage (Q_1 :Kg/h)	Température du GN sortant du économiseur (T_s :°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	605.3
1300	605.4
1300	605.4
1300	605.5

Tableau N° IV.7: caractéristique du gaz de régénération

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 → °K)	77 → 298

A. Calcul de l’énergie totale fournie par l’économiseur

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

$$E_{totale} = 8743245.15 \text{ BTU/h}$$

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

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

$$m_t = 21606.8895 \text{ Lb}$$

$$\Rightarrow Q_{tamis} = 2630120.23 \text{ BTU}$$

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

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

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

- $C_{Pacier} = 0.12 \text{ BTU / Lb } ^\circ\text{F.}$

$$\Rightarrow Q_{acier} = 1876664.97 \text{ BTU}$$

D. Calcul des pertes de chaleur Q_{perte}

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

$$Q_{perte} = 651308.32 \text{ BTU}$$

E. Calcul de la chaleur totale réelle consommée par le système « sécheur »

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

$$Q_{totale} = 7164391.52 \text{ BTU}$$

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

$$EFF' = \frac{Q_{totale}'}{E_{totale}} \quad EFF' = 0.81$$

Le temps de réchauffage du tamis est :

$$t_r = \frac{Q_{totale}}{(H_{ft} \times Eff)} \quad (\text{eq8})$$

Puisque $H_f : 584656.0848 \text{ BTU/h}$

$$t_r = 14.95 \text{ h}$$

IV.7.15 CALCUL DE LA CHALEUR FOURNIE PAR L'ECONOMISEUR PAR CYCLE

Puisque $t_{ads} = 29 \text{ h}$ et d'après (eq9)

$$H\left(\frac{f}{cycle}\right) = \frac{H_f \times t_r}{t_{ads}} \quad H_{cycle} = 301491.21 \text{ BTU/h}$$

IV.7.16 CALCUL DU TEMPS DE REFROIDISSEMENT DU TAMIS « T_{REF} »

$$t_{ref} = \left[\frac{(Q_{tamis} + Q_{acier})}{Q_{totale}} \right] \times t_r \quad (eq10)$$

$Q_{tamis} = 2630120.23 \text{ BTU}$

$Q_{acier} = 1876664.97 \text{ BTU}$

$Q_{totale} = 7164391.52 \text{ BTU}$

$t_r = 14.95 \text{ h.}$

$t_{ref} = 9.4 \text{ h}$

IV.7.17 CALCUL DE LA CHALEUR SATUREE Q_{ref}

$$Q_{ref} = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{t_{ref}} \quad (eq11) \quad \text{donc} \quad Q_{ref} = 27064.19 \text{ BTU/h}$$

IV.8 CALCUL DU BILAN DE MATIERE DE LA REGENERATION

IV.8.1 CALCUL DU DEBIT DU GAZ DE REFROIDISSEMENT

$$M_{ref} = \frac{Q_{ref}}{C_{pg\ moy} \times (T_s - T_E)} \quad (eq12)$$

✓ $Q_{ref} = 442677.05 \text{ BTU/h}$; $C_{pgmoy} = 8.345 \text{ Kcal/Kmol.}^\circ\text{K} = 0.8 \text{ BTU/Lb.}^\circ\text{K}$

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

$M_{ref} = 1577.06 \text{ Lb/h} = 715.34 \text{ kg/h}$

IV.8.2 CALCUL DES PERTES DE CHARGES

IV.8.2.1 Calcul de la vitesse superficielle U_1 à travers le lit pour le GN chaud

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = 44.156 \text{ ft}^2 \quad ; \quad \rho_{GN} = 5.48 \text{ kg/m}^3 = 0.34 \text{ Lb/ft}^3$$

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

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

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

IV.8.2.2 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. $\rho_{GN} = 11.7 \text{ kg/m}^3 = 0.73 \text{ Lb/ft}^3$

c. $M_{ref} = 1577.06 \text{ Lb/h} = 715.34 \text{ kg/h}$

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

$$U_2 = 0.82 \text{ ft/min}$$

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.

IV.8.2.3 Calcul de la perte de charge $\frac{\Delta P}{L_1}$ pour le GN chaud

- a. $T = 280^\circ\text{C}$
- b. $VIS_1 = 0.043 \text{ Lb/ft.h}$

$$\frac{\Delta P}{L} = (A \times VIS \times U) + (B \times \rho_{GN} \times U^2) \quad (\text{eq13})$$

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

$$\frac{\Delta P}{L_1} = 0.226 \text{ psi/ft}$$

IV.8.2.4 Calcul du nombre de Reynolds (R_{e1})

$$R_e = \frac{G \times D_L}{VIS} \quad (\text{eq14})$$

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

$$R_{e1} = 11319.76$$

IV.8.2.5 Calcul de la perte de charge $\frac{\Delta P}{L_2}$ pour le GN froid

- a. $T = 12.7^\circ\text{C}$
- b. $VIS_2 = 0.01936 \text{ Lb/ft}$

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

IV.8.2.6 Calcul du nombre de Reynolds (R_{e2})

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

$$G = \frac{M_g}{S} \quad \Rightarrow \quad G = 35.72 \text{ Lb/ft}^2.h$$

$$R_{e2} = 13837.81$$

IV.9 RECAPITULATION DES RESULTATS

Tableau N° IV.8 : récapitulation des résultats

	Les valeurs calculées		Les valeurs de design	
H_t	= 11.2 ft	= 3.4 m	= 11.2 ft	= 3.4ft
H_f	= 584656.0848 BTU/h	= 147366.06Kcal /h	$0.13 \times 10^6 \leq H_f \leq 0.33 \times 10^6$ Kcal/h	
t_r	= 14.95 h		= 11 h	
t_{ref}	= 9.4 h		= 6 h	
M_g	= 2865.9612 Lb/h	= 1300 kg/h	700 ≤ débit ≤ 2500 kg/h	
M_{ref}	= 1577.06 Lb/h	= 715.34 kg/h		
$\frac{\Delta P_1}{L}$	= 0.226 psi/ft		$0.01 \leq \frac{\Delta P}{L} \leq 0.25$ psi/ft	
$\frac{\Delta P_2}{L}$	= 0.03 psi/ft			
R_{e_1}	= 11319.76		$R_e \geq 2500$	
R_{e_2}	= 13837.81			
t_{ads}	= 29 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.

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.

IV.10 LA PROLONGATION DU TEMPS D'ADSORPTION

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

IV.10.1 CALCUL DU TEMPS D'ADSORPTION

IV.10.1.1 Calcul de débit d'eau

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

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

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

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.

IV.10.1.2 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse

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

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

$$\implies \quad \mathbf{Hz = 1.354 \text{ ft}}$$

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.

IV.10.1.3 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre

$$H_s = H_t - H_z$$

$$\implies \quad \mathbf{Hs = 9.85 \text{ ft}}$$

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

IV.10.1.4 Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 25 Lb de dessicant M_{ads}

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

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

$X = 15.15 \text{ Lb d'eau / Lb d'adsorbant}$

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

$$\implies \quad \mathbf{M'_{ads} = 1439.63 \text{ Lb}}$$

Chapitre IV Optimisation de déshydratation (théorie de calcul)

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 $Cr = 0.65$

$$M_{ads} = 0.65 M'_{ads}$$
$$\implies M_{ads} = 935.76 \text{ Lb}$$

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

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

$$\mathbf{T_{ads} = 97.58 \text{ heures}}$$

IV.10.1.5 Détermination de l'efficacité d'adsorption

$$EFF = \frac{X}{X_s} \quad EFF = 0.938$$

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

IV.10.2 CALCUL DU BILAN THERMIQUE

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

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

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

$$\implies Q_{deshy} = 1684368 \text{ BTU}$$

B. Calcul des pertes de chaleurs Q_{perte}

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

Puisque

$$Q_{deshy} = 1684368 \text{ BTU} \quad ; \quad Q_{tamis} = 1485635.27 \text{ BTU} \quad ; \quad Q_{acier} = 1060176.8 \text{ BTU}$$

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

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

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

$$\implies Q_{totale} = 4653198.077 \text{ BTU}$$

D. Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur H_f

D'après l'équation :

$$H_f = Mg \times C_{pg} \times (T_e - T_{ads}) \quad \implies \quad H_f = 584656.0848 \text{ BTU/h}$$

E. Calcul du temps de réchauffage du tamis « tr »

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

$$\Rightarrow \boxed{t_r = 8.48 \text{ h}}$$

F. Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur par cycle

- a. $t_r = 8.48 \text{ h}$;
- b. $H_f = 584656.0848 \text{ BTU/h}$
- c. $T_{ads} = 97.58 \text{ h}$

$$H\left(\frac{f}{cycle}\right) = \frac{H_f \times t_r}{t_{ads}} \Rightarrow H_{cycle} = 50837.93 \text{ BTU/h}$$

G. Calcul du temps de refroidissement du tamis « tref »

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

$Q_{tamis} = 1485635.27 \text{ BTU}$; $Q_{acier} = 1060176.8 \text{ BTU}$; $Q_{totale} = 4653198.077 \text{ BTU}$; $t_r = 8.49 \text{ h}$.

$$\Rightarrow \boxed{t_{ref} = 4.64 \text{ h}}$$

H. CALCUL DE LA CHALEUR SATUREE Q_{ref}

$$Q_{ref} = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{t_{ref}} \quad (\text{eq11})$$

Donc $Q_{ref} = 548407.41 \text{ BTU/h}$

IV.10.3 CALCUL DU BILAN DE MATIERE DE LA REGENERATION

A. Calcul du débit du gaz de refroidissement

$$M_{ref} = \frac{Q_{ref}}{C_{pg\ moy} \times (T_s - T_E)} \quad (\text{eq12})$$

- ✓ $C_{pgmoy} = 8.345 \text{ Kcal/Kmol.}^\circ\text{K} = 0.8 \text{ BTU/Lb.}^\circ\text{K}$
- ✓ $T_s = 227^\circ\text{C} = 440.6^\circ\text{F} = 500^\circ\text{K}$;
- ✓ $T_E = 12.7^\circ\text{C} = 54.86^\circ\text{F} = 285.7^\circ\text{K}$

$$M_{ref} = 3195.84 \text{ Lb/h} = 1449.6 \text{ kg/h}$$

B. Calcul des pertes de charges pour le GN de refroidissement

Le débit de GN chaude ne change pas il reste toujours même, mais le débit de GN froid va changer car le temps de réchauffage change.

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

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

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

$$M_{ref} = 3195.84 \text{ Lb/h} = 1449.6 \text{ kg/h}$$

$$U_2 = \frac{M_{ref}}{60 \times S \times \rho_{GN}}$$

$$U_2 = 1.65 \text{ ft/min}$$

Donc la perte de charge $\frac{\Delta P}{L_2}$ pour le GN froid est $\frac{\Delta P}{L_2} = 0.108 \text{ psi/ft}$

D. Calcul du nombre de Reynolds

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

$$G = \frac{M_g}{S} \quad \Rightarrow \quad G = 72.37 \text{ Lb/ft}^2 \cdot \text{h}$$

$$R_{e_2} = 28032.02$$

IV.11 LA REDUCTION DU TEMPS D'ADSORPTION

IV.11.1 CALCUL DE H_z et M_{ads}

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

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

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 25PPM

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

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

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

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

$$\Rightarrow M_{ads} = 459.96 \text{ Lb}$$

Qui donne une zone d'équilibre égale à

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

$$\Rightarrow H_s = 3.56 \text{ ft}$$

IV.11.2 CALCUL DE LA HAUTEUR NON UTILISEE H'

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

$$\Rightarrow \boxed{H' = 6.295}$$

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.

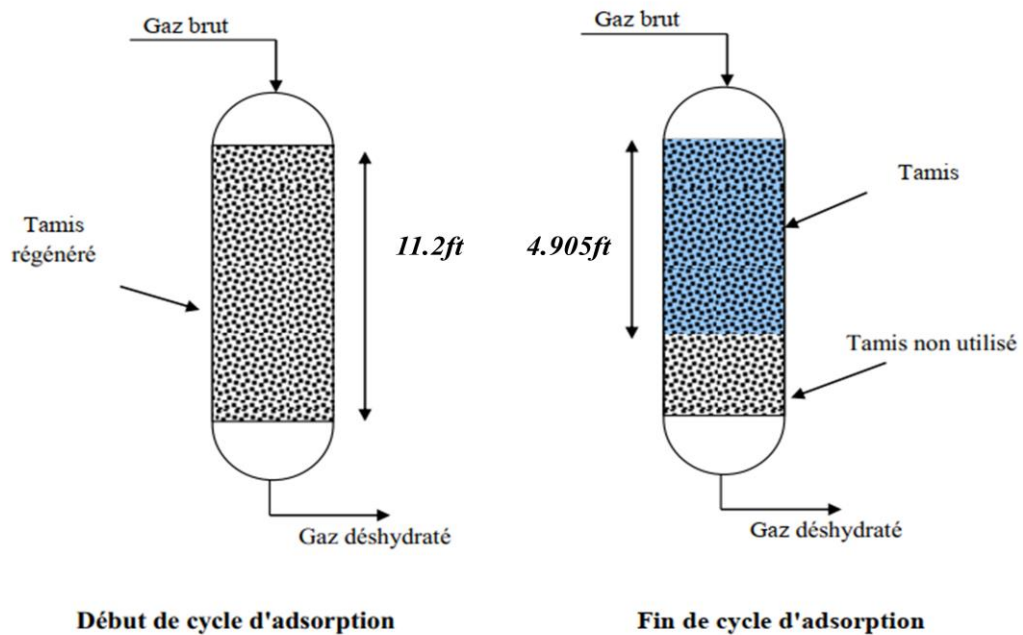


Figure N° IV.3 : l'adsorbent avant et après de la déshydratation

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

D'après l'équation 20

$$X = X_s \times \left[1 - C \times \frac{H_z}{H_s} \right] \quad \Rightarrow \quad X = 13.92 \text{ Lb d'eau / Lb d'adsorbant}$$

IV.11.3 DETERMINATION DE L'EFFICACITE D'ADSORPTION

$$EFF = \frac{X}{X_s} \quad \Rightarrow \quad EFF = 0.86$$

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

IV.11.4 CALCUL DU BILAN THERMIQUE

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

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

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

$$\Rightarrow Q_{deshy} = 827928 \text{ BTU}$$

B. Calcul des pertes de chaleurs Q_{perte}

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

Puisque

$$Q_{deshy} = 828558 \text{ BTU} \quad ; \quad Q_{tamis} = 1485635.27 \text{ BTU} \quad ; \quad Q_{acier} = 1060176.8 \text{ BTU}$$

$$\text{Donc} \quad \Rightarrow \quad Q_{perte} = 337374.007 \text{ BTU}$$

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

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

$$\Rightarrow Q_{totale} = 3711114.077 \text{ BTU}$$

D. Calcul du temps de réchauffage du tamis « tr »

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

■ Eff : l'efficacité thermique durant la régénération = 0.86

■ H_f : 584656.0848 BTU/h

$$\Rightarrow t_r = 7.38 \text{ h}$$

D'après les calculs on remarque :

■ une quantité d'eau absorbée $M_{ads}=1114.61 \text{ Lb}$ tandis que nous avons une quantité d'eau adsorbé $M_{ads}=459.96 \text{ Lb}$.

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

E. Calcul de la chaleur fournie par l'économiseur par cycle

$$t_r = 7.38 \text{ h} \quad ; \quad T_{ads} = 48 \text{ h} \quad ; \quad H_f : 584656.0848 \text{ BTU/h}$$

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

$$\Rightarrow H_{cycle} = 89901.02 \text{ BTU/h}$$

F. Calcul du temps de refroidissement du tamis « tref »

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

Puisque

$$Q_{totale} = 3711114.077 \text{ BTU} ; Q_{tamis} = 1485635.27 \text{ BTU} ; Q_{acier} = 1060176.8 \text{ BTU} \quad ; \quad t_r = 7.38 \text{ h}$$

$$\Rightarrow t_{ref} = 5.06 \text{ h}$$

G. CALCUL DE LA CHALEUR SATUREE Q_{ref}

$$Q_{ref} = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{t_{ref}} \quad (\text{eq11})$$

donc $Q_{ref} = 502804.23 \text{ BTU/h}$

IV.11.5 CALCUL DU BILAN DE MATIERE DE LA REGENERATION

A. Calcul du débit du gaz de refroidissement

$$M_{ref} = \frac{Q_{ref}}{C_{pg_{moy}} \times (T_s - T_E)} \quad (eq12)$$

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

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

✓ $T_E = 12.7^\circ\text{C} = 54.86^\circ\text{F} = 285.7^\circ\text{K}$

$$M_{ref} = 2930.1 \text{ Lb/h} = 1329.06 \text{ kg/h}$$

B. Calcul des pertes de charges pour le GN de refroidissement

Le débit de GN chaude ne change il reste toujours même mais le débit de GN froid va changer car le temps de réchauffage change.

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

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

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

$$M_{ref} = 2930.1 \text{ Lb/h} = 1329.06 \text{ kg/h}$$

$$U_2 = \frac{M_{ref}}{60 \times S \times \rho_{GN}}$$

$$U_2 = 1.51 \text{ ft/min}$$

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.

Donc la perte de charge $\frac{\Delta P}{L_2}$ pour le GN froid est $\frac{\Delta P}{L_2} = 0.09 \text{ psi/ft}$

D. Calcul du nombre de Reynolds

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

$$G = \frac{M_g}{S} \quad \Rightarrow \quad G = 66.36 \text{ Lb/ft}^2 \cdot \text{h}$$

$$R_{e_2} = 25707.64$$

IV.12 INTERPRETATION DES RESULTATS

D'après tous les résultats obtenus, nous avons réalisé le but de notre travail en modifiant le temps d'adsorption du déshydrateur de charge de 24 h (le temps de design), au temps obtenu après les calculs qui correspond à 97.58 h. Cette modification doit être suivie d'une petite variation de la durée de régénération de 8.48 h pour le réchauffage (au lieu de 14.95 h pour un cycle de 24 h), et de 4.64 h pour le refroidissement (au lieu de 9.4 h pour un cycle de 24 h).

Mais on doit prendre en considération

- ✓ Le système de travail dans l'entreprise (service quart).
- ✓ L'incertitude d'erreur.

Le temps d'adsorption doit donc correspondre à une durée permettant une adaptation à l'organisation du service. Nous avons donc choisi un temps de 48 h et le temps de réchauffage à 13.5 h et 9 h de temps de refroidissement (cas réel).

Les calculs qui correspondent de cycle de 48 h. Cette modification doit être suivie d'une petite variation de la durée de régénération de 7.38 h, et de 5.06 h pour le refroidissement. et avec cette variation du temps d'adsorption, il y aura :

- ✚ Une diminution de nombre de cycle, par conséquent une augmentation de l'efficacité du tamis ;
- ✚ Un pourcentage total d'utilisation du tamis en phase d'adsorption meilleure dans un cycle de 48 h.
- ✚ Une préservation du tamis et une augmentation de sa durée de vie.
- ✚ Des pertes de charges pour le réchauffage et le refroidissement vérifiant l'intervalle recommandé ;
- ✚ Un régime d'écoulement turbulent qui favorise un bon transfert de masse, ainsi qu'une bonne distribution des gaz à travers le lit.

A la partie pratique :

Afin de vérifier pratiquement la fiabilité de cette solution et pour vérifier que la prolongation du temps d'adsorption n'influe pas sur la qualité du produit finis, nous devons effectuer un suivi de la teneur en eau du GPL sortant du déshydrateur de charge pour un temps d'adsorption prolongé de 24 h et une teneur d'eau dissoute dans la charge de 25 PPM.

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

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

Chapitre IV Optimisation de déshydratation (théorie de calcul)

Ayant conservé un temps d'adsorption à 48 h, cas réel au complexe GP2/Z, nous remarquons qu'une partie du tamis est réchauffée sans pourtant avoir adsorbé, ce qui induit donc une dépense d'énergie inutile.

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



Chapitre V

V.1 INTRODUCTION

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

V.2 INTERPRETATION ECONOMIQUE DES RESULTATS DE LA SOLUTION OPTIMALE

D'après nos résultats on peut passer d'un cycle d'adsorption de 24H à un cycle d'adsorption de 48H pour une teneur d'eau de la charge à l'arrivée du déshydrateur de 25 ppm et une teneur à la sortie de 1 ppm.

- **Le débit de fuel gaz durant la régénération est de :**
 - fuel gaz de réchauffage $M_g=1300 \text{ kg/h} = 237.22 \text{ m}^3/\text{h}$.
 - Fuel gaz de refroidissement $M_{ref}=1300 \text{ kg/h} = 111.11 \text{ m}^3/\text{h}$
- **Le nombre d'heure pendant la régénération du désigne est de 24 H qui correspond à**
 - ✚ 11H de réchauffage ;
 - ✚ 6 H de refroidissement.

La durée du cycle totale est de 41H

- **Le nombre d'heure pendant la régénération réelle est de 48 H qui correspond à**
 - ✚ 13.5H de réchauffage ;
 - ✚ 9 H de refroidissement.

La durée du cycle totale est de 70.5H

- **Le prix unitaire d'un m³ de fuel gaz est de 1.16 \$**

V.3 NOMBRE DES CYCLES

N_c = nombre d'heure par mois/ durée d'un cycle

- Pour 24H

$$N_c=720/41$$

$$N_c= 17.6$$

- Pour 48 H

$$N_c=720/70.5$$

$$N_c= 10.2$$

V.4 LE GAIN REEL ECONOMISE

V.4.1 FUEL GAZ CHAUD

- **Quantité de fuel gaz par mois dans un cycle de 24h**

$$Q_{GN(24)} = 17.6 \times 11 \times 237.22$$

$$Q_{GN(24)} = 45925.792 \text{ m}^3$$

- **Quantité de fuel gaz par mois dans un cycle de 48h**

$$Q_{GN(48)} = 10.2 \times 13.5 \times 237.22$$

$$Q_{GN(48)} = 32665.194 \text{ m}^3$$

Donc : **Le gain économisé par mois de chauffage**

$$Ge' = 1.16 \times (45925.792 - 32665.194)$$

$$Ge' = 15382.2937 \$$$

V.4.2 FUEL GAZ DE FROID

- **Quantité de fuel gaz par mois dans un cycle de 24h**

$$Q'_{GN(24)} = 17.6 \times 6 \times 111.11$$

$$Q'_{GN(24)} = 11733.216 \text{ m}^3$$

- **Quantité de fuel gaz par mois dans un cycle de 48h**

$$Q'_{GN(48)} = 10.2 \times 9 \times 111.11$$

$$Q'_{GN(48)} = 10199.898 \text{ m}^3$$

Donc : **Le gain économisé par mois de refroidissement**

$$Ge'' = 1.16 \times (11733.216 - 10199.898)$$

$$Ge'' = 1778.64888 \$$$

Donc le gain totale par mois est

$$G_e = G_e' + G_e''$$

$$G_e = 15382.2937 + 1778,6488$$

$$G_e = 17160.9426 \$$$

V.5 RECAPITULATION DES RESULTATS

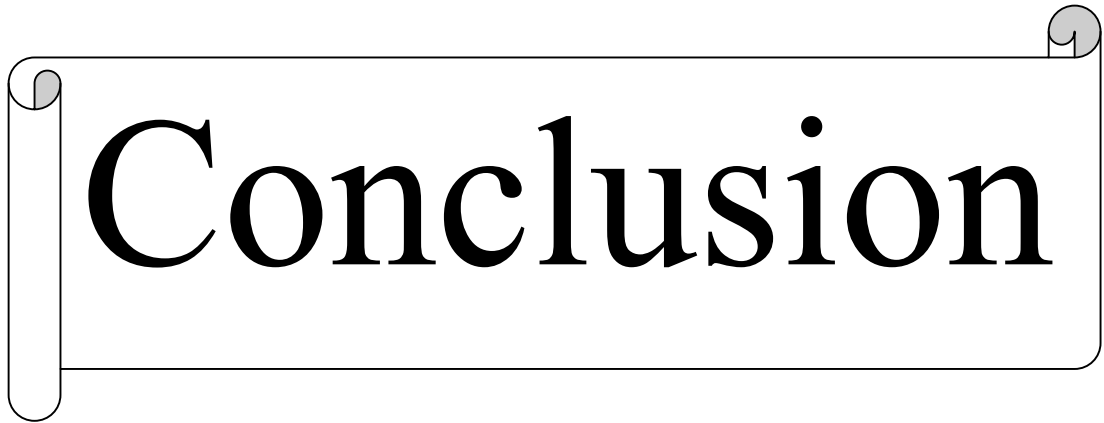
	24h	48h
Quantité de fuel gaz par mois en (kg)	388960	298350
Cout du fuel gaz par mois en (\$)	66884.4493	49723.5067
Gain économisé de fuel gaz par apport au design par mois (\$)	----	17160.9426
Le gain économisé en (%) par mois	----	25.65%

Tableau N° V.1 : récapitulation des résultats de gain économique.

V.6 Conclusion

D'après les résultats obtenus dans le tableau en constate qu'il ya un gain économique considérable par apport au design qui est estimé a 25.65% pour le cas de notre étude qui a beaucoup d'avantage :

- ✚ Optimisation des paramètres de régénération des sécheurs
- ✚ Possibilité d'arrivé au point de saturation du tamis pour une durée de 48 h d'adsorption
- ✚ Conservation du tamis moléculaire et la prolongation de sa duré de vie ainsi que ça capacité d'adsorption
- ✚ Un gain en fuel gaz estimé a 17160.9426 \$ par ans par apport au design.
- ✚ Quantité de fuel gaz par mois dans un cycle de 48h est 90610 kg.

A decorative scroll graphic with the word "Conclusion" written on it. The scroll is white with a black outline and features three grey circular fasteners: one at the top left, one at the top right, and one at the bottom left. The word "Conclusion" is written in a large, black, serif font across the center of the scroll.

Conclusion

Conclusion générale

CONCLUSION

Il est nécessaire de rappeler qu'actuellement les sources d'énergie ont une considérable part dans notre économie nationale, ceci suppose que toute perte d'énergie quelque soit sa nature et sa dimension peut avoir un impact direct sur les coûts d'exploitation et les produits finis.

La préoccupation au niveau du complexe GP2/Z étant de ramener la teneur en eau dans l'alimentation d'une valeur maximale de 100 PPM à 1 ppm dans la section de déshydratation.

Il nous a paru indispensable d'étudier ce problème en vue d'optimiser les paramètres de fonctionnement de la section déshydratation de charge.

D'après les résultats on peut réaliser les points suivants :

- ✚ Une élévation du temps d'adsorption en tenant compte de la teneur en eau dans la charge. Notant que ce temps décroît avec la croissance de la teneur en eau dans la charge.
- ✚ Une modification de la durée de régénération (durée de chauffage et refroidissement).

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

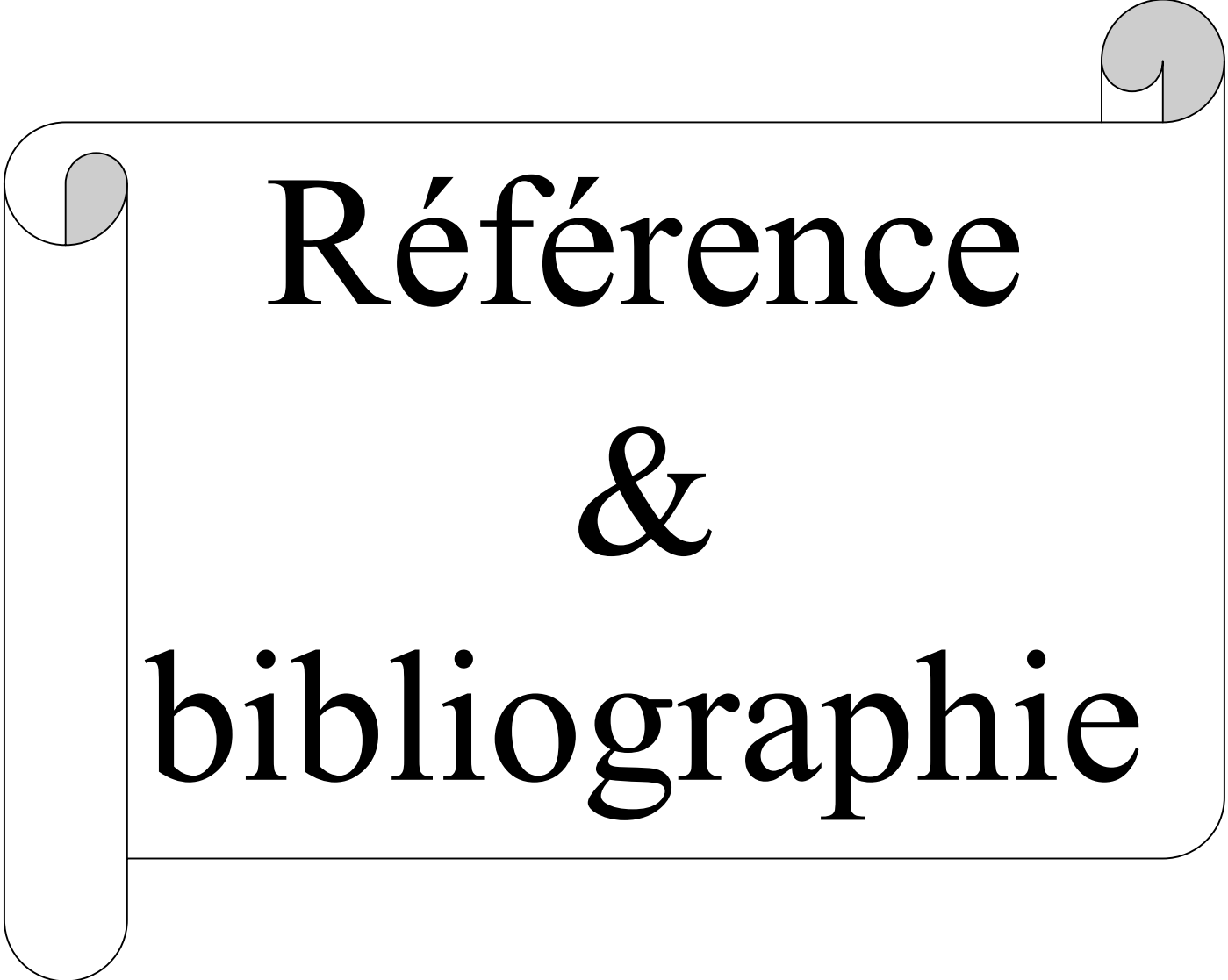
En plus de gain obtenue en GN, un gain supplémentaire sera réalisé dans :

- ✚ La durée de vie du tamis va être plus longue du fait que le vieillissement du tamis est dut surtout au dépôt de coke à haute température.

Avec l'augmentation du temps d'adsorption, le nombre de régénération serait moins donc le tamis sera moins exposé à des hautes températures lors de la séquence de chauffage.

- ✚ La durée de vie du matériel sera plus longue du fait qu'avec un nombre de cycle moins important, le matériel sera exposé à moins de contraintes de pression (moins de séquences de pressurisation et dépressurisation) et de contrainte de températures (réchauffage et de refroidissement).
- ✚ La durée de vie de la robinetterie, comme les séquences sont gérées par les ouvertures et fermeture de vanne, un nombre de cycle réduit solliciterait moins l'ouverture et la fermeture des vannes.

Cette optimisation nous permettra d'économisé une quantité de fuel gaz qui se traduit par une valeur annuelle de $G_e = 205931.3112$ \$

A decorative graphic of a scroll with a black outline and three grey circular elements at the top corners, suggesting the scroll is unrolled. The text is centered within the scroll's frame.

Référence & bibliographie

Références et bibliographiques

- [1] Manuel opératoire de complexe GP2/Z
- [2] Manuel de Formation IHI. (2007)
- [3] Manuel de formation Cours exp-pr-pr130 Révision 0.1, Total. La déshydratation du gaz 2007.
- [4] A. Rojey - Le gaz naturel (production, traitement, transport) ; édition technip, 1994.
- [5] Pr. Chems Eddine CHITOUR -Physico –chimique des surfaces -(tome 2). Édition ; OPU.01-2004.
- [6] B. BELADIS, Etude comparative de dimensionnement d'un déshydrateur de gaz de l'unité de récupération de GPL à GTL, SH-DP-GASSI TOUIL 2015.
- [7] Chouat, Chahinez. Etude de l'unité GTFT en mode Turn Down. Janvier 2017; 61P.
- [8] Hajd, Ali Djamel. Etude de la section de déshydratation de l'unité GPL-2 HASSIMESSAOUD. Aout 2005; 75P.
- [9] Brochard-Wyart , Dezarnaud Dandine, Sophie Griveau, Richard Portier et Volatron-Chimie générale tout le cours en fiches licence-concours – Dunod, Paris, 2012
- [10] Daddiou, Abdelaziz. Optimisation des paramètres de marche de l'unité de GPL de RHOURE NOUSS. 2010; 58P.
- [11] E.Boulanger –Chimie générale (thermodynamique chimique), Tome 1, édition Robert Atlanl, 3^{ème} trimestre 2011.
- [12] Soft Déshydratation, Département technique service étude
- [13] V.SOKOLOV – Géochimie des gaz naturel, éditions MIR, Moscou, 1974.
- [14] Pierre Agati, Frédéric Lerouge et Nicolas Mattera –Mécanique appliquée « résistance des matériaux de fluides thermodynamique, 2^{ème} édition, DUNOD, Paris, 2002
- [15] Boumaza, A. Introduction à la chaîne pétrolière et gazière. 2015; 197P.
- [16] Projet GPL/Z, formation du personnel Exploitation « Institut Algérien du pétrole » Mme bouazabia
- [17] Spécification technique pour la fourniture de tamis moléculaire pour l'adsorption de charge (juillet 2009).
- [18] Yaws, C.L. et al ; « Hydrocarbonés : Deshydratation Data » ; chem. Eng. Vol.97 avril 1990
- [19] C.E.CHITOUR, -Corrélation sur les pétroles bruts et les fractions pétrolières-, Tome 2, OPU, 1982.

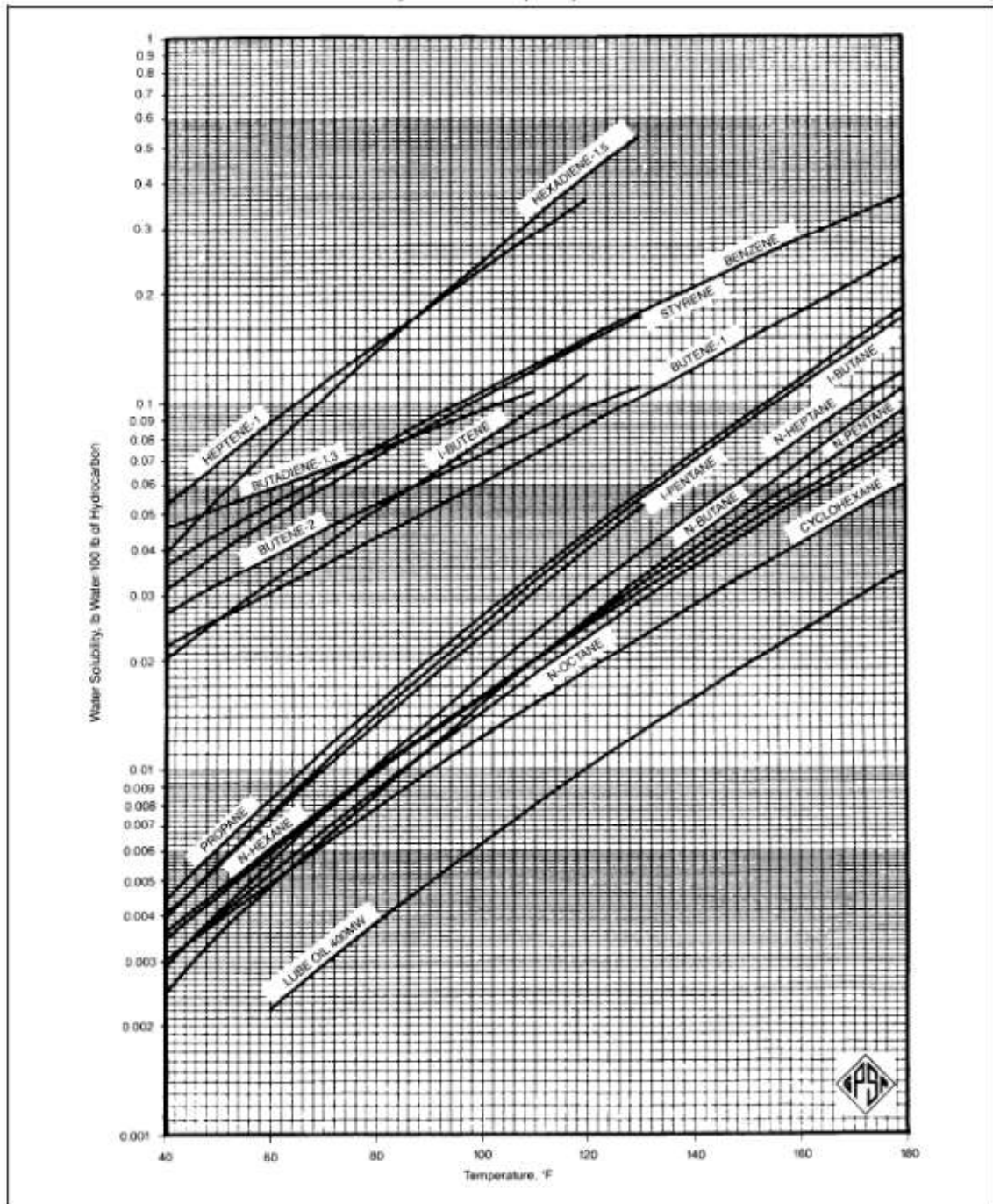
- [20] C.E.CHITOUR, -Raffinage , Thermodynamique des fluides réels-, Tome 2, OPU, Alger 09-1998
- [21] MERZAK DAMOU, « mécanique des fluides », OPU, Alger, 03-1994
- [22] P. L.VIOLLET, J.P.CHABARD, P.ESPOSITO et D.LAURENCE, « mécanique des fluides appliquée », 2^{ème} édition, Paris, 2002.
- [23]. P.Wuithier Raffinage et génie Chimique, Tome 1, Edition tech. Paris 1972.
- [24]. RUTHVEN D. M ; principes of adsorption and adsorption process John Wiley et sons, new York.
- [25] Western Germany les tamis moléculaire Caractéristiques et Applications, Grace, Juin 1980.
- [26] DATA BOOK Déshydratation and treating.Section 15,9^{ème} edition , Rev (1974 - 1976)



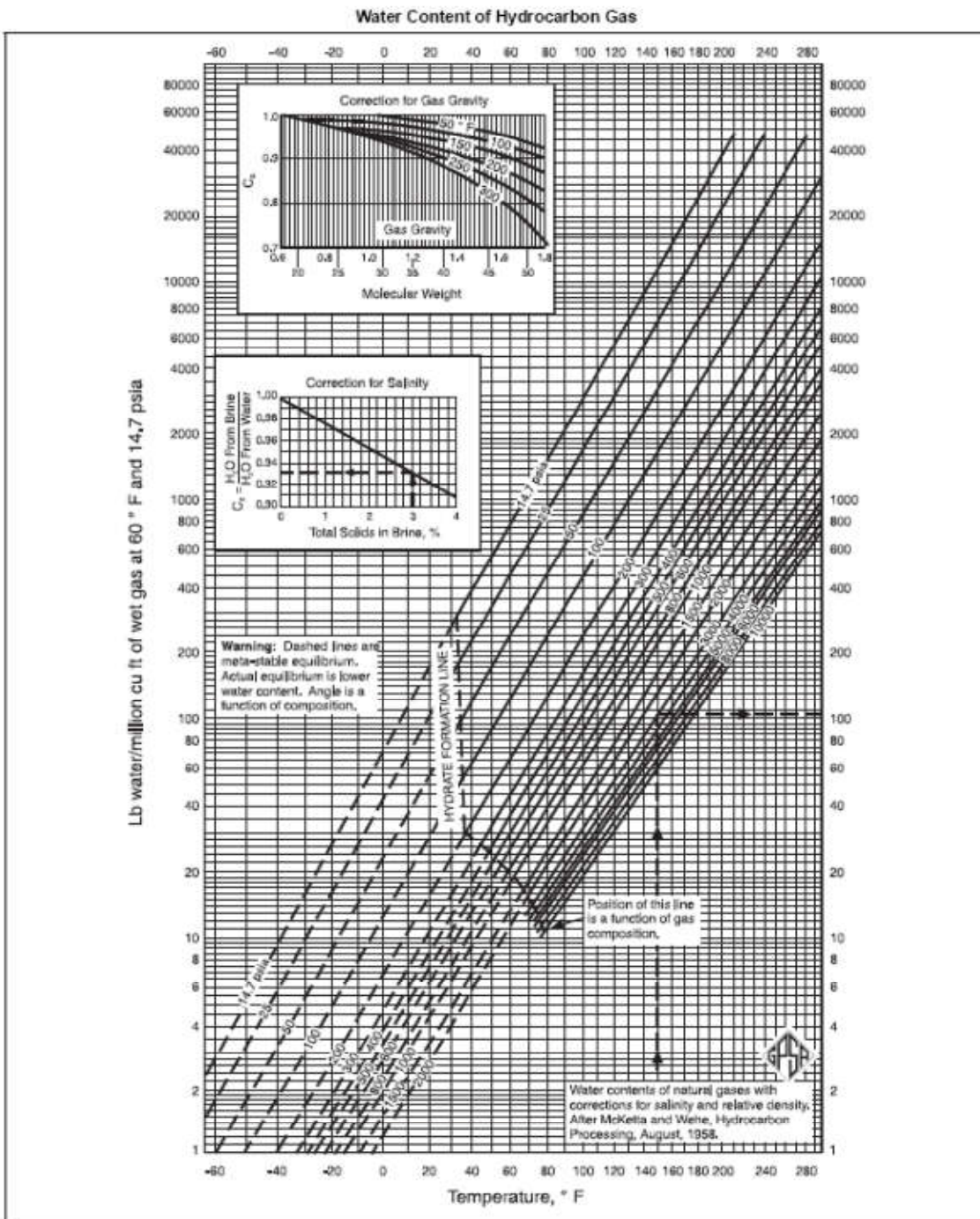
Annexe

Annexe

Solubility of Water in Liquid Hydrocarbons



Annexe



Annexe

Water Content of Hydrogen Sulfide

