



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Amar Telidji – Laghouat



Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés

Mémoire de Master

Présenté par : **GUEMGAM Abdelkader**

HOUACHE Slimane

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie des Procédés

Option : Génie Chimique

Thème

**Calcul pour la vérification du dimensionnement
de déshydrateur. (Gassi Touil)**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M. ABDELMOUIZ Ahmed	MAA	Président
M. BOUREZK Mohamed Taher	MAA	Examineur
M. HAMDI Abdelkader	ING d'état	Examineur
M. CHAHBOUB Abdelaziz	MAA	Rapporteur

Promotion : Juin 2021

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah, le tout puissant de nous avoir donné le courage et la bonne santé pour accomplir notre travail, et de nous avoir guidé vers le bon chemin le long de notre séjour.

Au terme de ce travail nous tenons à remercier en premier lieu M. CHAHBOUB Abdelaziz, notre promoteur, pour son aide précieuse, pour ses remarques pertinentes et surtout pour le temps qu'il nous a accordé et ceci malgré ses nombreuses charges.

Nous tenons à remercier les membres de jury qui ont bien voulu nous faire l'honneur de participer à ce jury.

Nous remercions également tous les enseignants du département Génie des Procédés pour leur contribution à cette formation et surtout M. TAOUTI Mohamed Ben Abdallah et M. ABDELMOUIZ Ahmed.

Nous tenons à remercier tout le personnel de CPF Gassi Touil de Hassi Messaoud.

Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Nomenclature

Symbole	Nomenclature	Unité
C_{pc}	Chaleur spécifique de la céramique	kJ /kg °C
C_{pe}	Chaleur spécifique de l'eau	kJ /kg °C
C_{phc}	Chaleur spécifique de l'hydrocarbure	kJ /kg °C
C_{pm}	Chaleur spécifique du métal	kJ /kg °C
C_{ptm}	Chaleur spécifique du tamis moléculaire	kJ /kg °C
D	Diamètre du lit	m
d_G	Densité relative du gaz	-
D_p	Diamètre équivalent des billes	m
e	Épaisseur du déshydrateur	mm
g_{ch}	Débit de gaz de régénération en phase de chauffage	kg/h
g_r	Débit de gaz de régénération en phase de refroidissement	kg/h
h_{ad}	Hauteur minimale (d'adsorption) du déshydrateur	m
h_c	Hauteur de bille de céramique	m
h_t	Hauteur totale du déshydrateur	m
LZTM	Hauteur de la zone de transfert de masse	m
M_i	Masse molaire	kg/mol
M_t	Masse totale du tamis moléculaire	kg
m_{tm}	Masse du tamis moléculaire contenu dans la colonne	kg
M_W	Masse moléculaire du gaz	kg/mol
M_{Wair}	Masse moléculaire du gaz de l'air	kg/mol
P_{ci}	Pression critique	bar
P_{r_m}	Pression réduite	bar
q_a	Débit volumique du gaz dans les conditions opératoires	m ³ /min
Q_{eau}	Flux d'adsorbant d'eau	kg H ₂ O/h.m ²

Q_c	Quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique	kJ
Q_{ch}	Quantité de chaleur totale à fournir par heure	kJ
Q_e	Quantité de chaleur nécessaire pour désorber l'eau	kJ
Q_f	Quantité de chaleur totale à fournir	kJ
Q_{hc}	Quantité de chaleur nécessaire pour désorber les hydrocarbures	kJ
Q_m	Quantité de chaleur absorbée par le métal	kJ
Q_{tm}	Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer le lit de tamis moléculaires	kJ
S	Section du déshydrateur	m ²
T_{ci}	Température critique	K
T_{moy}	Température moyenne	K
T_{rm}	Température réduite	K
V_g	Vitesse superficielle du gaz	m/s
V'_c	Volume réel de céramique	m ³
Y_i	Fraction molaire de chaque constituant i	%
Y_w	Teneur en eau	kg H ₂ O/MMscF
Z	Facteur de compressibilité	-
ΔH_e	Chaleur latente de désorption de l'eau	kJ / kg
$\Delta P/L$	Perte de charge	bar/m
ΔT_r	Différence de température moyenne	K
ε	Pourcentage de vide	%
μ	Viscosité du gaz	cP
ρ_G	Masse volumique du gaz	kg/m ³

Abréviations

BP	Basse pression
CPF	Installations centrales de production (Central Processing Facilities)
HP	Haute pression
GN	Gaz naturel
GPL	Gaz pétrolier liquéfié en (Tonne)
G01	Zone d'admission
G05	Zone boosting (compresseur booster)
G11	Zone de récupération de GPL
G11-24-101- A/B/C	Déshydrateur de gaz
G50	Zone de compression de gaz résiduel
P10	Zone de stabilisation de condensat/ débutanisation
16 V et 36 V	Zone de comptage de gaz et canalisation d'expédition

Sommaire

Listes des tableaux	
Listes des figures	
Introduction	1

CHAPITRE I : Principe de déshydratation

I.1 Les hydrates	2
I.1.1 Définition	2
I.1.2 Les formules chimiques des hydrates	2
I.1.3 Les conditions de formation des hydrates	4
I.1.4 Prévention des hydrates	4
I.1.5 Utilisation d'inhibiteurs	5
I.2 La déshydratation	6
I.2.1 Les modes de déshydratation	6
I.3 Les tamis moléculaire	9
I.3.1 Adsorption dynamique	12
I.3.2 Zone de transfert de masse « ZMT »	12
I.3.3 Disposition des composants du lit	15
I.3.4 Schéma de la section de déshydratation	16

CHAPITRE II : Résultats et discussion

II.1 Vérification du design	20
II.1.1 Calcul du débit de chaque composition	20
II.1.2 Calcul du facteur de compressibilité Z	21
II.1.3 Calcul de densité relative du gaz	22
II.1.4 Calcul de la masse volumique du gaz	22
II.1.5 Calcul de la vitesse superficielle du gaz	23
II.1.6 Débit volumique de gaz à la condition opératoire	24
II.1.7 Diamètre du lit	24
II.1.8 Hauteur du lit	25
II.1.9 Épaisseur du déshydrateur	27

II.1.10 Masse totale du tamis moléculaire	27
II.1.11 Calcul des pertes de charge	28
II.1.12 Calcul du débit de gaz de régénération	30
II.2 Vérification du cas actuel	38
II.3 Comparaison des résultats calculés avec ceux du design	40
Conclusion générale	41

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Diamètres critiques de certaines molécules	11
Tableau II.1 : Composition de la charge (design)	18
Tableau II.2 : Composition de la charge (cas réel)	19
Tableau II.3 : Résultats de calcul du débit massique	20
Tableau II.4 : Résultats du calcul des températures et des pressions critiques du mélange	21
Tableau II.5 : Constantes des tamis B et C.	23
Tableau II.6 : Résultats de calcul obtenus	38
Tableau II.7 : Résultats de calcul obtenus dans le cas actuel	39
Tableau II.8 : Comparaison des résultats calculés	40

Liste des figures

Figure I.1 : Structure I (les hydrates)	2
Figure I.2 : Structure II (les hydrates)	2
Figure I.3 : Composition des hydrates	3
Figure I.4 : Formation des hydrates en pratique	3
Figure I.5 : Tamis moléculaire sous ses différents types	10
Figure I.6 : Structure de tamis moléculaire	12
Figure I.7 : Évolution de la zone de transfert de matière au cours du temps	13
Figure I.8 : Évolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption	14
Figure I.9 : Représentation d'une courbe de rupture	14
Figure I.10 : Schéma simplifié du déshydrateur	16
Figure I.11 : Schéma simplifié de la section déshydratation du gaz	16
Figure II.1 : La variation de la température en fonction du temps de régénération	31

Introduction

Introduction [3]

Le gaz naturel est un mélange très riche en méthane et contient généralement en proportions décroissantes tous les hydrocarbures saturés jusqu'à des points d'ébullition supérieurs à 200 °C. En outre, il renferme en proportions variables de l'azote, du gaz carbonique, des composés sulfurés ainsi que de l'eau provenant de la couche productrice.

Il se trouve sous pression dans les roches poreuses du sous-sol, souvent en solution avec du pétrole brut ou du condensât.

Cette teneur en eau peut être à l'origine de nombreux problèmes qui influent directement sur les équipements en aval de la section de déshydratation, engendrant rapidement un fonctionnement anormal et une perturbation des installations de l'unité.

L'objectif principal de cette étude consiste à la vérification du dimensionnement des déshydrateurs implantés au centre de production (CPF) de la Direction Régionale de Gassi Touil.

L'objectif de ce travail est de :

- ✓ Vérifier les calculs de design et ceux du cas actuel,
- ✓ Vérifier si les déshydrateurs fonctionnent aux conditions optimales dans les conditions actuelles et ce en comparant les calculs de design avec ceux du cas actuel.

Cette unité se compose d'un seul train et a été conçue pour traiter une capacité de gaz brut de 12 millions Sm³/jour.

Ce mémoire est divisé en deux grandes parties :

- ✓ Une partie bibliographique, une description de l'unité CPF et des notions sur les adsorbants et les processus d'adsorption sont présentés.
- ✓ Une partie pratique où les résultats de nos calculs sont présentés et discutés. Une conclusion générale est également présentée en fin de document.

Chapitre I

Principe de déshydratation

CHAPITRE I Principe de déshydratation

I.1 Les hydrates [2] :

I.1.1 Définition :

Les hydrates sont des combinaisons physiques entre l'eau et les autres composés pour produire un solide qui a l'apparence d'un glaçon.

I.1.2 Les formules chimiques des hydrates :

Les hydrates des GPL se présentent sous deux structures différentes :

- Des petites molécules qui forment des corps cubiques centrés (structure I) tels que (CH_4 , C_2H_6 , H_2S)
- Des grandes molécules tels que (C_3H_8 , *i*- C_4H_{10}) qui ont la forme d'un diamant (structure II).

Les figures I.1 et I.2 représente les structures des hydrates [2]

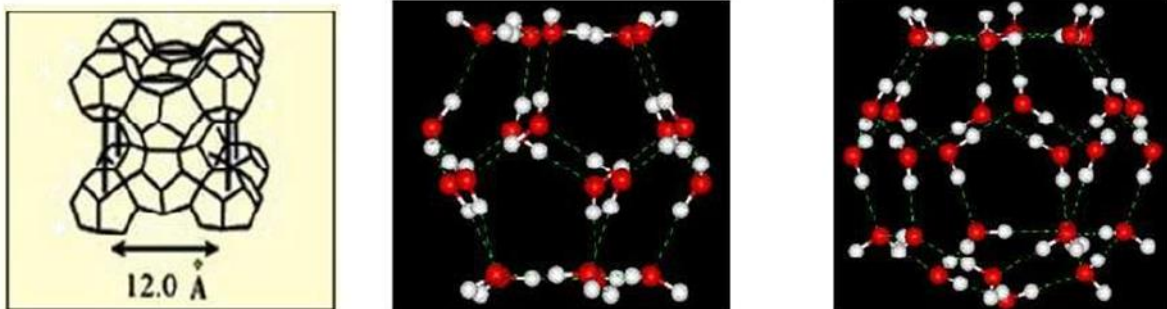


Figure I.1 : Structure I

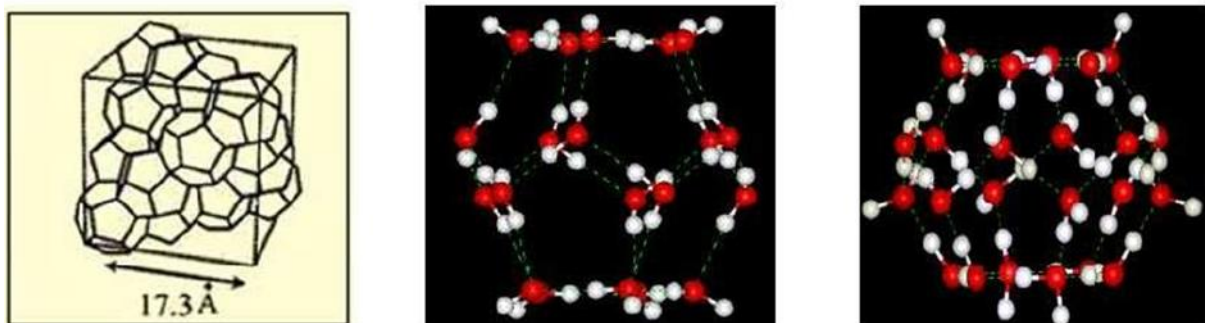


Figure I.2 : Structure II

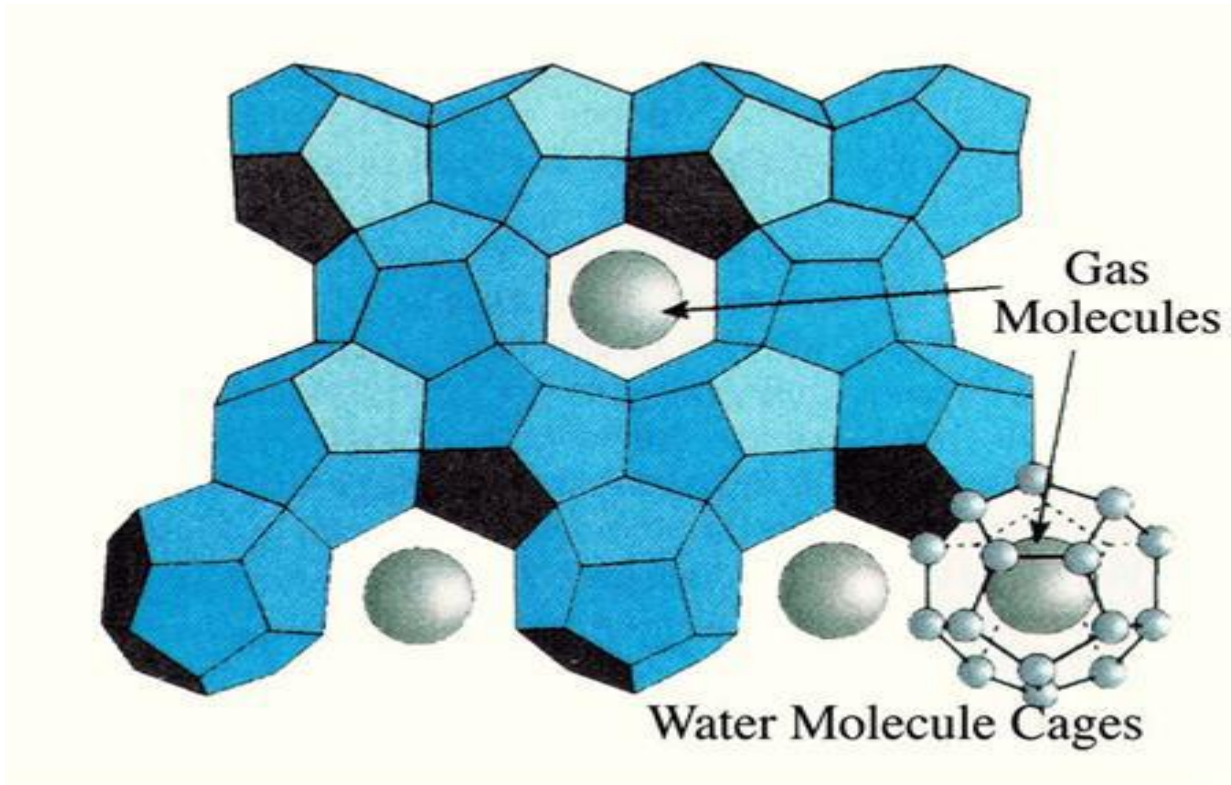


Figure I.3 : Composition des hydrates [2]



Figure I.4 : Formation des hydrates en pratique

I.1.3 Les conditions de formations des hydrates [2] :

Les conditions nécessaires pour la formation d'hydrates sont :

I.1.3.1 Les conditions primaires :

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

I.1.3.2 Les conditions secondaires :

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

I.1.4 Prévention des hydrates [2] :

I.1.4.1 Principe :

La formation des hydrates peut être évitée en se plaçant en dehors des conditions thermodynamiques de formation et en augmentant la température à une pression donnée, ou en abaissant la pression à une température donnée.

La formation des hydrates peut aussi être évitée, par la réduction de la teneur en eau du gaz par une opération de séchage, ou par utilisation d'inhibiteurs.

Les inhibiteurs agissent comme des "antigels". Ce sont des solvants miscibles en phase aqueuse, qui en modifiant la fugacité de l'eau, permettent d'abaisser la température de formation des hydrates.

I.1.4.2 Chauffage :

Pour maintenir le gaz au-dessus de la température de formation des hydrates, une première solution :

Particulièrement appropriée dans le cas d'une ligne de collecte de courte distance, consiste à isoler la conduite.

Si le transport est effectué sur une distance relativement importante, cette méthode, en général, ne suffit pas ou devient d'un coût prohibitif. Un dispositif d'isolation des conduites est souvent associé à un chauffage d'appoint électrique. Le chauffage est assuré soit par des rubans chauffants électriques, soit par induction d'un courant électrique superficiel dans la conduite à chauffer. L'isolation permet d'éviter une consommation d'électricité excessive.

I.1.4.3 Réduction de pression :

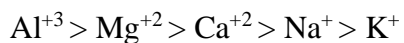
Un abaissement de pression effectué à température fixée représente un des moyens pour sortir du domaine de formation des hydrates.

I.1.5 Utilisation d'inhibiteurs :

I.1.5.1 Sels :

Les électrolytes constituent des inhibiteurs très efficaces. Les sels en solution agissent par attraction des dipôles formés par les molécules d'eau ; les molécules d'eau tendent à s'associer avec les ions en solution, plutôt de former un réseau autour des molécules de gaz en solution. De ce fait, la formation du réseau d'hydrates par les molécules d'eau nécessite à une pression donnée, une température plus basse. Pour la même raison, la solubilité du gaz dans l'eau diminue.

Les sels les plus efficaces comme inhibiteurs correspondent aux cations suivants :



I.1.5.2 Alcools :

Les alcools, notamment les glycols et le méthanol, sont très largement utilisés comme inhibiteurs.

L'éthylène glycol est parmi les glycols, celui qui se prête le mieux à l'inhibition des hydrates. En raison de sa masse molaire plus faible, il est plus efficace, à une concentration massique fixée, que le di éthylène glycol ou le tri éthylène glycol. L'emploi du di éthylène glycol peut toutefois se justifier lorsqu'il s'agit de réduire les pertes de solvant dans le gaz.

D'autre part, lorsque le gaz est déshydraté à l'issue de l'étape de transport, l'emploi du di éthylène glycol comme inhibiteur permet de n'utiliser qu'un solvant unique au cours des étapes de transport et de déshydratation.

I.1.5.3 Autres inhibiteurs :

L'ammoniac est un inhibiteur très efficace, mais il est corrosif, toxique et forme avec le dioxyde de carbone, en présence d'eau, des carbonates qui risquent de former un dépôt solide. En outre, sa tension de vapeur est élevée et il en est difficile à récupérer.

I.2 La déshydratation :

La déshydratation du gaz et des GPL est nécessaire afin d'assurer une exploitation sans problème de l'unité. La déshydratation évite la formation d'hydrates, réduit la corrosion et évite le bouchage des vannes et des échangeurs.

Diverses méthodes ont été appliquées pour éviter l'obturation des conduites de transport ou des installations de traitement des GPL par les hydrates.

La plus courante est : la réduction de la teneur en eau par la déshydratation.

I.2.1 Les modes de déshydratation [2], [3]

Les procédés de déshydratation des gaz peuvent être divisés en 4 catégories

- ✓ Condensation par compression ou refroidissement
- ✓ Déshydratation par adsorption par un liquide
- ✓ Inhibition par injection d'inhibiteurs de formation des hydrates
- ✓ Déshydratation par adsorption sur agents desséchants solides.

Remarque : La compression et le refroidissement sont généralement utilisés comme étapes de pré-déshydratation, avant tout procédé d'adsorption ou d'absorption.

I.2.1.1 Déshydratation par compression ou refroidissement :

La teneur en eau du gaz au point de saturation diminue lorsque la pression augmente ou lorsque la température diminue. Par conséquent, des gaz chauds saturés de vapeur d'eau peuvent être partiellement déshydratés par refroidissement direct ou compression suivie d'un refroidissement.

La température du point de rosée de la vapeur d'eau la plus faible qui puisse être atteinte avec cette méthode est déterminée par le point de formation des hydrates. Des hydrates ne se forment qu'en présence d'eau à l'état liquide. Les cristaux d'hydrates ressemblent à de la glace ou à de la neige humide.

I.2.1.2 Déshydratation par absorption par un liquide :

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

- Affinité élevée pour l'eau
- Faible coût
- Non corrosif
- Stabilité par rapport aux composants du gaz
- Stabilité pendant la régénération

- Facilité de régénération
- Viscosité faible ou moyenne
- Faible pression de vapeur à la température de contact
- Faible solubilité dans le gaz et les hydrocarbures liquides
- Faible tendance à former de la mousse ou des émulsions.

Deux composés organiques répondent de manière satisfaisante à toutes ces exigences : le diéthylène glycol (DEG) et le triéthylène glycol (TEG) ; Le TEG est le composé le plus couramment utilisé, principalement à cause des pertes de vapeur importantes associées à l'utilisation du DEG.

I.2.1.3 Inhibition par injection d'inhibiteurs de formation des hydrates :

a) Injection de Glycol :

La formation des hydrates pendant le refroidissement peut être inhibé par l'injection de glycol liquide. EG, DEG, TEG ont tous été utilisés pour ce type d'application. L'éthylène glycol est le plus populaire à cause de son faible coût et du fait qu'il est le moins soluble dans les hydrocarbures liquides. Le glycol absorbe l'eau, empêchant d'atteindre les conditions dans lesquelles les hydrates d'hydrocarbures solides peuvent se former.

b) Injection de Méthanol :

Le méthanol est souvent injecté dans un courant gazeux pour empêcher la formation d'hydrates. Dans les usines de traitement de gaz, des injections intermittentes de méthanol sont fréquemment utilisées lorsqu'il existe une légère formation d'hydrates.

I.2.1.4. Déshydratation par adsorption sur un dessiccant solide [10] :

a) Définition de l'adsorption :

L'adsorption peut être définie comme étant une opération fondamentale de génie chimique qui exploite l'aptitude de certains solides à concentrer spécifiquement, à leur surface, les constituants d'un mélange permettant ainsi leur séparation.

Le solide est appelé adsorbant et la substance qui s'adsorbe est l'adsorbat.

b) Types d'adsorption :

Il existe deux types d'adsorption qui diffèrent complètement par les énergies mises en jeu et par leur nature :

- ✓ L'adsorption physique ou physisorption ou encore adsorption de Van der Waals.
- ✓ L'adsorption chimique ou chimie-sorption ou encore adsorption activée.

b.1) L'adsorption physique :

C'est un phénomène réversible qui résulte des forces intermoléculaires d'attraction entre les molécules du solide et celles de la substance adsorbée. Les énergies d'adsorption peuvent être de l'ordre de 20 kJ/mole.

b.2) L'adsorption chimique :

Elle résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électrons entre le solide et l'adsorbat. Il y a alors formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant.

Les énergies mises en jeu sont beaucoup élevées, de l'ordre de 200 kJ/mole.

c) Matériaux utilisés pour l'adsorption [2] :

Il existe quatre agents desséchants importants utilisés : le silica gel, l'alumina gel, l'alumine activée et les tamis moléculaires. Ces produits ont des propriétés nettement différentes et la sélection dépend des exigences applicables à l'alimentation et aux produits de l'unité considérée.

Par rapport aux systèmes liquides, les unités de déshydratation par agents desséchants solides offrent les avantages suivants :

- ✓ Aptitude à fournir des points de rosée inférieures à $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- ✓ Insensibilité aux variations modérées de la température, du débit, de la pression du gaz, etc.
- ✓ Simplicité de fonctionnement et de conception des unités.
- ✓ Insensibilité relative aux problèmes de corrosion, moussage, etc.
- ✓ Adaptabilité à la déshydratation de très faibles quantités de gaz à faible coût

Le procédé présente les inconvénients suivants :

- ✓ Coût initial important.
- ✓ Chute de pression en général élevée.
- ✓ Susceptibilité à l'empoisonnement et à la dégradation.
- ✓ Besoin calorifique relativement important.

c.1) Silica gel :

Le silica gel est disponible dans le commerce sous forme de poudre ou de grains de différentes granulométries, ce matériau peut être représenté par la formule $(\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$.

Il est amorphe et hautement poreux, avec des pores d'un diamètre estimé à 40 \AA . Il a la plus grande capacité d'adsorption que tous les adsorbants : $40\text{ kgH}_2\text{O} / 100\text{ kg silica gel}$.

Il est utilisé lorsque la concentration d'eau dans le gaz d'alimentation est très élevée et que le point de rosée du gaz de sortie ne doit pas être inférieur à -60°C (la teneur en eau est 10 ppmv).

c.2) Alumine activée :

L'alumine activée a une forme amorphe, poreuse et partiellement hydratée de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) contenant de très petites quantités avec d'autres matériaux. Elle a une capacité d'adsorption plus faible que le silica gel mais elle peut sécher le gaz à un point de rosée de -75°C (1ppmv de H_2O).

c.3) Aluminagel

L'alumina gel est capable d'abaisser la teneur en eau d'un gaz à environ 10 ppmv (point de rosée de -60°C). Par conséquent, ses capacités de séchage extraordinaires sont similaires à celles du silica gel et supérieures à celles de l'alumine activée.

c.4) Charbon actif :

Les charbons actifs sont de bons adsorbants pour les hydrocarbures et les matières organiques en général ; ils sont surtout utilisés pour les récupérations des solvants.

Cet adsorbant peut être préparé à partir d'un certain nombre de matières premières dont les principales sont : les coquilles de noix et le charbon, son traitement s'effectue thermiquement en absence d'air.

Les charbons actifs sont disponibles sous formes de granulés. Et ils sont régénérés à une température qui ne doit pas dépasser les 150°C .

c.5) Tamis moléculaire :

Les tamis moléculaires forment une structure moléculaire poreuse dont les diamètres des pores sont parfaitement définis.

Un tamis moléculaire est capable d'adsorber environ 10 % de son poids en eau. Il est régénéré par un passage du gaz sec à 200°C .

I.3 Les tamis moléculaires [4] :

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

La Figure I.5 représente les différents types de tamis moléculaire (type céramique) :



Figure I.5 : Tamis moléculaire sous ses différents types

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

Tableau I.1 : Diamètres critiques de certaines molécules [4]

Molécules	Diamètre critique (Å°)
Hydrogène	2,4
Acétylène	2,4
Oxygène	2,8
Monoxyde de carbone	2,8
Dioxyde de carbone	2,8
Azote	3,0
Eau	3,2
Ammoniac	3,6
Sulfure d'hydrogène	3,6
Méthane	4,0
Ethylène	4,2
Ethane	4,4
Méthanol	4,4
Ethanol	4,4
Mercaptan méthylique	4,5
Propane	4,9
Propylène	5,0
Mercaptan éthylique	5,1
Butène	5,1
1,3-Butadiène	5,2
Chlorodifluorométhane (R-22)	5,3
Thiophène	5,3

Les tamis moléculaires sont des adsorbants uniques, et de surcoût sont disponibles.

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

Les types commerciaux importants de tamis moléculaires sont faits de matière synthétique mais leur structure est relativement similaire à certains minéraux naturels pour être classifiés comme zéolites. Bien que les structures cristallines de certains tamis moléculaires soient quelque peu différentes, (deux types : A et X), leur importance en tant qu'agents adsorbants commerciaux, vient du fait que dans chacun d'eux, les cristaux contiennent des cavités d'interconnexion de dimensions uniformes, séparées par des ouvertures plus étroites, ou pores uniformes.

La Figure I.6 représente la structure de tamis moléculaire :

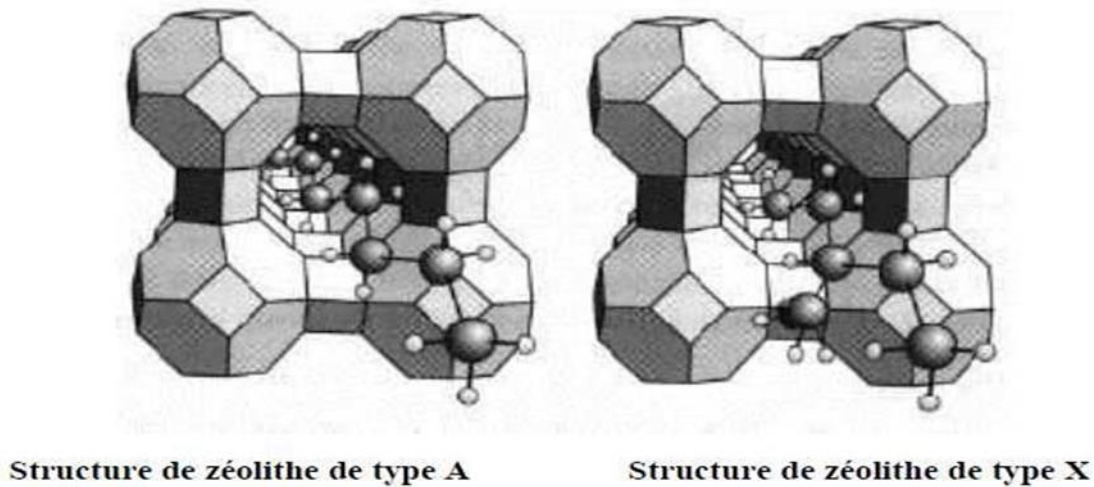


Figure I.6 : Structure de tamis moléculaire (type zéolithe) [4]

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

Les tamis moléculaires sont également caractérisés par leur capacité d'adsorption relativement élevée aux faibles concentrations du matériau adsorbé, et ont une affinité élevée pour les composés de type polaire et non saturé.

I.3.1 Adsorption dynamique [4] :

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 m^2/g , de par leur structure cristalline à pores de dimensions bien déterminées, ont une capacité 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.

I.3.2 Zone de transfert de masse « ZMT » [5] :

A l'intérieur de la colonne d'adsorption contenant des tamis moléculaires, l'adsorption du fluide s'effectue au sein d'une zone appelée : zone de transfert de masse.

Par définition, cette zone est la partie du lit dans laquelle la teneur en adsorbat diminue de la concentration initiale (à l'entrée) à la concentration finale (à la sortie). La zone de transfert de masse est influencée par :

- La vitesse superficielle du fluide à traiter
- La concentration de l'adsorbat dans la charge
- Pureté attendue de la charge (présence de molécules concurrentes)

La Figure I.7 représente l'évolution de la zone de transfert de matière au cours du temps :

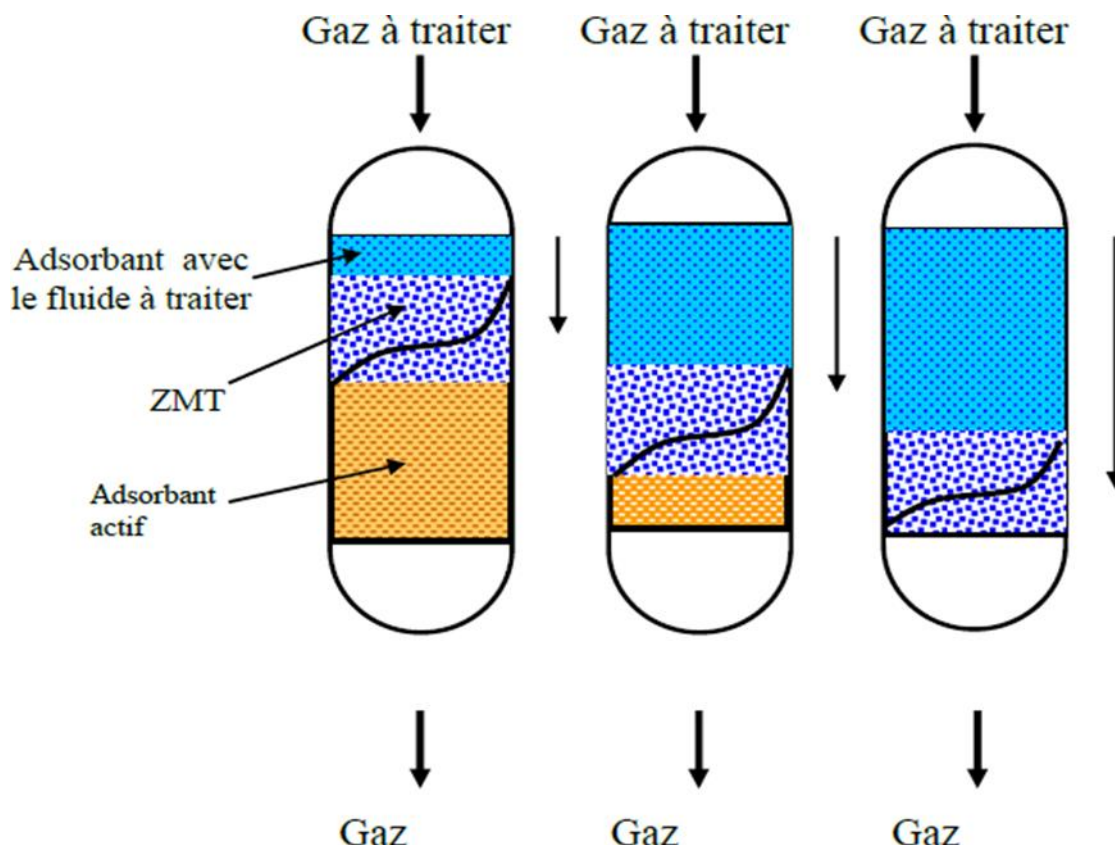


Figure I.7 : Évolution de la zone de transfert de matière au cours du temps [5]

I.3.2.1 Évolution de la concentration de l'adsorbat dans un lit fixe [5] :

La zone de transfert de masse subit une variation où les couches de l'adsorbant se saturent. Ceci s'accompagne d'un déplacement de la ZMT jusqu'à atteindre la sortie de la colonne.

La figure II.8 représente l'évolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption :

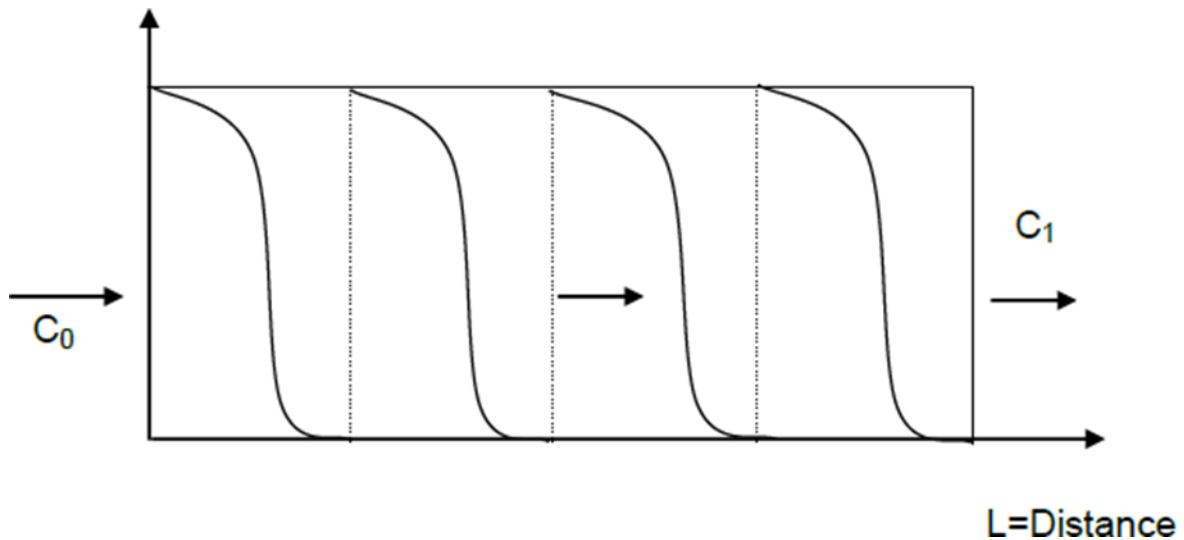


Figure I.8 : Évolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption [5]

I.3.2.2 Temps de rupture et temps de saturation [5] :

L'instant où l'eau apparaît dans la charge à la sortie de la section de déshydratation s'appelle temps de rupture et il s'obtient quand le rapport $C_1/C_0 = 5\%$.

Si la charge continue son passage à travers le lit, on arrive à un instant où la concentration de l'eau dans l'effluent est presque égale à celle contenue dans la charge ($C_1/C_0 = 95\%$), c'est le temps de saturation.

La Figure I.9 représente une courbe de rupture :

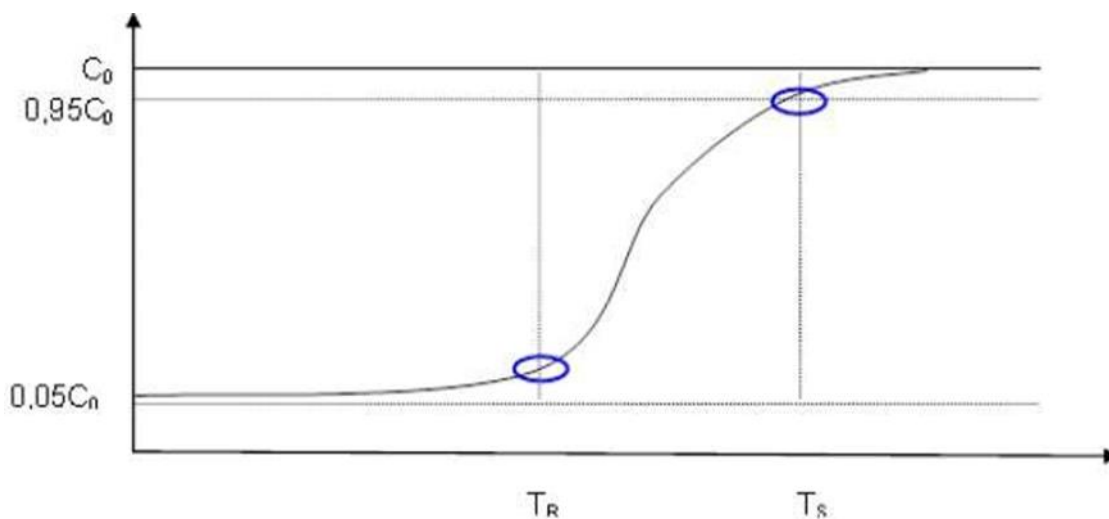


Figure I.9 : Représentation d'une courbe de rupture [5]

T_R : Temps de rupture

T_S : Temps de saturation

I.3.2.3 Effet des variables de conception du lit [6], [7] :

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 que sa concentration d'eau d'entrée chute à essentiellement zéro. La longueur de cette zone est fonction de plusieurs facteurs.

I.3.2.4 Teneur en adsorbat de l'effluent :

La capacité utile du lit adsorbant dépend, en outre, de la teneur en adsorbat 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 adsorbat se traduit par de faible capacité d'adsorption.

I.3.3 Disposition des composants du lit [11] :

La configuration interne des déshydrateurs est la suivante :

Les déshydrateurs comportent au fond des charpentes et des grilles de support métalliques sur lesquelles repose une couche de 75 mm de billes de céramique 1/2'' et 75 mm de céramique 1/4'', une grille de séparation sépare la céramique du lit de tamis moléculaires.

Une seconde grille sépare le lit de tamis de la couche supérieure de céramique 1/8'' d'une hauteur de 150 mm. La couche supérieure de céramique assure une bonne distribution du gaz à travers les déshydrateurs tandis que la couche inférieure est conçue pour absorber les chocs thermiques lors des passages de la phase d'adsorption à la phase de régénération (changement brusque de température).

La figure I.10 représente un schéma simplifié du déshydrateur :

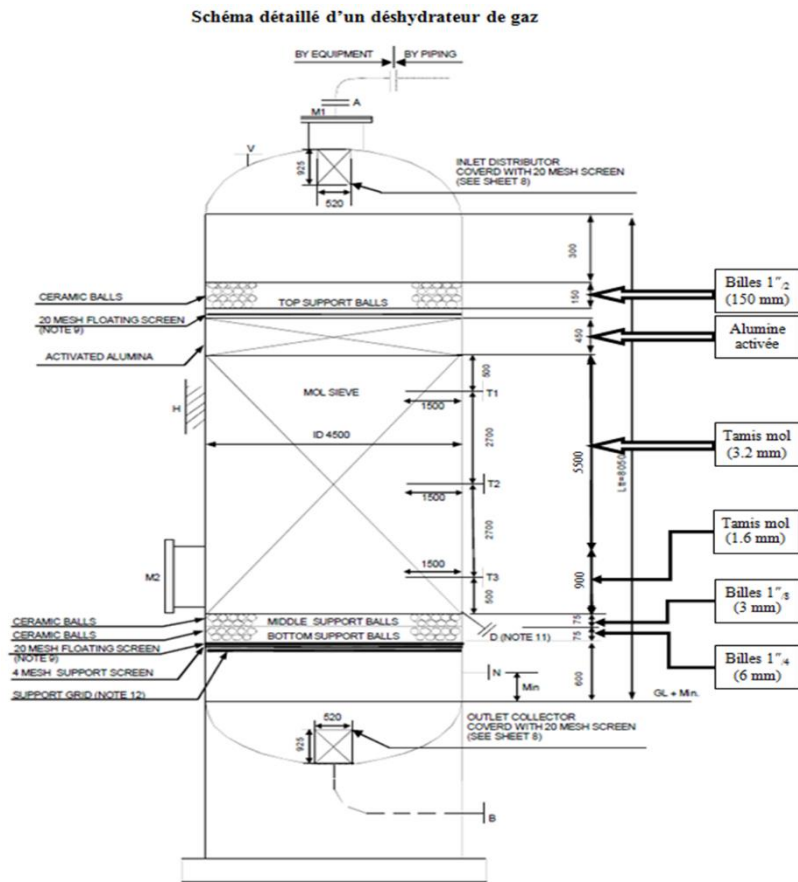


Figure I.10 : Schéma simplifié du déshydrateur [11]

I.3.4 Schéma de la section de déshydratation [1] :

La figure I.11 représente un schéma simplifié de la section déshydratation du gaz.

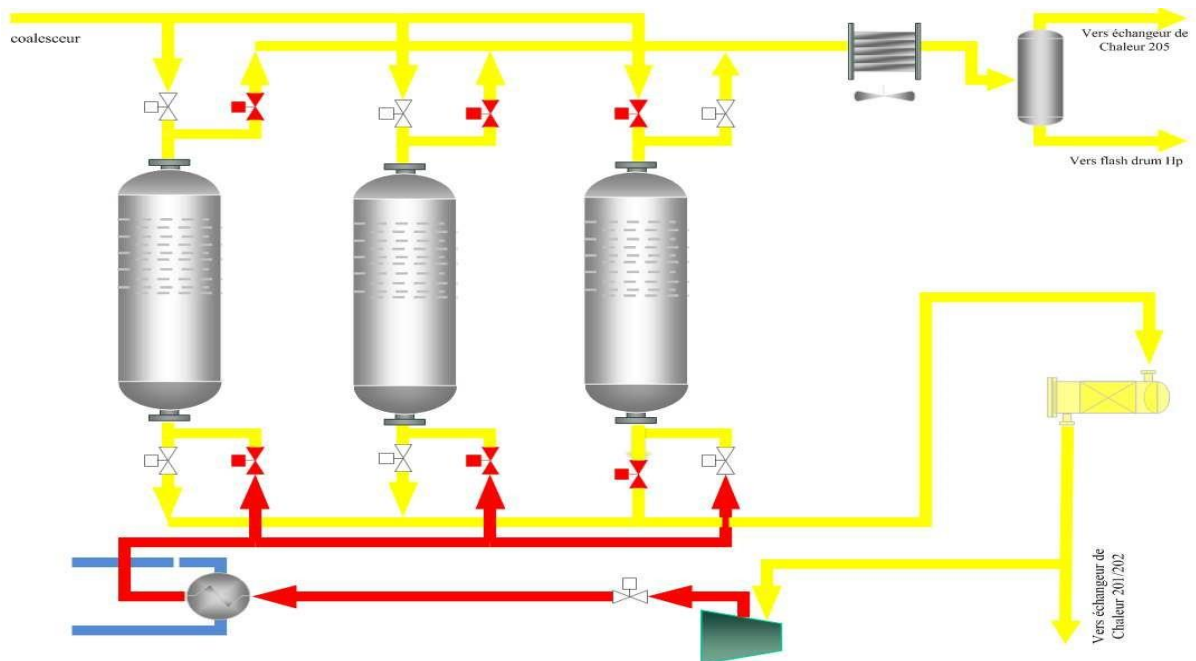


Figure I.11 : Schéma simplifié de la section déshydratation du gaz [1]

Chapitre II

Résultats et

Discussions

CHAPITRE II

Résultats et discussion

L'objectif principal de notre étude consiste en la vérification du dimensionnement des déshydrateurs comprenant :

- ✓ Le calcul de dimensionnement de lit (diamètre, hauteur, épaisseur)
- ✓ Le calcul de quantité d'eau adsorbée
- ✓ Le calcul de la quantité des tamis moléculaires
- ✓ Le calcul des pertes de charge
- ✓ La vérification du débit de gaz de régénération

Fiche technique [16] :

A) Données sur le déshydrateur (G11-VK-24-101 -A/B/C) [13] :

Nombre de déshydrateurs : 3 identiques (deux en adsorption, et un en régénération)

Diamètre intérieur de la colonne : 4,5 m

Hauteur totale du lit : 6,4 m

Temps de cycle : 18 heures :

- ✓ Adsorption : 12 heures
- ✓ Ramp-Up : 0,7 heures
- ✓ Chauffage : 3 heures
- ✓ Refroidissement : 1,8 heures
- ✓ Stand-by : 0.5 heures

B) Conditions opératoires :

B.1) Conditions opératoires du design [1] :

Pression : 68,6 bars Température : 37,7 °C

Débit volumique de gaz : 7543,8 m³/h

La composition du gaz alimentant le déshydrateur est donnée par le tableau III.1

Tableau II.1 : Composition de la charge (design)

Composition	Molaire
N ₂	0,0214
CO ₂	0,0091
C ₁	0,8375
C ₂	0,0790
C ₃	0,0288
i-C ₄	0,0058
n-C ₄	0,0079
i-C ₅	0,0032
n-C ₅	0,0022
n-C ₆	0,0023
n-C ₇	0,0011
n-C ₈	0,0002
n-C ₉	0,0001
n-C ₁₀	0,0000
n-C ₁₁	0,0001
H ₂ O	0,0012
TOTAL	1

B.2) Conditions opératoires du cas actuel (Mars 2021) :

Pression : 68,6 bars

Température : 33,8 °C

Débit volumique de gaz : 7339,7 m³/h

La composition du gaz alimentant les déshydrateurs est donnée par le tableau II.2

Tableau II.2 : Composition de la charge (cas actuel)

Composition	Molaire
N ₂	0,0229
CO ₂	0,0107
C ₁	0,8319
C ₂	0,0825
C ₃	0,0292
i-C ₄	0,0057
n-C ₄	0,0076
i-C ₅	0,0029
n-C ₅	0,0020
n-C ₆	0,0019
n-C ₇	0,0013
n-C ₈	0,0002
n-C ₉	0,0001
n-C ₁₀	0,0000
n-C ₁₁	0,0001
H ₂ O	0,0010
TOTAL	1

B) Données sur l'adsorbant :

- Tamis moléculaire : "JFO-8042(UI-94)"
- Masse volumique du tamis tassé : 655 kg/m³
- Diamètre moyen des particules 1/8" : 3.17 mm
- Diamètre moyen des particules 1/16" : 1.58 mm

D) Gaz de régénération :

La régénération du tamis moléculaire s'effectue par un gaz sec qui est soutiré du gaz déshydraté (gaz de sortie du déshydrateur)

- Température de régénération : 275 °C
- Débit de gaz de régénération : 74680 kg/h.

Dans ce qui suit, nous allons présenter les résultats obtenus au cours du dimensionnement du déshydrateur.

II.1 Vérification du design :

II.1.1 Calcul du débit de chaque composition :

On va calculer le débit massique de chaque composant avec l'équation suivante :

$$Q_{massique} = Q_{molaire} \sum M_i * Y_i$$

Avec :

$Q_{molaire}$: débit molaire

M_i : masse molaire du constituant i

y_i : fraction molaire du constituant i

$Q_{molaire} = 24394.5 \text{ kmol/h}$

Le Tableau II.3 représente les résultats de calcul du débit massique de chaque composition

Tableau II.3 : les résultats de calcul du débit massique

Composition	Yi	Mi	kmol/h	kg/h
N ₂	0,0214	28,02	522,0958	14 629,12
CO ₂	0,0091	44,01	222,0127	9 770,78
C ₁	0,8375	16,04	20 432,4875	327 737,10
C ₂	0,0790	30,07	1 927,3630	57 955,81
C ₃	0,0288	44,09	702,6336	30 979,12
i-C ₄	0,0058	58,12	141,5026	8 224,13
n-C ₄	0,0079	58,12	192,7363	11 201,83
i-C ₅	0,0032	72,15	78,0704	5 632,78
n-C ₅	0,0022	72,15	53,6734	3 872,54
n-C ₆	0,0023	86,17	56,1131	4 835,27
n-C ₇	0,0011	100,20	26,8367	2 689,04
n-C ₈	0,0002	114,23	4,8794	557,37
n-C ₉	0,0001	128,25	2,4397	312,89
n-C ₁₀	0,0000	142,28	0,0000	0,0000
n-C ₁₁	0,0001	156,31	2,4397	381,35
H ₂ O	0,0012	18,02	29,2764	527,56
TOTAL	0,9999		24394,5	479306

D'après le tableau :

$$Q_{massique} = 479306 \text{ kg/h}$$

II.1.2 Calcul du facteur de compressibilité Z [8] :

II.1.2.1 Calcul de la température et de la pression critique du mélange :

On va calculer d'abord la température et la pression critique du mélange avec les équations :

$$T_{cm} = \sum Y_i * T_{ci} \quad \text{et} \quad P_{cm} = \sum Y_i * P_{ci}$$

Avec :

P_{cm} : Pression critique du mélange

T_{cm} : Température critique du mélange ; T_{ci} : Température critique du constituant i ;

P_{ci} : Pression critique du constituant i

y_i : Fraction molaire du constituant i

Les résultats obtenus des températures et des pressions critique du mélange regroupés dans le Tableau II.4

Tableau II.4: Les résultats des températures, pressions critiques du mélange

Composition	Y_i	T_{ci}	P_{ci}	$Y_i * T_{ci}$	$Y_i * P_{ci}$	M_i	$Y_i * M_i$
N ₂	0,0214	126,20	492,45	2,7007	10,5384	28,02	0,5996
CO ₂	0,0091	304,20	1073,45	2,7682	9,7684	44,01	0,4005
C ₁	0,8375	191,10	673,26	160,0463	563,8553	16,04	13,4335
C ₂	0,0790	305,50	708,54	24,1345	55,9747	30,07	2,3755
C ₃	0,0288	370,00	617,40	10,6560	17,7811	44,09	1,2698
i-C ₄	0,0058	408,10	529,20	2,3670	3,0694	58,12	0,3371
n-C ₄	0,0079	425,20	551,25	3,3591	4,3549	58,12	0,4591
i-C ₅	0,0032	461,00	483,63	1,4752	1,5476	72,15	0,2309
n-C ₅	0,0022	469,80	489,51	1,0336	1,0769	72,15	0,1587
n-C ₆	0,0023	507,90	439,53	1,1682	1,0109	86,17	0,1982
n-C ₇	0,0011	540,20	396,90	0,5942	0,4366	100,20	0,1102
n-C ₈	0,0002	569,40	372,45	0,1139	0,0745	114,23	0,0228
n-C ₉	0,0001	594,70	330,69	0,0595	0,0331	128,25	0,0128
n-C ₁₀	0,0000	617,70	306,03	0,0000	0,0000	142,28	0,0000
n-C ₁₁	0,0001	688,80	291,23	0,0689	0,0291	156,31	0,0156
H ₂ O	0,0012	647,40	218,30	0,7769	0,2620	18,02	0,0216
TOTAL	0,9999			211,3220	669,8128		19,6461

D'après le tableau nous obtenons :

$$T_{cm} = 211,32 \text{ K} \quad P_{cm} = 669,81 \text{ psi}$$

II.1.1.2 Calcul de la température et de la pression réduite :

On va calculer la température et la pression réduite avec les équations suivantes :

$$T_{rm} = \frac{T}{T_{cm}} \quad \text{et} \quad P_{em} = \frac{P}{P_{cm}}$$

Avec :

T_{rm} : Température réduite du mélange

P_{rm} : Pression réduite du mélange

T : Température de service (37.7+273.15) K

P : Pression de service 68.6 bar (994.7 psi)

Nous obtenons :

$$T_{rm} = 1,47$$

$$P_{rm} = 1,49$$

En utilisant l'abaque de l'annexe A à ($T_{rm} = 1,47$, $P_{rm} = 1,49$), nous obtenons :

$$Z = 0,84$$

II.1.3 Calcul de la densité relative du gaz [11] :

La densité relative du gaz est calculée par l'équation suivante :

$$d_g = \frac{M_w}{M_{w\ air}}$$

Avec :

M_w : masse moléculaire du gaz (19.72 g/mole)

d_g : densité relative du gaz

$M_{w\ air} = 29$ g / mole

Nous obtenons :

$$d_g = 0,68$$

II.1.4 Calcul de la masse volumique du gaz [8] :

En appliquant l'équation suivante :

$$\rho_g = \frac{PM_w}{ZRT}$$

Avec : $Z = 0.84$

T : Température de service

Nous obtenons :

$$\rho_g = 62,11 \text{ kg/m}^3$$

II.1.5 Calcul de la vitesse superficielle du gaz [7] :

L'équation suivante donne la vitesse superficielle du gaz notée V_g :

$$V_g = \left[\frac{(\Delta P/L)}{C * \rho_g} \right]^{1/2} - \left[\left(\frac{B}{C} \right) * \left(\frac{\mu / \rho_g}{2} \right) \right]$$

Avec :

μ : viscosité du gaz

ρ_g : Masse volumique du gaz

B et C : constantes qui dépendent du type de tamis composé des billes 1/8" et 1/16".

$\mu = 0,014$ cP

$\rho_g = 62,11$ kg/m³ = 3,87 lb/ft³

Les constantes des tamis moléculaire 1/8" et 1/16" sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau II.5 : Constantes des tamis B et C.

Type de tamis	B	C
1/8''	0,0722	0,000124
1/16''	0,238	0,000210

Le dimensionnement est basé sur une perte de charge estimée entre 0,31 - 0,44 psi/ft (≤ 0.5 d'après le design).

Pour nos calculs, on prendra une perte de charge $\Delta P/L = 0,35$ psi/ft

Après tout calcul fait, nous obtenons :

➤ **Pour le tamis 1/8" :**

$$V_g = \left[\frac{(0.35)}{0.000124 * 3.87} \right]^{1/2} - \left[\left(\frac{0.0722}{0.000124} \right) * \left(\frac{0.014 / 3.87}{2} \right) \right]$$

$V_g = 25,97$ ft/min

$V_g = 7,92$ m/min

➤ **Pour le tamis 1/16" :**

$$V_g = \left[\frac{(0.35)}{0.000210 * 3.87} \right]^{1/2} - \left[\left(\frac{0.238}{0.000210} \right) * \left(\frac{0.014 / 3.87}{2} \right) \right]$$

$$V_g = 18,80 \text{ ft / min}$$

$$V_g = 5,73 \text{ m/min}$$

On prend la vitesse max suivante (plus favorable) : $V_g = 25,97 \text{ ft/min} = 7,92 \text{ m/min}$

II.1.6 Débit volumique de gaz aux conditions opératoires [11] :

En appliquant l'équation :

$$q_a = \frac{Q}{1440} * \frac{P_s}{P} * \frac{T}{T_s} * Z$$

Avec :

Q : débit de gaz

q_a : débit volumique de gaz dans les conditions opératoires

P_s : pression à la condition standard

P : pression de service

T_s : température à la condition standard

T : température de service

Q = 11776220.69 Sm³/J, chaque sécheur de gaz = 5888110.345 Sm³/J

T_s = 15 °C

P_s = 1 bar

Donc :

$$q_a = \frac{5888110.345}{1440} * \frac{1}{68.6} * \frac{37.7}{15} * 0.84$$

On aura :

$$q_a = 125.84 \text{ m}^3/\text{min}$$

II.1.7 Diamètre du lit [7] :

L'équation suivante donne le diamètre du lit qui noté D :

$$D = \left(\frac{4 q_a}{\pi V_g} \right)^{0.5}$$

Avec :

V_g : vitesse superficielle du gaz

q_a : débit volumique de gaz à la condition opératoire

Donc :

$$D = \left(\frac{4 * 125.84}{13.4 * 7.92} \right)^{0.5}$$

Nous obtenons :

$$D = 4.49 \text{ m}$$

II.1.8 Hauteur du lit :

II.1.8.1 Calcul du flux d'adsorption d'eau [8] :

Le flux d'adsorption d'eau est donné par l'équation suivante :

$$q_{eau} = \frac{Q * Y_w * 4}{D^2 * \pi * 24}$$

Avec :

Q : débit volumique du gaz

D : diamètre de lit

Y_w : teneur en eau dans l'alimentation

En utilisant l'abaque exprimant la teneur d'eau dans le gaz (Annexe B)

À ($T=99.86^\circ\text{F}$ et $P=994.7 \text{ psi}$), on trouve $Y_w = 59 \text{ lb H}_2\text{O/MMScF}$ de gaz

$Q = 13.85 \text{ MMScM/j}$

$Y_w = 59 \text{ lb H}_2\text{O/MMScF} = 885 \text{ kg H}_2\text{O/MMScM}$

Donc :

$$q(\text{eau}) = \frac{13.85 * 885 * 4}{(4.49)^2 * 3.14 * 24}$$

Nous obtenons :

$$q_{eau} = 32.27 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{h.m}^2$$

II.1.8.2 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse [7] :

La zone de transfert de masse est donnée par l'équation suivante :

$$L_{ZTM} = \left(\frac{V_g}{35} \right)^{0.3} * Z'$$

Avec :

V_g : vitesse superficielle du gaz

L_{ZTM} : hauteur de la zone de transfert de masse

Z' : constante ;

Pour les tamis moléculaires 1/8'' : $Z'=1,70$

Soit :

$$L_{ZTM} = \left(\frac{25.97}{35}\right)^{0.3} * 1.7$$

Nous obtenons :

$$L_{ZTM} = 1,55 \text{ ft}$$

$$L_{ZTM} = 0,47 \text{ m}$$

II.1.8. 3 Hauteur minimale (d'adsorption) du déshydrateur :

La hauteur d'adsorption du déshydrateur est donnée par l'équation suivante :

$$h_{ad} = \frac{\theta_B * q_{eau}}{0.01 * X * \rho_t}$$

Avec :

X : capacité d'adsorption à 1100 cycles.

θ_B : temps d'adsorption

ρ_t : masse volumique du tamis moléculaire

X : 10,9 %

θ_B : 12 h

Soit :

$$h_{ad} = \frac{12 * 32.27}{0,01 * 10.9 * 655}$$

Nous obtenons :

$$h_{ad} = 5.42 \text{ m}$$

II.1.8. 4 Hauteur totale du déshydrateur :

La hauteur totale du tamis moléculaire est la somme des hauteurs de la zone d'adsorption et de la zone de transfert de matière, et en tenant compte également d'une hauteur de sécurité supplémentaire de la zone d'adsorption de **10%**.

$$h_t = 1.1 * h_{ad} + h_z$$

Soit: $h_t = 1,1 * 5,42 + 0,47$

$$h_t = 6.43 \text{ m}$$

II.1.9 Épaisseur du déshydrateur [8] :

L'épaisseur est calculée par l'équation suivante :

$$e = \frac{P * (D/2)}{SE - P * Y}$$

Avec :

e : épaisseur du déshydrateur

P : pression de service

D : diamètre de déshydrateur

SE : contrainte maximale ou taux de travail du métal

Y : limite d'élasticité

SE = 18900 psi = 1303,1 bar

Y = 0,4

Soit :

$$e = \frac{68.6 * (4.49/2)}{1303.1 - 68.6 * 0.4}$$

Nous trouvons :

$$e = 0,1206 \text{ m} = 120.6 \text{ mm}$$

Le design prévoit une surépaisseur de corrosion de 3,2 mm

Donc :

$$e = 123,8 \text{ mm}$$

II.1.10 Masse totale du tamis moléculaire [8] :

La masse totale du tamis moléculaire est donnée par l'équation suivante :

$$m_t = \frac{\rho_t * \pi * D^2 * h_t}{4}$$

Avec :

ρ_t : masse volumique du tamis moléculaire

h_t : hauteur totale du lit

D : diamètre du lit

Soit :

$$m_t = \frac{655 * 3.14 * 4.49^2 * 6.43}{4}$$

Nous trouvons :

$$m_t = 66652,22 \text{ kg}$$

II.1.11 Calcul des pertes de charge :

II.1.11.1 Calcul des pertes de charge à travers le lit du tamis moléculaire :

Les pertes de charge, à travers le lit du tamis moléculaire, sont données par l'équation suivante :

$$\frac{\Delta P}{H} = A * \mu * V_g + B * \rho_g * V_g^2$$

Avec :

μ : viscosité dynamique en centpoises

ρ_g : masse volumique du gaz

V_g : vitesse superficielle

A : constante

B : constante

H : hauteur totale du lit actuel

A=0,054

B=1,9*10⁻⁵

Soit :

$$\frac{\Delta P}{H} = 0.054 * 0.014 * 7.92 + 1.9 * 10^{-5} * 62.11 * (7.92)^2$$

$$\Delta P = 0,075 \times H = 0,075 \times 6,43$$

Nous obtenons :

$$\Delta P = 0,482 \text{ bar}$$

II.1.11.2 Calcul des pertes de charge à travers les billes de céramique :

Les pertes de charge, à travers les billes de céramique, sont la somme des pertes de charge de billes de céramique (1/2"+ 1/4"+ 1/8")

$$\Delta P_{bille\text{ céramique}} = \Delta P_{1/2"} + \Delta P_{1/4"} + \Delta P_{1/8"}$$

a) Calcul des pertes de charge à travers les billes de céramique 1/2" :

Les pertes de charge, à travers les billes de céramique, sont données par l'équation suivante :

$$\frac{\Delta P}{H} = \left[0.025 * \frac{(1 - \epsilon)^2}{\epsilon^3} * \mu * \frac{V_g}{D_p} \right] + \left[4.861 * 10^{-6} * \frac{(1 - \epsilon)}{\epsilon^3} * d_g * \frac{V_g^2}{D_p} \right]$$

Avec :

μ : viscosité dynamique en centpoise

d_g : densité du gaz

$$D_p = 12 \text{ mm}$$

V_g : vitesse superficielle

$$\varepsilon = 0.43$$

D_p : diamètre équivalent des billes

$$H = 0.150 \text{ m}$$

ε : pourcentage de vide

H : hauteur de bille de céramique

Soit :

$$\frac{\Delta P}{H} = \left[0.025 * \frac{(1 - 0.43)^2}{(0.43)^3} * 0.014 * \frac{7.92}{12} \right] + \left[4.861 * 10^{-6} * \frac{(1 - 0.43)}{(0.43)^3} * 62.11 * \frac{7.92^2}{12} \right]$$

$$\Delta P = 0.0122 * 0.150$$

Soit :

$$\Delta P_{1/2''} = 0.00183 \text{ bar}$$

b) Calcul des pertes de charge à travers les billes de céramique 1/4" :

On applique la même équation de perte de charge précédente avec :

$$D_p = 6 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 0.4$$

$$H = 0.075 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta P}{H} = \left[0.025 * \frac{(1 - 0.4)^2}{(0.4)^3} * 0.014 * \frac{7.92}{6} \right] + \left[4.861 * 10^{-6} * \frac{(1 - 0.4)}{(0.4)^3} * 62.11 * \frac{7.92^2}{6} \right]$$

$$\Delta P = 0.03213 * 0.075$$

Soit :

$$\Delta P_{1/4''} = 0.00241 \text{ bar}$$

c) Calcul des pertes de charge à travers les billes de céramique 1/8" :

On applique la même équation de perte de charge précédente avec :

$$D_p = 3 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 0,37$$

$$H = 0,075 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta P}{H} = \left[0.025 * \frac{(1 - 0.37)^2}{(0.37)^3} * 0.014 * \frac{7.92}{3} \right] + \left[4.861 * 10^{-6} * \frac{(1 - 0.37)}{(0.37)^3} * 62.11 * \frac{7.92^2}{3} \right]$$

$$\Delta P = 0.0856 * 0.075$$

$$\Delta P_{1/8''} = 0.00642 \text{ bar}$$

Soit :

$$\Delta P_{\text{bille céramique}} = 0.00183 + 0.00241 + 0.00642$$

Nous obtenons : $\Delta P_{\text{bille céramique}} = 0.01066 \text{ bar}$

II.1.11.3 Pertes de charge totale au travers le déshydrateur :

Les pertes de charge totale sont données par l'équation suivante :

$$\Delta P_{\text{totale}} = \Delta P_{\text{tamis moléculaire}} + \Delta P_{\text{pille céramique}}$$

Soit : $\Delta P_{\text{totale}} = 0.483 + 0.01066$

Nous obtenons :

$$\Delta P_{\text{totale}} = 0.493 \text{ bar}$$

II.1.12 Calcul du débit de gaz de régénération :

II.1.12.1 phase de chauffage :

La quantité de chaleur fournie pour la régénération est égale à la chaleur nécessaire pour le chauffage du déshydrateur plein depuis une température initiale jusqu'à la température de régénération.

Cette quantité de chaleur est la somme des énergies suivantes :

- Chauffage du lit du tamis
- Chauffage des billes en céramiques
- Chauffage de la colonne vide
- Chauffage et désorption de l'eau
- Chauffage et désorption des hydrocarbures liquides entraînés
- Les pertes vers l'extérieur

La variation de la température des particules du tamis, contenue dans le déshydrateur en fonction du temps de régénération, est représentée dans la figure III.1:

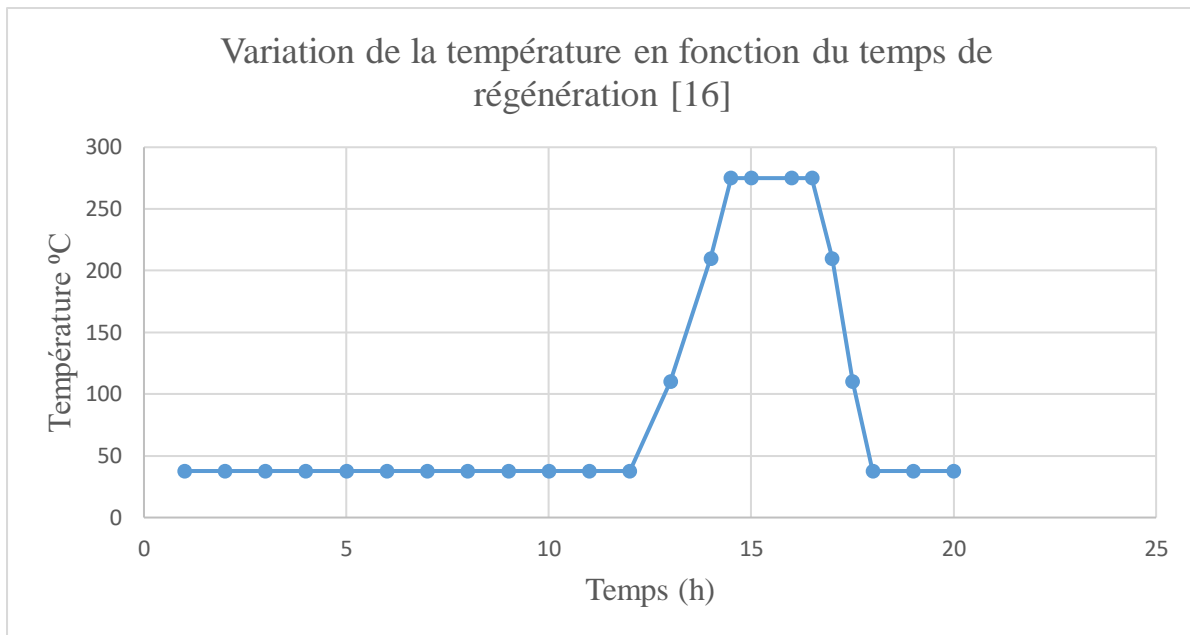


Figure II.1 : Variation de la température en fonction du temps de régénération [11]

D’après le graphe on distingue quatre étapes de fonctionnement du déshydrateur en fonction du temps :

0h→12h : la température est constante 37.7°C, phase d’adsorption.

12h→12.7h : augmentation de la température graduellement 37.7°C jusqu’au 275°C, phase de ramp-up.

12.7h→15.7h : la température est constante 275°C, phase de chauffage.

15.7h→17.5h : diminution de la température 275°C jusqu’au 37.7°C, phase de refroidissement.

17.5h→18h : la température est stable, phase stand-by. Le déshydrateur prêt au d’adsorption.

A) Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer le lit de tamis moléculaires :

La quantité de chaleur nécessaire pour chauffer le lit de tamis moléculaires est donnée par l’équation suivante :

$$Q_{tm} = m_{tm} * C_{ptm} * (T_{régénération} - T_{adsorption})$$

Où :

m_{tm} : masse du tamis moléculaire contenu dans la colonne

C_{ptm} : chaleur spécifique du tamis moléculaire

$T_{régénération}$: température de régénération

$T_{adsorption}$: température d’adsorption

$C_{ptm} = 0,837 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$

Soit :
$$Q_{tm} = 66652.22 * 0.837 * (275 - 37.7)$$

Nous obtenons :

$$Q_{tm} = 13238470,60 \text{ kJ}$$

B) Quantité de chaleur absorbée par le métal (virole)

La quantité de chaleur absorbée par le métal est donnée par l'équation suivante :

$$Q_{tm} = m_m * C_{Pm} * (T_{régénération} - T_{adsorption})$$

Avec :

m_m : masse du déshydrateur à vide

C_{Pm} : chaleur spécifique du métal

$$m_m = 314000 \text{ kg}$$

$$C_{Pm} = 0.502 \text{ kJ/kg. } ^\circ\text{C}$$

Soit :
$$Q_m = 314000 * 0.502 * (275 - 37.7)$$

Nous obtenons :

$$Q_m = 37436121,47 \text{ kJ}$$

C) Quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique :

La quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique est donnée par l'équation suivante

$$Q_c = m_c * C_{Pc} * (T_{régénération} - T_{adsorption})$$

Où

m_c : masse totale de la bille de céramique

C_{Pc} : chaleur spécifique de la céramique

$$C_{Pc} = 1,047 \text{ kJ/kg. } ^\circ\text{C}$$

C.1) Calcul de la masse des billes de céramique :

La masse de céramique est donnée par l'équation suivante :

$$m_c = V'_c * \rho_c$$

Avec :

$$V'_c = S * h$$

Où :

V'_c : volume réel de céramique

ρ_c : masse volumique de céramique

V_c : volume de céramique

S : section du déshydrateur

h : hauteur de céramique

ε : pourcentage de vide

$$S = 15,82 \text{ m}^2$$

$$\rho_c = 1400 \text{ kg/m}^3$$

C.1.1) Masse des billes de céramique 1/2"

On a : Hauteur des billes de céramique 1/2" = 0,150 m

$$\varepsilon = 0,4$$

$$\text{Soit : } V_c^{1/2''} = 15,82 * 0,150$$

$$\text{D'où : } \quad \quad \quad \mathbf{V_c^{1/2''} = 2.373 \text{ m}^3}$$

$$\text{Donc } m_c^{1/2''} = 2.373 * 1400$$

$$\text{Nous obtenons : } \quad \quad \quad \mathbf{m_c^{1/2''} = 3322.2 \text{ kg}}$$

C.1.2) Masse des billes de céramique 1/4"

On a :

Hauteur des billes de céramique 1/4" = 0,075 m

$$\varepsilon = 0,4$$

$$\text{Soit : } V_c^{1/4''} = 15,82 * 0,075 = 1,186 \text{ m}^3$$

$$\text{D'où : } \quad \quad \quad \mathbf{V_c^{1/4''} = 1.186 \text{ m}^3}$$

$$\text{Soit : } m_c^{1/4''} = 1,186 * 1400$$

$$\text{Nous obtenons : } \quad \quad \quad \mathbf{m_c^{1/4''} = 1660.4 \text{ kg}}$$

C.1.3) Masse des billes de céramique 1/8"

On a :

Hauteur des billes de céramique 1/8" = 0,075 m

$$\varepsilon = 0,37$$

$$\text{Soit : } V_c^{1/8''} = 15,82 * 0,075 = 1,186 \text{ m}^3$$

$$\text{D'où : } \quad \quad \quad \mathbf{V_c^{1/8''} = 1.186 \text{ m}^3}$$

$$\text{Soit : } m_c^{1/8''} = 1,186 * 1400$$

$$\text{Nous obtenons : } \quad \quad \quad \mathbf{m_c^{1/8''} = 1660.4 \text{ kg}}$$

C.1.4) Masse totale des billes de céramique

La masse totale des billes de céramique est

$$m_c = m_c^{1/2''} + m_c^{1/4''} + m_c^{1/8''}$$

Nous trouvons :

$$m_c = 6643 \text{ kg}$$

$$\text{Donc : } Q_c = 6643 * 1,047 * (275 - 37,7)$$

$$\text{Nous trouvons : } Q_c = 1650473,94 \text{ kJ}$$

D) Quantité de chaleur nécessaire pour désorber l'eau :

La quantité de chaleur nécessaire pour désorber l'eau est donnée par l'équation suivante :

$$Q_e = (m_e * C_{pe} * \Delta T) + (m_e * \Delta H_e)$$

Sachant que :

m_e : quantité d'eau adsorbée par cycle (12 h)

C_{pe} : chaleur spécifique de l'eau

ΔH_e : chaleur latente de désorption de l'eau

$$m_e = 527,56 * 12 = 6330,72 \text{ kg/cycle}$$

$$C_{pe} = 4,1868 \text{ kJ/kg. } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta H_e = 1349,08$$

$$\text{Donc : } Q_e = [6330,72 * 4,1868 * (275 - 37,7)] + (6330,72 * 1349,08)$$

Nous trouvons :

$$Q_e = 14830393,04 \text{ kJ}$$

E) Quantité de chaleur nécessaire pour désorber les hydrocarbures :

La quantité de chaleur nécessaire pour désorber les hydrocarbures est donnée par l'équation suivante :

$$Q_{hc} = (m_{hc} * C_{phc} * \Delta T) + (m_{hc} * \Delta H_{hc})$$

Avec :

m_{hc} : quantité d'hydrocarbure adsorbée par cycle

C_{phc} : chaleur spécifique du gaz

ΔH_{hc} : chaleur latente de désorption des hydrocarbures

$$C_{phc} = 3,81 \text{ kJ/kg. } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta H_{hc} = 232,6 \text{ kJ/kg}$$

La quantité d'hydrocarbures adsorbée représente 10% de la masse d'eau adsorbée par les tamis moléculaires.

$$m_{hc} = 0,1 * m_{hc}$$

Nous obtenons : $m_{hc} = 0,1 * 6330,72 = 633,072 \text{ kg}$

$$\text{Soit : } Q_{hc} = [633,072 * 3,81 * (275 - 37,7)] + (633,072 * 232,6)$$

Nous obtenons :

$$Q_{hc} = 719621,17 \text{ kj}$$

F) Les pertes de chaleur à travers le déshydrateur et les conduites :

Les pertes de chaleur à travers les parois du déshydrateur et les conduites, sont estimées à 10% de la quantité de chaleur globale calculée.

La quantité de chaleur totale, à fournir, est donnée par l'équation suivante :

$$Q_f = 1,1 * (Q_{tm} + Q_m + Q_e + Q_c + Q_{hc})$$

$$\text{Soit : } Q_f = 1,1 * (13238470,6 + 37436121,47 + 1650473,94 + 14830393,04 + 719621,17)$$

Nous obtenons :

$$Q_f = 74662588,24 \text{ kj}$$

F.1) Quantité de chaleur totale à fournir par heure :

La durée de chauffage est 3 heures :

$$Q_{ch} = \frac{Q_f}{3}$$

$$\text{Soit : } Q_{ch} = 74662588,24 / 3$$

$$\text{Nous trouvons : } Q_{ch} = 24887529,41 \text{ kj/h}$$

G) Débit de gaz de régénération en phase de chauffage :

Le débit de gaz de régénération en phase de chauffage est donné par l'équation suivante :

$$g_{ch} = \frac{Q_{ch}}{Cp_{ch} * (T_f - T_{moy})}$$

Où :

g_{ch} : débit de gaz de régénération calculé

Cp_{ch} : chaleur spécifique du gaz de régénération

T_{moy} : température moyenne

$$Cp_{ch} = 2,99 \text{ kj/kg}^\circ\text{C}$$

H) Calcul de la température moyenne de régénération en phase de chauffage :

$$T_A = \frac{T_1 + T_2}{2} ; \quad T_B = \frac{T_2 + T_3}{2} ; \quad T_{moy} = \frac{T_A + T_B + T_4}{3}$$

Avec :

$$T_1 = 37,7 \text{ °C}$$

$$T_2 = 122 \text{ °C}$$

$$T_3 = 210 \text{ °C}$$

$$T_4 = 250 \text{ °C}$$

Nous obtenons :

Soit :

$$T_A = 79.85 \text{ °C}$$

$$T_B = 166 \text{ °C}$$

$$T_{moy} = 165.28 \text{ °C}$$

$$g_{ch} = \frac{24887529,41}{2.99 * (275 - 165.28)}$$

$$g_{ch} = 75862.09 \text{ kg/h}$$

En pratique le débit de gaz de régénération est majoré de 10% par rapport au débit calculé.

$$g'_{ch} = g_{ch} * 1.1$$

Soit :

$$g'_{ch} = 75862.09 * 1,1$$

$$g'_{ch} = 83448.29 \text{ kg/h}$$

II.1.12.2 Phase de refroidissement :

Dans la phase de refroidissement, on ramène la température des colonnes de 275 °C à 37.7 °C, il s'agit donc d'éliminer les trois chaleurs suivantes :

Quantité de chaleur à éliminer du tamis moléculaire $Q_{r_{tm}} = 13\ 238\ 470,6 \text{ kJ}$

Quantité de chaleur à enlever du métal (virole) : $Q_{r_m} = 37\ 436\ 121,47 \text{ kJ}$

Quantité de chaleur à enlever des billes de céramique : $Q_{r_c} = 1\ 650\ 473,94 \text{ kJ}$

A) Quantité de chaleur totale à enlever :

La quantité de chaleur totale, à enlever, est donnée par l'équation suivante :

$$Q_r = Q_{r_{tm}} + Q_{r_m} + Q_{r_c}$$

$$\text{Soit : } Q_r = 13238470,6 + 37436121,47 + 1650473,94$$

Nous obtenons :

$$Q_r = 52\ 325\ 066.01 \text{ kJ}$$

A.1) Quantité de chaleur de refroidissement totale à fournir par heure :

La durée de refroidissement est 1.8 heures,

Soit : $Q_r = 52\,325\,066.01 / 1.8$

Nous obtenons :

$$Q_r = 29\,069\,481,1 \text{ kJ/h}$$

B) Débit de gaz de régénération en phase de refroidissement :

Le débit de gaz de régénération, en phase de refroidissement, est donné par l'équation suivante :

$$g_r = \frac{Q_r}{Cp_r * \Delta T_r}$$

Avec :

g_r : débit de gaz de régénération calculé

Cp_r : chaleur spécifique du gaz de refroidissement

ΔT_r : différence de température moyenne

$Cp_r = 3,35 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

Soit :

$$g_r = \frac{29\,069\,481.1}{3.35 (275 - 160.6)}$$

Nous obtenons :

$$g_r = 75851,9 \text{ kg/h}$$

En pratique le débit de gaz de régénération est majoré de 10% par rapport au débit calculé :

$$g'_r = g_r * 1.1$$

Soit : $g'_r = 75851,9 * 1.1$

Nous obtenons : $g'_r = 83437,09 \text{ kg}$

II.1.12.3 Quantité de chaleur totale pour la régénération :

La quantité de chaleur totale nécessaire pour chaque régénération est la somme de deux quantités de chaleur (chauffage et refroidissement) :

$$Q_t = Q_{th} + Q_r$$

Soit : $Q_t = 74662588,24 + 52325066$

$$Q_t = 126\,987\,654,24 \text{ kJ}$$

Le tableau II.6 regroupe tous les résultats obtenus, lors du dimensionnement du déshydrateur, dans les conditions opératoires du design :

Tableau II.6 : Résultats de calcul obtenus dans le cas design

Paramètres	Résultats
Facteur de compressibilité	0,84
Masse molaire, (g/mol)	19,65
Densité relative du gaz	0,68
Masse volumique du mélange (kg/m ³)	62,11
Vitesse superficielle admise, (m/min)	7,92
Débit volumique (m ³ /h)	125,84
Diamètre (m)	4,49
Épaisseur (mm)	123,8
Hauteur de la zone de transfert (m)	0,47
Hauteur totale du lit (m)	6,43
Quantité d'eau adsorbée par cycle (kg/lit)	6330
Quantité d'eau adsorbée (kg/h)	527
Masse totale du lit (kg)	66652,22
Pertes de charge totale (bar/sécheur)	0,493
Débit de gaz de régénération (kg/h)	75862,09
Débit de gaz de refroidissement (kg/h)	75851,9
Quantité de chaleur totale (kJ)	126987654,24

II.2 Vérification du cas actuel (Mars 2021) :

En suivant les mêmes étapes de calculs pour la période d'hiver, nous vérifions le design pour la période d'été. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau II.7 :

Tableau II.7 : Résultats de calcul obtenus dans le cas actuel

Paramètres	Résultats
Facteur de compressibilité	0,83
Masse molaire, (g/mol)	19,71
Densité relative du gaz	0,68
Masse volumique du mélange (kg/m ³)	63,85
Vitesse superficielle admise, (m/min)	7,80
Débit volumique (m ³ /h)	123,9
Diamètre, (m)	4,50
Epaisseur, (mm)	123,7
Hauteur de la zone de transfert (m)	0,47
Hauteur totale du lit. (m)	6,3
Quantité d'eau adsorbée par cycle (kg/lit)	5249,28
Quantité d'eau adsorbée (kg/h)	437,44
Masse totale du lit (kg)	65595,87
Pertes de charge totale, (bar/sécheur)	0,491
Débit de gaz de régénération (kg/h)	73688,04
Débit de gaz de refroidissement (kg/h)	75851,9
Quantité de chaleur totale (kj)	125470866,45

Discussions des résultats :

La valeur du diamètre de colonne design, qui est de **4,5 m**, satisfait au critère de vitesse permmissible maximum.

Ce diamètre convient d'une manière appréciable à la hauteur du lit de tamis moléculaires et par conséquent, les pertes de charge diminuent.

Par comparaison des résultats, on remarque que le tamis moléculaire, installé dans le déshydrateur, est dans les normes selon les calculs effectués.

La masse nécessaire pour déshydrater le gaz à un temps de cycle de 12 heures d'adsorption est de **66679 kg/sécheur** et que la masse installée est de **65595.87 kg/sécheur**, soit un très faible écart par rapport au calcul.

Par ailleurs, le débit de gaz de régénération, calculé dans le cas des conditions actuelles, et le débit de gaz de régénération de design sont presque identiques.

Ce qui permet de réduire considérablement la teneur en eau résiduelle dans le tamis et d'avoir une bonne capacité d'adsorption.

II.3 Comparaison des résultats calculés avec ceux du design :

Le tableau III.8 représente une comparaison entre les résultats calculés, du design et actuel

Tableau II.8 : Comparaison des résultats calculés

Paramètres	Design	Calculé	Cas actuel
Diamètre(m)	4,5	4,49	4,5
Epaisseur (mm)	-	123,8	123,7
Quantité d'eau adsorbée (kg/h)	-	527,2	437,44
Hauteur du lit (m)	6,4	6,43	6,3
Débit de gaz de régénération (kg/h)	76300	75862,09	73688,04
Débit de gaz de refroidissement (kg/h)	76300	75851,9	75851,9
Perte de charge (bar)	0,5 max	0,493	0,491
Masse du lit (kg tamis/déshydrateur)	66679	66652,22	65595,87

D'après les résultats obtenus dans le tableau II.8, nous constatons qu'il n'y a pas une grande différence entre les valeurs du design et les valeurs dans le cas actuel, ceci nous permet de conclure que le calcul de vérification est correct dans le même sens que la méthode de dimensionnement choisie.

Les déshydrateur G11-VK-24-101A/B/C assurent leurs rôles dans les conditions du design sans qu'il y ait de risques de dysfonctionnements ou de dimensionnement inadaptés.

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'étude de la section de déshydratation de l'unité de traitement de gaz CPF, nous a permis de vérifier le dimensionnement des sécheurs existants au niveau de l'unité.

Les calculs nous ont montré que les dimensions trouvées, ainsi que le temps de saturation nous assurent une bonne efficacité de déshydratation.

Le calcul de vérification effectué, confirme le design de l'unité mise en exploitation récemment, démontre aussi que la déshydratation est une opération vitale dans la production du gaz du pétrole liquéfié. Le séchage des déshydrateurs, après un temps de service de 12 heures, doit être conforme pour permettre une souplesse dans le fonctionnement des appareils de l'unité au niveau de la section cryogénique.

Dans notre étude, nous tenons à insister sur le fait que la présence d'eau sous forme liquide ou vapeur, peut entraîner des problèmes de corrosion et/ou de bouchage due à la formation d'hydrates.

Ainsi il est nécessaire de réduire la teneur en eau dans le gaz par séchage dans des déshydrateurs à tamis moléculaires, qui sont dimensionnés pour traiter une charge donnée en tenant compte des conditions climatiques très variables dans la région et dans le temps.

D'autre part, on remarque que les causes entraînant le problème de la teneur en eau, en amont des déshydrateurs, sont liées à la nature des gaz et de la charge du tamis moléculaire utilisé.

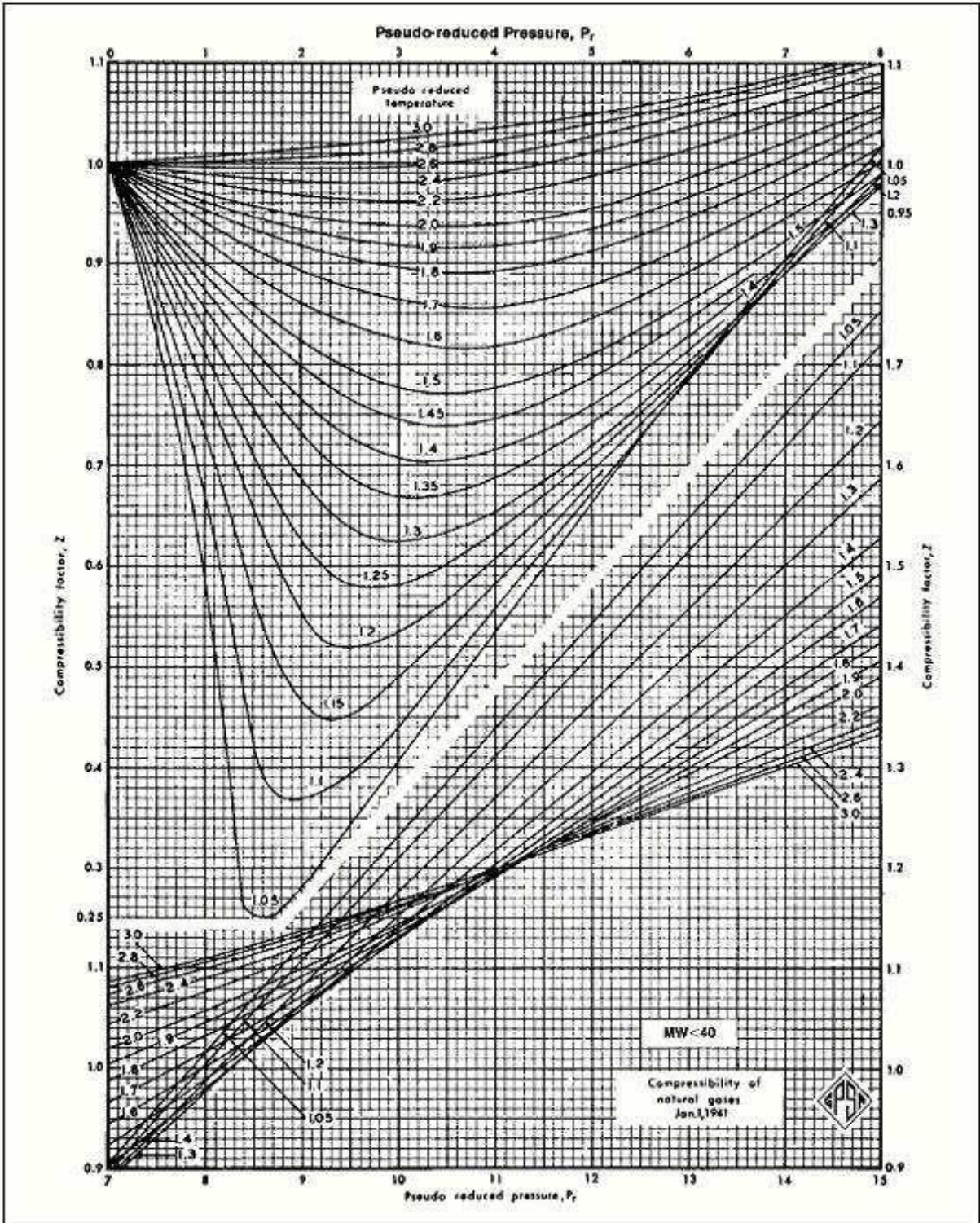
Références

bibliographiques

Références bibliographiques

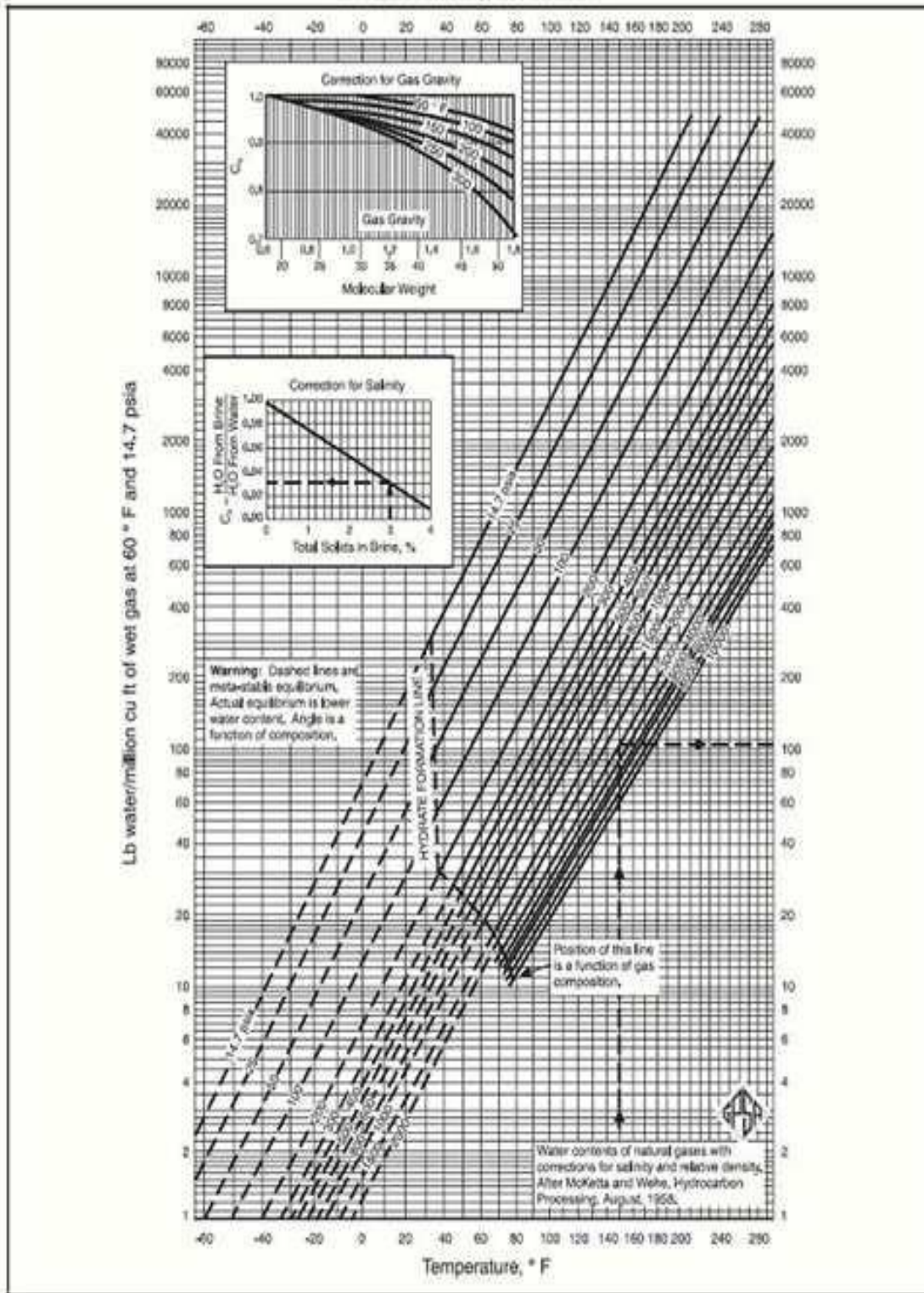
- [1] Manuel opératoire de CPF - Gassi Touil.
- [2] DATA BOOK; Dehydration and treating; Section 15th; 9th edition; Rev (1974 - 1976).
- [3] P. WUITHIER ; Raffinage et génie Chimique ; édition technique ; Paris 1972 ; TOME 1.
- [4] GRACE ; les tamis moléculaires caractéristiques et applications ; Western Germany ; Juin 1980.
- [5] A.Nacer ; dimensionnement des colonnes d'adsorption ; IAP ; 2002
- [6] Polycope AVAL propane liquid dehydration usine'' molecular sieve''
- [7] DATA BOOK; Engineering; Dehydration; Section 20; 12th edition; 2004
- [8] COMBELL.M; gas conditioning and processing; VOL 2; the equipment modules.
- [9] KOHL & RICHARD; Gas Purification 5th edition; 1997; ISBN: 0-88415-220-05
- [10] KOLLER.E ; aide-mémoire génie chimique ; paris 2001 ; ISBN : 2100051342
- [11] Process data sheet gas dehydrator; JGC et Sonatrach; projet Gassi Touil; 2009.

Annexes



Annexe A

Water Content of Hydrocarbon Gas



Annexe B

Tableau de conversion des unités	
14.5 psi	1 bar
1 °C	273.15 K
1 Joule	10^{-5} m^3
2.2045 lb	1 kg
0.0624 lb/ft ³	1 kg/m ³
1 lb/ft ³	16.01 kg/m ³
1 ft/min	0.3048 m/min
1 lb/MMScf	15 kg/MMScm
1 ppm	0.0475 lb/MMScf
1 ft	0.3048 m
1 Btu/lb °F	4.1868 kJ/kg°C
1 Btu/lb	2.325 kJ/kg

Annexe C

عنوان المذكرة: التأكد من حساب أبعاد مجفف الغاز على مستوى وحدة معالجة الغاز قاسي الطويل
اللقب: ق مقام الاسم: عبد القادر
اللقب: حواش الاسم: سليمان

ملخص:

أنجز هذا العمل في وحدة معالجة الغاز الخام (إنتاج غاز البترول المميع) بقاسي الطويل التي تبعد عن المجمع الصناعي حاسي مسعود جنوبا مسافة 150 كم. الهدف منه هو التحقق من أن حجم وتركيب أجزاء جهاز تجفيف الغاز مثالية ليقوم بعمله في الشروط العملية الحالية لأنه قد سجلت بعض المشاكل خصوصا تشكل الهيدرات والتي تتسبب في انسداد الأجهزة الواقعة بعد فرع التبريد. استنادا إلى الحسابات التي قمنا بها في دراستنا نستطيع القول أن المشكل غير ناتج عن خلل في تركيب الجهاز وأبعاده، لكنه بعد الدراسة المعمقة تبين أن المشكل يكمن في انخفاض درجة حرارة الغاز الموجه لتهيئة المنخل الجزيئي وكذا دخول قطرات من الماء السائل مع الغاز الوارد. الكلمات المفتاحية: جهاز تجفيف الغاز، المنخل الجزيئي، الهيدرات، الإدمصاص، غاز البترول المميع.

Titre du mémoire : Calcul de vérification déshydrateur d'unité CPF-GTL.

Nom : GUEMGAM Prénom : Abdelkader Encadreur : Mr. CHAHBOUB Abdelaziz
Nom : HOUACHE Prénom : Slimane

Résumé :

Ce travail a été effectué au sein de l'unité de production de GPL(CPF-GTL) appartenant au sud Hassi Messaoud. L'objectif était de faire les calculs de vérification des dimensions de désydrateur de gaz ou certains dysfonctionnements ont été observés notamment la formation d'hydrates de gaz qui viennent boucher les instruments placés en aval de la section refroidissement, Ces déshydrateurs sont remplis de tamis moléculaire.

Nos calculs ont permis de mettre en évidence le fait que le problème de la formation des hydrates ne provient pas des désydrateur car ceux-ci sont bien adaptés. Par contre il apparait que le défaut se situe au niveau de la température du gaz de régénération qui est plus basse que la valeur de design, la présence des gouttelettes d'eau entraines peut aussi être à l'origine de ces défauts.

Mots clé : désydrateur, tamis moléculaire, hydrate de gaz, adsorption, GPL

Memory title: the calculations in order to verify the dehydrators gas in CPF-GTL.

Name: GUEMGAM First name: Abdelkader Directed by: Mr. CHAHBOUB Abdelaziz
Name: HOUACHE First name: Slimane

Abstract:

This work has been carried out within the production unit of LPG (CPF-GTL) belonging in the south Hassi Messaoud.

The goal was to make the calculations in order to verify the dimensions of dehydrators gas where some malfunctions were observed including the formation of gas hydrates that block instruments placed downstream of the cooling section. These dehydrators are filled with molecular sieve.

Our calculations allowed highlighting the fact that the problem of hydrate formation does not come from désydrateur because these are well suited. On the other hand, it appears that the fault lies at the gas temperature of regeneration which is lower than the value of design. The presence of water droplets can be the origin of the defect.

Keywords: dehydrator, molecular sieves, gas hydrate, adsorption, LPG.