



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique



Université de EchahidHammaLakhdhar – El-Oued
Faculté de la Technologie
Département de Génie des procédés et Pétrochimies

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master Académique

Option : Raffinage et Pétrochimie

Présenté par :

BERRABAH Bachir

BENSAHAD Mohammed

SOLTANI Idriss

***Etude de déshydratation du gaz naturel
par tamis moléculaires d'une unité de
séparation (UTGA/TFT).***

Soutenu le 28/05/2017

DEVANT LE JURY

Président : BRANI Djamal

Examineur : OUCIF KHALED Med Tayeb

Directeur du mémoire : GUERRAM Abdelmadjid

M.A.A Université d'El Oued

M.C.B Université d'El Oued

M.A.A Université d'El Oued

Promotion : 2016/2017



Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier tout d'abord, Allah le Tout Puissant qui nous a donné la force de le réaliser.

Nous tenons aussi à exprimer nos reconnaissances à Dr. M. Abdel-Madjid Garram pour son encadrement, ses conseils et ses suggestions qui ont beaucoup contribué au bon déroulement de ce travail.

Nos remerciements vont également au président de jury M^r.BRANI Djamaï, aux membres du jury ainsi qu'à tous les enseignants du département de Génie des procédés .

Nous remercions aussi tout le personnel de TFI.

Enfin, nos vifs remerciements vont à tous ceux qui ont contribué, de loin ou de près à l'élaboration de ce mémoire.



DEDICACE

Grace à Dieu ce mémoire a été réalisé, je tiens à le dédier à :

- ♥ *Mes chers parents*
- ♥ *Mes frères et sœurs*
- ♥ *Toute la famille Kaddouri, Bouaroua et Mokhtari*
- ♥ *Mes camarades d'étude et du travail*
- ♥ *Tous mes amis en particulier Abdelalli Berrtima, Khoudir Menacer, Mohamed Tkhaïlia et Khaled Beldjani*

BACHIR BERRABAH

DEDICACE

Grace à Dieu ce mémoire a été réalisé, je tiens à le dédier à :

- ♥ *Mes chers parents.*
- ♥ *Mes frères et sœurs.*
- ♥ *Toute la famille Bensahad, Aissoui, Khraïf et Touati.*
- ♥ *Mes camarades d'étude et du travail*
- ♥ *Tous mes amis en particulier Abdelfatteh , Said, Youssef, Yahia, Islam, Abdelkader, Salah, Abdellah, Salim , Mohammed , Mailoud, Saddik et Sliman.*

BENSAHAD MOHAMMED

DEDICACE

Grace à Dieu ce mémoire a été réalisé, je tiens à le dédier à :

- ♥ *Mes chers parents*
- ♥ *Mes frères et sœurs*
- ♥ *Toute la famille Soltani.*
- ♥ *Mes camarades d'étude et du travail*
- ♥ *Tous mes amis en particulier Alhag Monir, Sadek Mnassar, Islam, Abdelkader, Yousef, Yahai, Hamza, Abdelfatteh, Mahmud, et tout les amis de Yemen.*

SOLTANI IDRIS.

NOMENCLATURE



NOMENCLATURE

UOP: Universel Oil Product

°F: degré Fahrenheit

ft: foot

in: inch

lb : Pound ou livre

MMscf: Million standard cubique feet

ppm: partie par million

Psi: Pound square inch

Sm³ : Standard mètre cube

T_{cm}: température critique du mélange.

P_{cm} : pression critique du mélange.

T_{ci} : Température critique du constituant i.

P_{ci} : Pression critique du constituant i.

y_i : Fraction molaire du constituant i.

T_{rm} : Température réduite du mélange.

P_{rm} : Température réduite du mélange.

T : température de service (K).

P : pression de service (psi).

M_g : Masse moléculaire du gaz.

d_G: Densité relative du gaz.

μ : viscosité du gaz (cP).

ρ_g : Masse volumique du gaz, (lb/ft³).

NOMENCLATURE

q_a : débit volumique de gaz dans les conditions opératoires.

p_s : pression à la condition standard (KPa).

T_s : température à la condition standard (K).

Q : débit de gaz (MMScF/D)

y_w : la teneur en eau.

Rh : humidité relative (100%).

m_w : Quantité d'eau adsorbée pendant la durée du cycle (Kg/cycle).

X : Capacité d'adsorption .

dp/dz : perte de charge par de longueur du lit, (PsF/ft).

dp_0 : diamètre effectif des grains et des billes de céramique, (ft).

ε :fraction de vide externe.

G : vitesse massique de gaz.

ρ_B : masse volumique du tamis tassé.

D_p :diamètre du grain.

ρ_g : Masse volumique du gaz.

g_c : facteur de conversion .

Re : est le nombre de Reynolds

ΔP : perte de charge due à l'expansion (PsF).

g_c : Facture de conversion.

M_T : masse du tamis moléculaire, (lb).

C_{pT} : chaleur spécifique du tamis, (Btu/ lb. °F).

T_F : température final (de régénération), (°F).

T_I : température initiale (de régénération), (°F).

M_C : masse total de céramique, (lb).

C_{pc} : chaleur spécifique de la céramique.

M_{dv} : masse de déshydrateur vide, (lb).

NOMENCLATURE

$C_{p_{dv}}$: chaleur spécifique du métal, (Btu / lb. °F).

M_e : quantité d'eau adsorbée par cycle (lb).

C_{pe} : chaleur spécifique de l'eau .

ΔH_e : chaleur latente de désorption de l'eau .

M_h : quantité d'hydrocarbure adsorbée par cycle.

C_{p_h} : chaleur spécifique du gaz.

H_h : chaleur spécifique de désorption d'hydrocarbure.

Q_{ch} : Débit de gaz de régénération en phase chauffage, (lb/hr).

$c_{p_{GR}}$: chaleur spécifique du gaz de régénération,(Btu /lbF°).

θ_{ch} : Temps de régénération (hr).

θ_r : Temps de refroidissement

t_B : Le temps de rupture en heure.

ρ_B : Densité de tamis.

h_B : Hauteur total de tamis.

h_z : hauteur total de la zone de Transfer de masse.

X_s : la capacité à la saturation = 22 lbH₂O /100lb tamis (fiche technique).

q : débit massique d'eau à l'entrée du sécheur

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma simplifié de l'unité (UTGA).....	3
Figure I.2 : Schéma de la section de déshydratation.....	7
Figure I.3 : Présentation d'une charge du déshydrateur D301.....	8
Figure I.4 : Schéma du déshydrateur gaz D301.....	10
Figure II.1 : les différentes sources de gaz naturel	12
Figure II .2: Répartition des réserves de gaz naturel en 2009.....	15
Figure II.3 : Production de gaz naturel en millions de tonnes équivalent pétrole sur la période 1970- 2009.....	16
Figure II.4 : Consommation de gaz naturel en millions de tonnes équivalent pétrole de 1965 à 2009.....	16
Figure II. 5: Demande en gaz en Algérie pour la période 2006-2015 en millions de m3....	18
Figure III 1 : Evolution de la zone de transfert de matière au cours du temps.....	29
Figure III.2 :Evolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption.....	29
Figure III .3 : Représentation d'une courbe de perçage.....	30

Liste des tableaux

<i>Tableau I.1: Abréviations et désignations</i>	4
<i>Tableau II.1 : Composition types d'un gaz sec et d'un gaz humide ou à condensat</i>	13
<i>Tableau III.1 : Caractéristiques générales du L'alumine activée</i>	25
<i>Tableau III.2 : Caractéristiques générales du charbon actif</i>	25
<i>Tableau III.3: Caractéristiques générales du Gel de silice</i>	26
<i>Tableau III.4 : Composition chimique du tamis UOP UI 94</i>	27
<i>Tableau.III . 5 : Caractéristiques générales des tamis moléculaires</i>	27
<i>Tableau IV.1: Constantes B et C</i>	34
<i>Tableau IV.2: Composition de la charge (cas hiver)</i>	43
<i>Tableau IV.3: Composition de la charge (cas d'été)</i>	44
<i>Tableau IV.4: Composition de la charge (cas actuel)</i>	45
<i>Tableau IV.5 : Propriétés critiques du gaz</i>	46
<i>Tableau IV.6 : Résultats de calcul obtenus (cas hiver)</i>	56
<i>Tableau IV.7: Résultats du design (cas été)</i>	57
<i>Tableau IV.8: Comparaison des résultats du design</i>	57
<i>Tableau IV.9 : Résultats de calcul (cas de 1/8")</i>	59
<i>Tableau IV.10 : Comparaison des résultats calcul et du design (1/8")</i>	60
<i>Tableau IV.11: Résultats de calcul (cas actuel)</i>	61
<i>Tableau IV.12: Comparaison des résultats actuels et du design(1/8")</i>	61

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Présentation de la région (TFT)	
I. Présentation de la région.....	2
I.1 Présentation du complexe.....	2
I.2 Description restreinte de la station.....	4
I.3 Description de la section de déshydratation du gaz.....	6
Chapitre II : Généralités sur le gaz naturel	
II-1-Introduction.....	11
II-2-Sources de gaz naturel.....	11
II-3-Nature des constituants présents dans le gaz naturel.....	13
II-4-Différents types de gaz naturel.....	13
II-5- Caractéristiques du gaz naturel.....	14
II-6- Gaz naturel dans le monde.....	15
II-7- Le gaz naturel en Algérie.....	17
Chapitre III : Déshydratation	
III-1- Introduction.....	20
III-2-Définition des hydrates.....	20
III-3-Structures des hydrates.....	20
III-4- Types des hydrates.....	20
III-5-Les facteurs favorisant la formation d'hydrates.....	21
III-6-Prévention des hydrates.....	21
III.6.1.Utilisation d'inhibiteurs.....	22
III.6.2. Une Réduction de pression	23
III.6.3. Déshydratation.....	23
III.6.3.1.Déshydratation par absorption.....	23
III.6.3.2. Déshydratation par adsorption.....	23
Chapitre IV : Méthode de calcul	
Problématique.....	32

Objectif de l'étude.....	32
IV .1 Vérification du design.....	32
IV.2 Calcul du déshydrateur dans les conditions actuelles.....	33
IV.3 Comparaison entre les résultats obtenus et ceux du design.....	40
IV.4 Optimisation de temps de cycle.....	40
IV.5 Résultats et discussions.....	41
IV.5.1 Vérification du design.....	45
IV.5.2 Comparaison les résultats et ceux du design.....	56
IV.5.3 Optimisation du temps de cycle.....	57
IV.5.4 Conclusion.....	61
Conclusion général.....	62
Références bibliographique	
Annexe	

Introduction générale

Quelques années au paravent le gaz associé sortant des gisements de pétrole était brûlé au niveau des torches de la section de séparation, sachant que les infrastructures nécessaires permettant sa récupération et son recyclage n'étaient pas rentables du point de vue économique.

Le progrès technologique et le souci de valoriser ce gaz nous permettent aujourd'hui d'investir dans ce domaine afin de récupérer ce gaz et de le traiter pour produire le condensât et le gaz de gaz lift qui contribue à l'augmentation de la production pétrolière, vu qu'en comprimant celui-ci et en le réinjectant dans les puits de pétrole, on augmente de ce fait la pression de la colonne d'où l'augmentation du débit de production du puits c'est ce qu'on appelle la production assistée d'un puits de pétrole.

Dans ce domaine l'entreprise nationale SONATRACH vient d'installer une nouvelle usine de gaz au centre de production de TFT (région de TFT) pour la récupération et le traitement du gaz des champs de cette région.

L'eau et le gaz naturel sont intimement liés. Sous forme vapeur, l'eau n'est pas gênante. A l'état liquide elle occasionne la corrosion des canalisations, le blocage des détendeurs par formation du givre (glace) ou il y a le risque de formation d'hydrates de gaz naturel. Pour éviter cette multitude de problèmes on fait appel aux procédés de déshydratation basés sur différentes technologies de traitement, tels que, la déshydratation par l'éthylène glycol, séparation par membrane, et par tamis moléculaires.

L'élimination de l'eau par la technologie des tamis moléculaires est le but de notre étude, au sein de l'usine de TFT. 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.

Ce mémoire se compose de quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la présentation de la région de TFT .

Le second chapitre est destiné à la généralités sur le gaz naturel .

Le troisième chapitre concerne de la déshydratation.

Le quatrième chapitre représente de la méthode de calcul et les résultats obtenus avec une recommandation.

chapitre I

Présentation de la région

I. Présentation de la région :

La région de Tin Fouyé Tabenkort se situe à 1400 km au sud-est d'Alger et 540km du chef lieu de la wilaya d'Illyzi. La région de TFT se trouve sur la partie ouest du plateau de Tin-Hert, sur la route nationale N°3 reliant Hassi Messaoud et In amenas dans la commune de Bordj Omar Driss.

L'ordovicien est le principal réservoir de la région , il à été découvert en 1967, ce réservoir est une colonne d'huile sous forme d'un anticlinale surmonté par le gaz-cap au sud et d'huile au nord, le réservoir s'étend sur 7 à 15 km du Nord au Sud et 25 km d'Est à l'Ouest, il est d'une profondeur de 2200 m en moyenne .

La production de la région est traitée par 5 centres de séparation (eau, huile, gaz) dénommés CS1, 2. 3. 4. 5 , ainsi que les centres de TAMENDJELT ,AMASSAK ,DJOUA ,et un centre de stockage principale et d'expédition d'huile vers Haoud el hamra et Tin Fouyé.

La production de Tin Fouyé principale centre au secteur sud est assurée par un système de « gaz-lift», et des installations des gaz récupérés, brulés par le passé, ils sont recyclés depuis 1986.

La station UTGA(unité de traitement de gaz associé) est conçue pour la récupération des gaz initialement torchés au niveau des centres de séparations, les traiter par déshydratation et les comprimer à 80 kg/cm^2 . Par voie de conséquence la récupération du condensât. [1]

I.1 Présentation du complexe :

La station est implantée à CS2, elle est destinée à la récupération des gaz associés produits aux centres de séparation d'huile CS1, 2, 3, 4, 5 et Amassak, elle a pour fonctions de comprimer, déshydrater, traiter, puis recomprimer le gaz, dans le but de l'utiliser pour satisfaire les besoins de la région en gaz-lift, et la commercialisation du surplus, tout en récupérant le condensat .La figure 1 représente un schéma simplifié de l'unité (UTGA).



Le tableau ci-dessous (tableau 1) représente les abréviations et leurs désignations des différents équipements constituant l'unité (UTGA).

Tableau I.1: Abréviations et désignations [1]

Abréviation	Désignations
A /B	Train de compression
D	Ballon d'aspiration et refoulement
E	Refroidisseur (aérorefrigérant)
K	Compresseur
KT	Turbine à gaz
H	Réchauffeur (four)
C	Stripper
G	Pompe de drainage
E402	Echangeur de chaleur gaz /gaz
E403	Echangeur de chaleur gaz/liquide
D301 A.B.C	Sécheurs de gaz
100	Section haute pression
200	Section basse pression
300	Section déshydratation
400	Section traitement

I.2 Description restreinte de la station:

La station se compose essentiellement d'une section de réception du gaz (HP, BP), d'une section de compression du gaz BP, d'une autre section de compression HP, suivi d'une section de déshydratation et une section de traitement du gaz.

I. 2.1 Section réception gaz:

Le gaz haute pression et basse pression arrive respectivement dans les ballons D101 et D201 aux pressions de $6,2 \text{ kg/cm}^2$ et $0,8 \text{ kg/cm}^2$, où il est débarrassé de son liquide.[1]

I.2.2 Section compression basse pression:

Elle comprend 2 unités de compression BP comportant chacune un compresseur centrifuge, un aérorefrigérant et un ballon de récupération d'eau. Elle a pour fonction de relever la pression de $0,6 \text{ kg/cm}^2$ à $6,2 \text{ kg/cm}^2$ permettant ainsi au gaz d'être mélangé avec le gaz haute pression.

I.2.3 Section compression et recompression haute pression: [1]

Elle comprend 2 unités de compression HP qui comportent chacune 3 compresseurs montés en série et entraînés par une turbine à gaz, Ces unités ont 2 objectifs :

-Le premier est de comprimer le gaz jusqu' à une pression de $81,6 \text{ kg/cm}^2$ absolue, au refoulement de 2^{ème} étage pour l'envoyer à la section séchage.

-Le deuxième est de comprimer le gaz revenant de la section traitement de 22 kg/cm^2 à 82 kg/cm^2 en vue, de son expédition vers le gazoduc Alrar-Hassi R'Mel.

A signaler aussi que le gaz qui a servi a la régénération de l'unité de déshydratation, est mélangé avec le gaz sortant de compresseur 1^{ère} étage en amont de l'aérorefrigérant.

I.2.4 Section de déshydratation:

Sa fonction est de réduire la teneur en eau jusqu'à un ordre inférieur a 1ppm, elle est constituée de 3 sécheurs à tamis moléculaire type 4 A°. [1]

Les trois sécheurs sont installés en parallèle d'une manière que durant un cycle l'un est en phase d'adsorption, le deuxième en phase de refroidissement et le troisième en phase de régénération.

La température de régénération est de l'ordre de 290°C . Le chauffage de ce gaz se fait par deux fours. H-301A/B.

Le gaz servant au refroidissement et la régénération est pris à partir du gaz de commercialisation.

I.2.5 Section de traitement du gaz : [1]

Elle assure la production du gaz traité ainsi que l'extraction et la stabilisation de condensât ou il est expédié vers la station de séparation CS2, et mélangé au pétrole brut.

Le gaz traité retourne vers le compresseur 3^{ème} étage où il est envoyé vers le gazoduc Alrar-H.R'mel.

I.3 Description de la section de déshydratation du gaz :

La section de déshydratation consiste en un système à deux lits à tamis moléculaire type 4Å devant fournir un gaz à moins de 1ppmV en eau pour prévenir toute congélation dans la section froide, partie traitement. L'opération des sécheurs est automatique et leur efficacité est surveillée en continu par un analyseur d'eau situé en aval de l'installation. Le gaz détendu (flashé) provenant de la section recompression, commercialisation est utilisé pour le refroidissement et la régénération des sécheurs puis réinjecté dans le circuit de gaz refoulement compresseur 1^{er} étage juste avant l'aérefrigérant en vue de condenser son eau dans les ballons D103. [1]

L'automatisme de ses sécheurs est assuré par une séquentielle électronique qui agit sur un système de vannes qui se prédisposent à chaque cycle.

I.3.1 Etude d'un cycle d'adsorption :

I.3.1.1 Adsorption :

Une opération qui dure 4 heures, elle est réalisée en haute pression 80.6 kg /cm². Le gaz provenant de la compression 2^{ème} étage (k102A/B) est dirigé par l'intermédiaire des vannes d'adsorption sur le sécheur en question (ex : XV302/303 A. Sécheur D-301A). Une fois le gaz débarrassé de son eau, il est envoyé vers la section traitement en transitant par les filtres V-301A/B.

I.3.1.2 Chauffage:

Le gaz sortant des fours à une température de 290°C passe sur le tamis moléculaire à dessorber pendant 3heures et 45 minutes. A la sortie de la tour à régénérer le fluide contenant l'eau en vapeur est réinjecté au refoulement 2^{ème} étage compression en amont des aérefrigérant E101A/B.

I.3.1.3 Refroidissement:

Elle se déroule en 3 heures et 45 minutes, le gaz utilisé provient du gaz traité de la commercialisation où il est détendu à une pression de 32 kg/cm^2 , par la vanne automatique PCV101. Un piquage de gaz est réalisé en amont de l'aérorefrigérant E-103A/B et en aval de la PCV101 pour maintenir la température du fluide de refroidissement à 50°C grâce à la TCV102. [1]

Une fois que le gaz a servi au refroidissement du tamis moléculaire en question, il est dirigé sur les fours H301A/B pour les besoins de la régénération.

I.3.1.4 Système de pressurisation/dépressurisation sécheurs :

A chaque fin de cycle et pour permettre aux sécheurs de travailler dans leurs conditions (adsorption : 80.6 kg/cm^2 , refroidissement /régénération : 30 et $28,5 \text{ kg/cm}^2$.), un système de vannes est prévu dans ce sens. [1]

I.3.2 Schéma de la section de déshydratation :

La figure 2 représente un schéma simplifié de la section déshydratation du gaz.

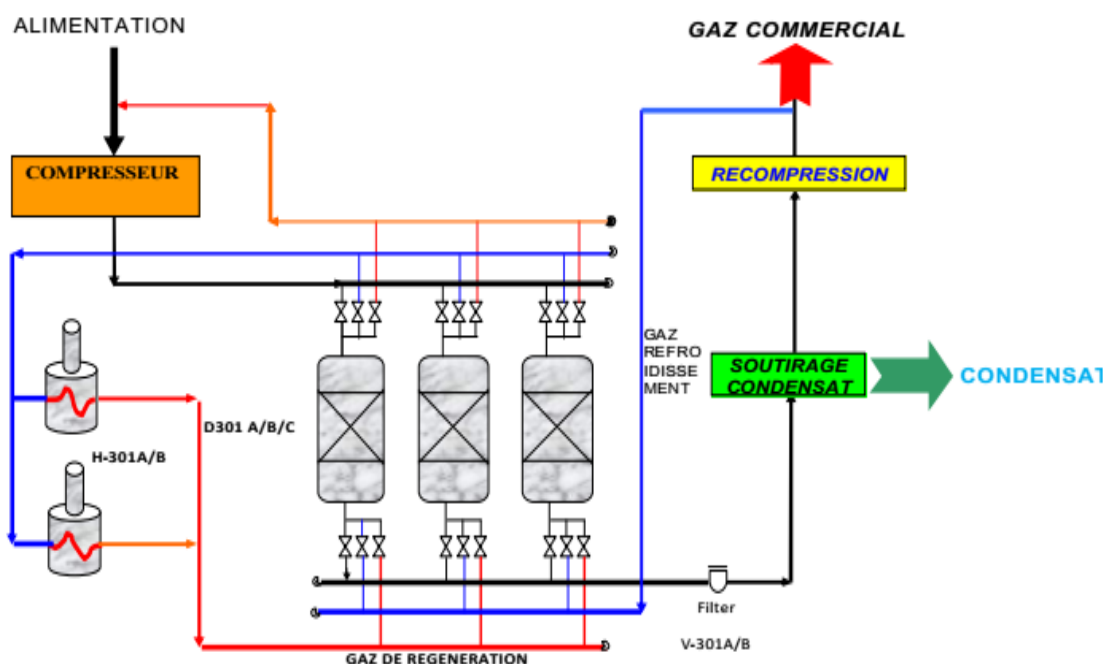


Figure I.2 : Schéma de la section de déshydratation[1]

I.3.3 Description du déshydrateur D301 (sécheur) :

Le déshydrateur D301 est une colonne, constituée d'une virole et de deux fonds bombés, Il comporte :

- Deux distributeurs, d'entrée et de sortie
- Plusieurs tubulures (deux trous d'hommes, un évent)
- Un support pour le lit
- Des poutres et des grilles capables de supporter le lit du tamis
- Une grille constituée par une toile métallique de 12 Mesh au-dessous du lit du tamis moléculaire
- Une grille constituée par une toile métallique de 20 Mesh surmontée d'une autre toile de 12 Mesh et sur une autre de 4 Mesh placée au-dessous du lit de billes en céramique de 1/2"
- Une couche de 150 mm de billes en céramique de 1/2"
- Une couche de 75 mm de billes en céramique de 1/4"
- Une couche de 3280 mm de tamis moléculaire de type 4A UOP 94 de 1/8" et 1/16".
- Une couche de 150 mm de bille en céramique de 1/2".[1]

La figure ci- jointe (figure 3) représente les différents composants constituant la charge du déshydrateur D301.

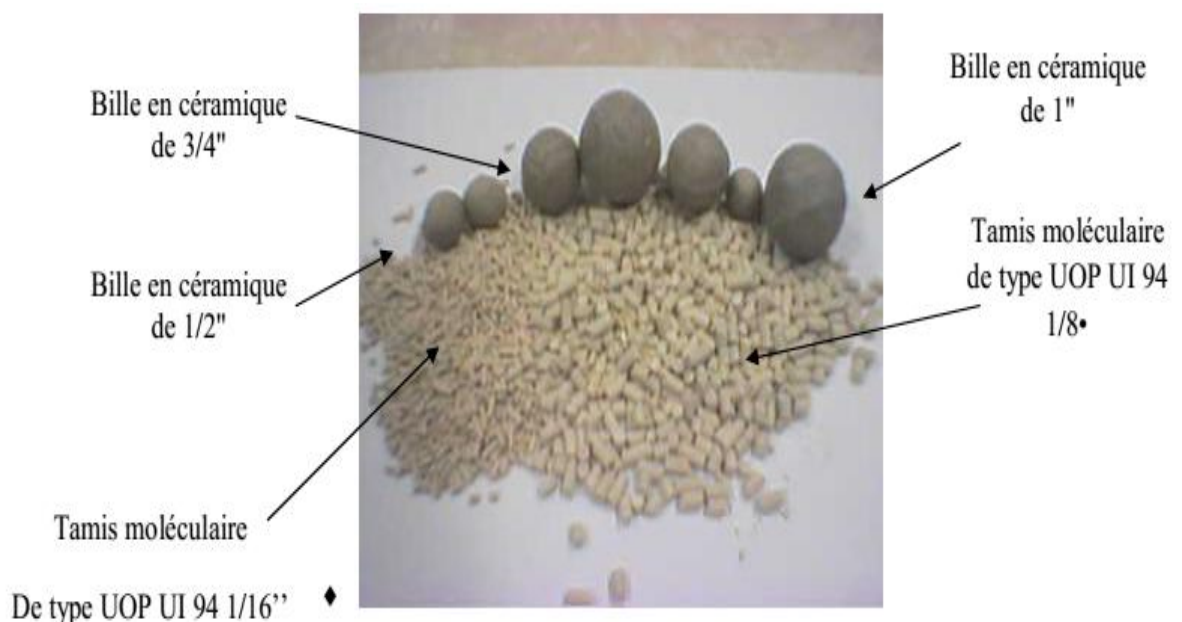


Figure I.3 : Présentation d'une charge du déshydrateur D301. [1]

I.3.3.1 Rôle des billes céramiques:

Les billes en céramiques se trouvant dans le sécheur du gaz n'interviennent pas dans le phénomène d'adsorption, par contre elles ont un rôle bien spécifique qui se résume dans ce qui suit :

I.3.3.1. a Rôle des billes céramiques de la Partie basse du sécheur :

Les billes céramiques ($\varnothing 1/2$ et $1/4$) constituant un support du tamis moléculaire et lui évite son passage à travers les grilles lors de l'adsorption. L'adsorption et l'acier ont des coefficients différents ce qui engendrera un broyage et une formation des poussières durant le cycle de régénération. La poudre des tamis ainsi formée colmatage les ouvertures des grilles d'où il va en résulter une diminution du débit et création de tuyères à gaz qui vont créer un passage préférentiel du gaz érodant gravement le tamis.

Avec une régénération ascendante, cette couche de billes céramique réalise avec une amélioration de la distribution gazeuse surtout si la pression différentielle du tamis est importante. [1]

I.3.3.1.b Rôle des billes céramique de la partie haute de sécheur :

Les billes céramiques ($\varnothing 1/2$) sont d'une utilité importante dans notre cas, car elles évitent une formation de dunes de tamis moléculaires. Ces perturbations sont provoquées par les turbulences du gaz à l'entrée du sécheur.

Les billes céramiques jouent un rôle de supports, de protecteur, de diffuseur de gaz et n'interviennent pas dans le phénomène d'adsorption qui est assuré par les tamis moléculaire ($1/16$ " et $1/8$ "). [1]

I.3.3.2 Schéma du déshydrateur D301:

La figure I.4 représente un schéma simplifié du déshydrateur D301

Description du déshydrateur D301:

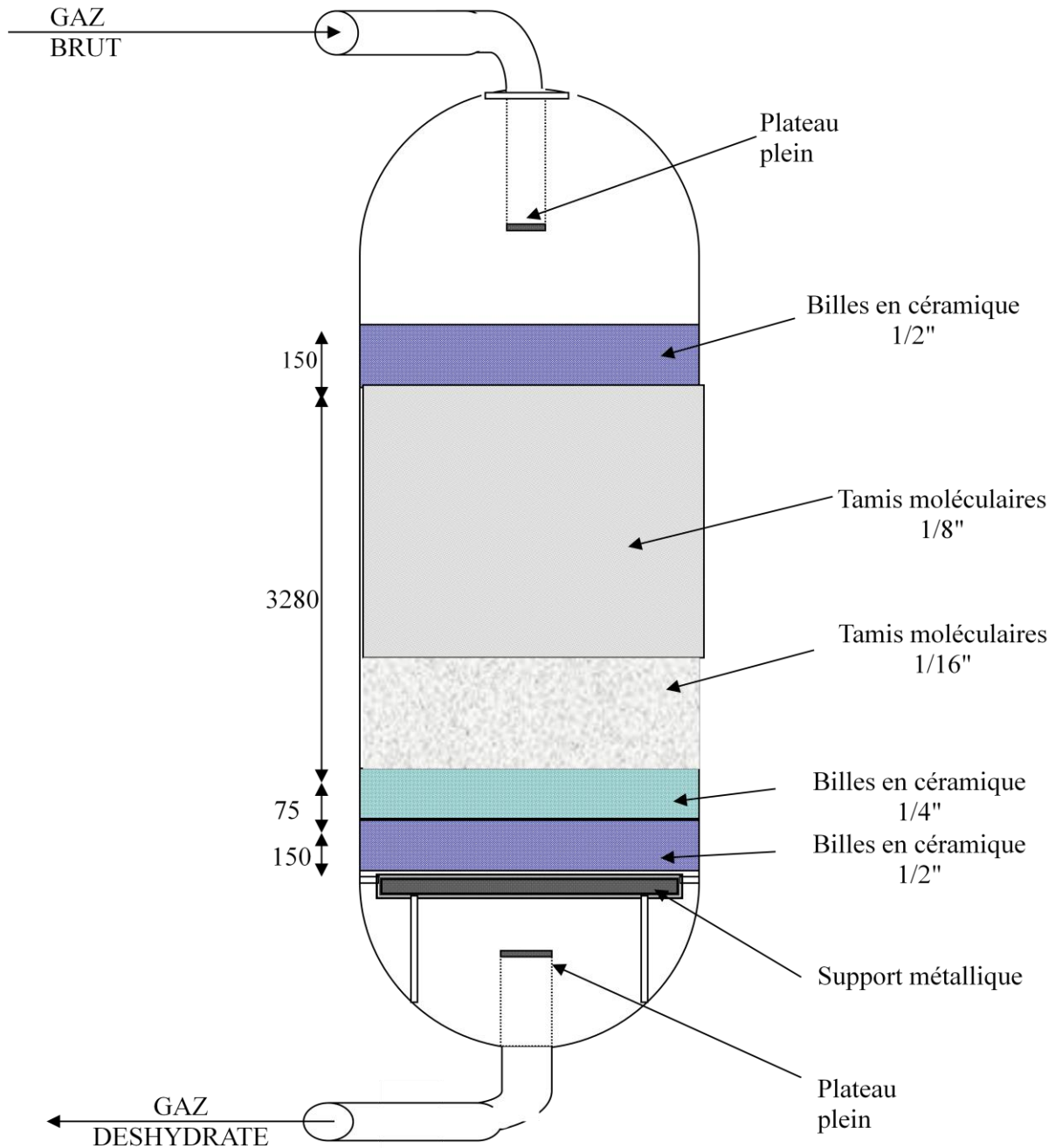


Figure I.4 : Schéma du déshydrateur gaz D301[1]

Chapitre II

Généralités sur le gaz naturel

II Généralités sur le gaz naturel

II-1-Introduction :

Le gaz naturel est devenu une ressource clé du système énergétique mondial, à la fois abondante, polyvalente et relativement peu émettrice de dioxyde de carbone (CO_2).

Le gaz naturel est utilisé pour la production d'électricité, pour les applications industrielles, pour les besoins thermiques des bâtiments et pour les transports. Bien que le gaz ait été historiquement produit à partir de gisements conventionnels, son extraction par des procédés non-conventionnels représente aujourd'hui une part importante de sa production, notamment en Amérique du Nord. Face à l'augmentation de la demande mondiale de gaz naturel, les échanges internationaux de gaz se sont multipliés et ont été accompagnés par de nombreux investissements dans les infrastructures et technologies de transport. La demande mondiale de gaz naturel devrait croître, tirée notamment par le secteur électrique où le gaz naturel peut remplacer le charbon et faciliter l'intégration des énergies renouvelables intermittentes.

II-2-Sources de gaz naturel

On distingue généralement trois types de gaz naturel [02] (**Figure II.1**):

- ✓ Le gaz non associé qui n'est pas en contact avec l'huile.
- ✓ Le gaz associé "gas-cap gas" qui surmonte la phase huile dans le réservoir.
- ✓ Le gaz associé "dissous" dans l'huile dans les conditions de réservoir.

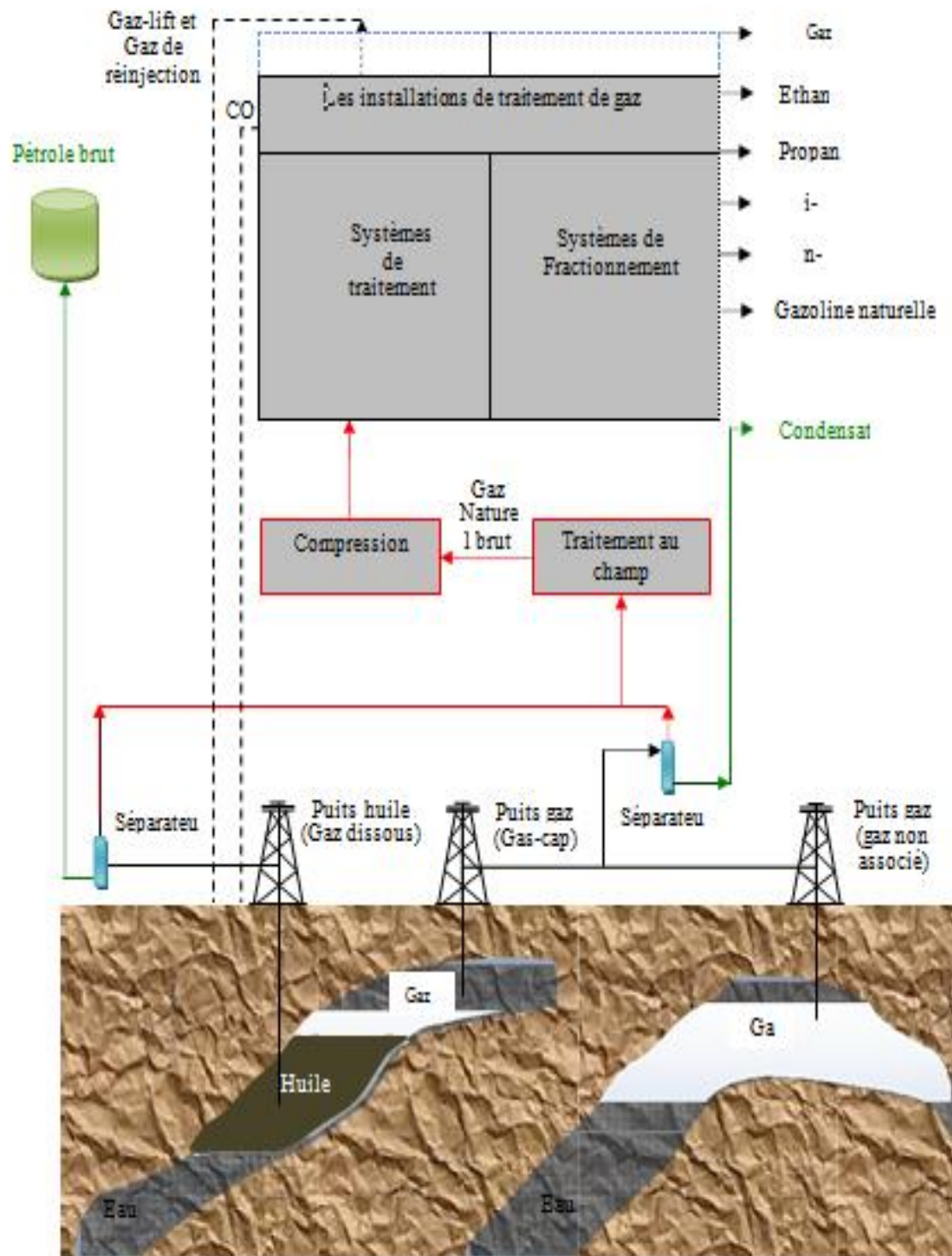


Figure II.1 : les différentes sources de gaz naturel [02]

II-3-Nature des constituants présents dans le gaz naturel :

En dehors du méthane, le gaz naturel peut contenir d'autres constituants: éthane, propane, butane, pentane et à des concentrations faibles, des hydrocarbures plus lourds. Les hydrocarbures en C₃ et C₄ forment la fraction GPL (Gaz de pétrole liquéfié). La fraction la plus lourde correspondant aux hydrocarbures à cinq atomes de carbone ou plus (C₅+) est appelée gazoline. Le gaz naturel peut contenir des constituants autres que des hydrocarbures, notamment de l'eau et des gaz acides : dioxyde de carbone (CO₂) et hydrogène sulfuré (H₂S), ainsi que l'azote (N₂), de l'hélium (He), de faibles quantités d'hydrogène (H₂) ou l'argon (A) et même parfois des impuretés métalliques (mercure et arsenic). [03]

Le **Tableau II.1** indique les compositions les plus courantes d'un gaz sec et d'un gaz humide ou à condensât.

Tableau II.1 : Composition types d'un gaz sec et d'un gaz humide ou à condensat. [03]

Constituant	Gaz sec	Gaz humide ou gaz à condensat
<u>Hydrocarbures :</u>	%	%
• C ₁	70 – 98	50 – 92
• C ₂	1 – 10	5 – 15
• C ₃	Traces – 5	2 – 14
• C ₄	Traces – 2	1 – 10
• C ₅	Traces – 1	Traces – 5
• C ₆	Traces – 0.5	Traces – 3
□ C ₇ +	0 – traces	Traces – 15
<u>Non hydrocarbures :</u>		
• N ₂	Traces – 15	Traces – 10
• CO ₂	Traces – 1	Traces – 4
• H ₂ S	0 – traces	0 – 6
• He	0 – 5	0

II-4-Différents types de gaz naturel [03]

Les types de gaz sont classés selon la nature des phases en présence dans les conditions du gisement et de surface, ce conduit à distinguer les cas suivant: [03]

- ✓ **Gaz sec** : ne formant pas de phase liquide dans les conditions de production.
- ✓ **Gaz humide** : formant une phase liquide en cours de production dans les conditions de surface.
- ✓ **Gaz à condensat** : formant une phase liquide dans le réservoir en cours de production.
- ✓ **Gaz associé** : coexistant dans le réservoir avec une phase

"huile" (gisement de pétrole). Le gaz associé comprend le gaz de couverture (phase gazeuse présent dans le réservoir) et le gaz dissous.

II-5- Caractéristiques du gaz naturel: [03]

Le gaz naturel autant qu'une source d'énergie est l'une des matières premières qui ont permis la diffusion du progrès économique et social. A son stade d'exploitation, il doit être caractérisé par les propriétés suivantes :

II.5.1. Densité et masse volumique :

- ✓ **La masse volumique :** d'un gaz représente la masse d'une unité de volume du gaz et s'exprime en kg/m^3 . elle est fonction de la température et de la pression.
- ✓ **Le volume massique :** représente le volume occupé par une unité de masse du gaz. Il est donc égal à l'inverse de la masse volumique, et s'exprime en m^3/kg .
- ✓ **La densité :** d'un gaz est définie comme le rapport de la masse volumique du gaz dans des conditions de référence sur la masse volumique de l'air dans les mêmes conditions, en se référant soit aux conditions normales, soit aux conditions standard.

II.5.2. Pouvoir calorifique : [04]

C'est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une quantité unitaire du gaz, mesurée dans les conditions de référence. Le pouvoir calorifique pour le gaz naturel s'exprime en (J/m^3) .

Il existe deux valeurs de pouvoir calorifique :

- ✓ **Pouvoir calorifique supérieur : (PCS)**

C'est la quantité de chaleur dégagée lorsque tous les produits de combustion sont ramènés à la température ambiante, l'eau formée étant liquide.

- ✓ **Pouvoir calorifique inférieur : (PCI)**

C'est la quantité de chaleur dégagée lorsque tous les produits de combustion sont ramènés à la température ambiante, l'eau restée à l'état vapeur.

II-6- Gaz naturel dans le monde :

II-6-1- Les réserves de gaz naturel :

Bien que limitées, ces réserves sont très importantes et les estimations concernant leur taille continuent de progresser à mesure que de nouvelles techniques d'exploration ou d'extraction sont découvertes. Les ressources de gaz naturel sont abondantes et très largement distribuées à travers le monde comme le montre la **Figure II.2**. On estime qu'une quantité significative de gaz naturel reste encore à découvrir.

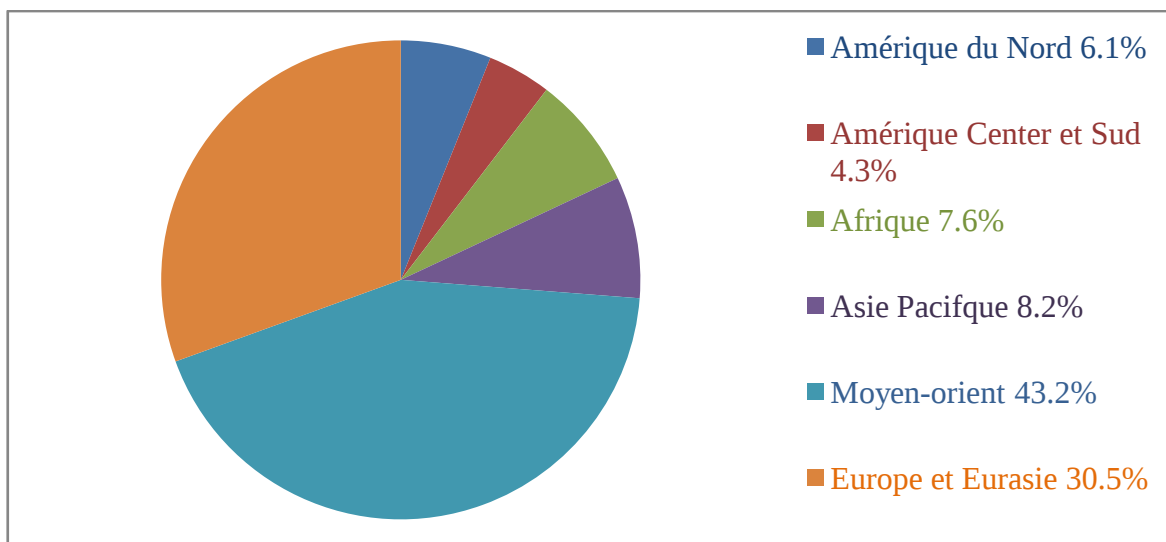


Figure II .2: Répartition des réserves de gaz naturel en 2013[05]

Les pays d'Europe & Eurasie et du Moyen-Orient se partagent plus de 73.7% des réserves mondiales de gaz naturel (respectivement 43.2% et 30.5% en 2013).

Les réserves mondiales de gaz naturel ont plus que doublé au cours des vingt dernières années et s'élevaient à 187.1 trillions de mètres cubes en 2013. [05]

Le rapport mondial des réserves prouvées de gaz naturel par rapport à la production à son niveau actuel était supérieur à 63 ans en 2013. Ceci représente le temps restant avant l'épuisement des réserves en supposant que les taux actuels de production soient maintenus. [05]

II-6-2- La production de gaz nature :

Les principaux pays producteurs en 2015 étaient l'Europe & Eurasie et l'Amérique du Nord avec respectivement 30.4% et 6.8% de la production mondiale. A noter que l'Europe & Eurasie et l'Amérique du Nord ont produit 37.2% de la production globale en 2015 (voir **Figure II.3**). [05]

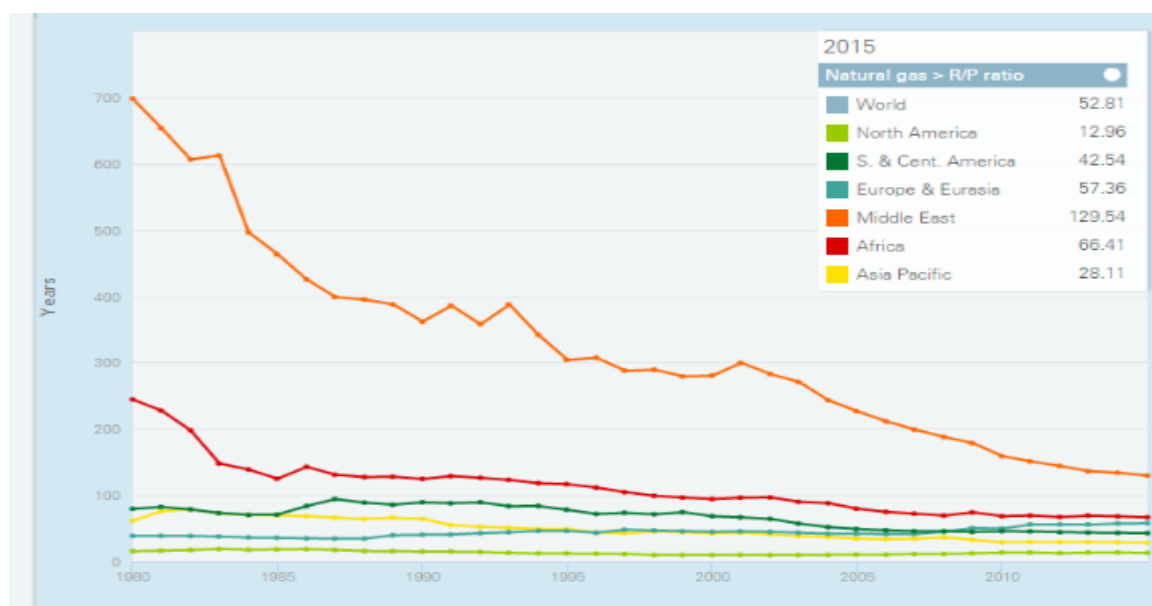


Figure II.3 : Production de gaz naturel en millions de tonnes équivalent pétrole sur la période 1980- 2015. [05]

II-6-3- La consommation de gaz naturel :

Le gaz naturel représente près du quart de la consommation énergétique mondiale. Comme le montre clairement la **Figure II.4** cette consommation a considérablement augmenté au cours des 40 dernières années.

La consommation mondiale totale a représenté environ 3135.2 millions de tonnes équivalent pétrole en 2015. [05]

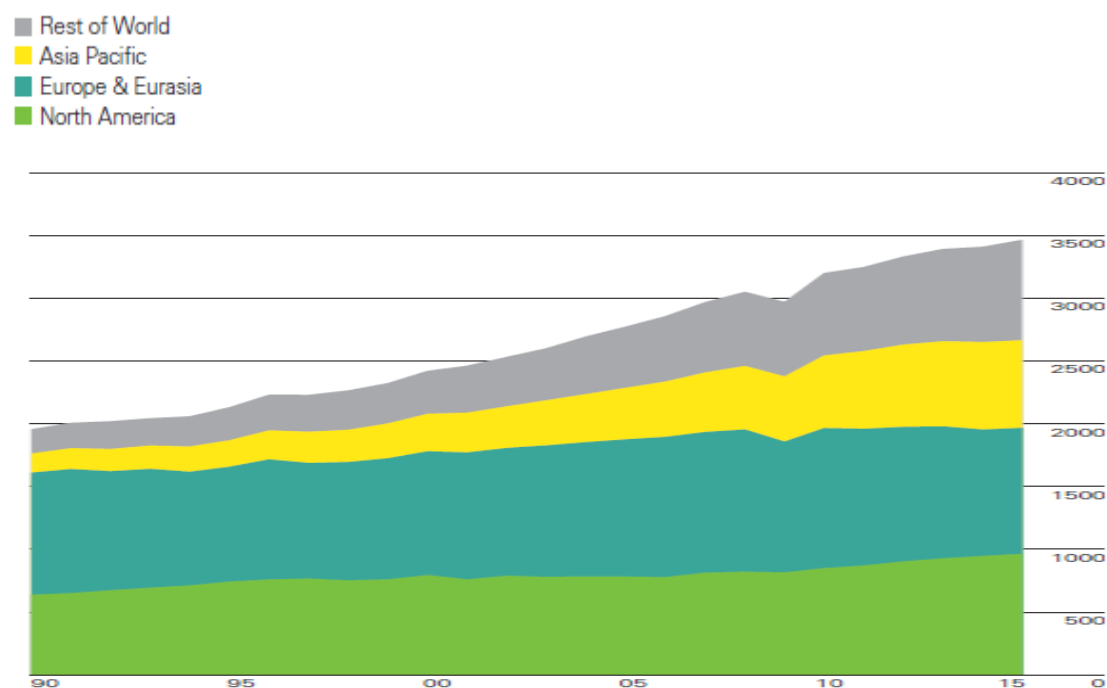


Figure II.4 : Consommation de gaz naturel en millions de tonnes équivalent pétrole de 1990 à 2015.[05]

II-7- Le gaz naturel en Algérie [06]

II-7-1- La production de gaz en Algérie :

L'Algérie est un pays traditionnellement fournisseur de gaz naturel à l'Europe depuis 1964, d'abord en Angleterre, puis en France, à travers les flux de GNL. Sonatrach joue un rôle important dans l'économie algérienne. Il convient de noter que la Sonatrach procure plus de 95% des recettes d'exportation du pays et qu'elle assure plus de 51 % des recettes budgétaires.

La Sonatrach est classée comme étant la treizième compagnie pétrolière mondiale, deuxième exportateur en GNL et GPL, troisième en gaz naturel et premier exportateur de condensat. En 1973, presque 85 % de la production était constituée de pétrole brut. La part de pétrole brut représente actuellement à peine 25 % des exportations, le reste étant réalisé par le gaz naturel sous forme GNL, c'est-à-dire liquéfié, ou par gazoduc, le GPL, le condensat et les produits raffinés.

En 2003 l'Algérie a assuré une production brute de gaz naturel de 85 Milliards, y compris la consommation nationale ; en 2010 le volume des exportations sera de 85 Milliards de mètre cube et comme il y a des besoins de gaz en réinjection et en consommation locale, il y aura donc une production de 117 milliards de mètres cubes et en 2020 de 172 milliards de mètres cubes.

L'Algérie a exporté la majorité de son gaz, soit un volume de 53 milliards de mètres cubes vers l'Europe en 2003, essentiellement vers l'Espagne, 26%, l'Italie, 45 %, et la France 17 %, et il y a bien sûr les autres pays tels que la Belgique, le Portugal, la Grèce, sans parler aussi de la Turquie, de la Slovénie, de la Tunisie et des États-Unis d'Amérique.

Actuellement l'Algérie exporte 62 milliards de m³/an de gaz naturel dont la moitié environs sous forme de GNL. A l'horizon 2010, l'Algérie compte porter ses exportations totale de gaz à 82 milliards de m³, et davantage encore vers 2012 avec l'entrée en service de deux importants projets de production de GNL avec une capacité de 4,5 millions. [06]

II-7-2- La consommation de gaz en Algérie : [06]

Troisième exportateur mondial de gaz, l'Algérie fera face à une hausse importante de la demande intérieure de gaz en raison de la croissance soutenue de son économie.

En 2006, la consommation locale en gaz naturel est d'environ 17,43 milliards de mètres cubes répartis par type d'utilisation comme suit :

- Distribution publique : 4,32 milliards de m³ (hausse de 9,7% par rapport à 2005).
- Clients industriels : 2,62 milliards m³ (hausse de 2,6% par rapport à 2005).
- Centrales électriques : 10,50 milliards de m³ (hausse de 1,9% par rapport à 2005).

L'élévation de la demande prévisionnelle en GN pour la période 2006-2015

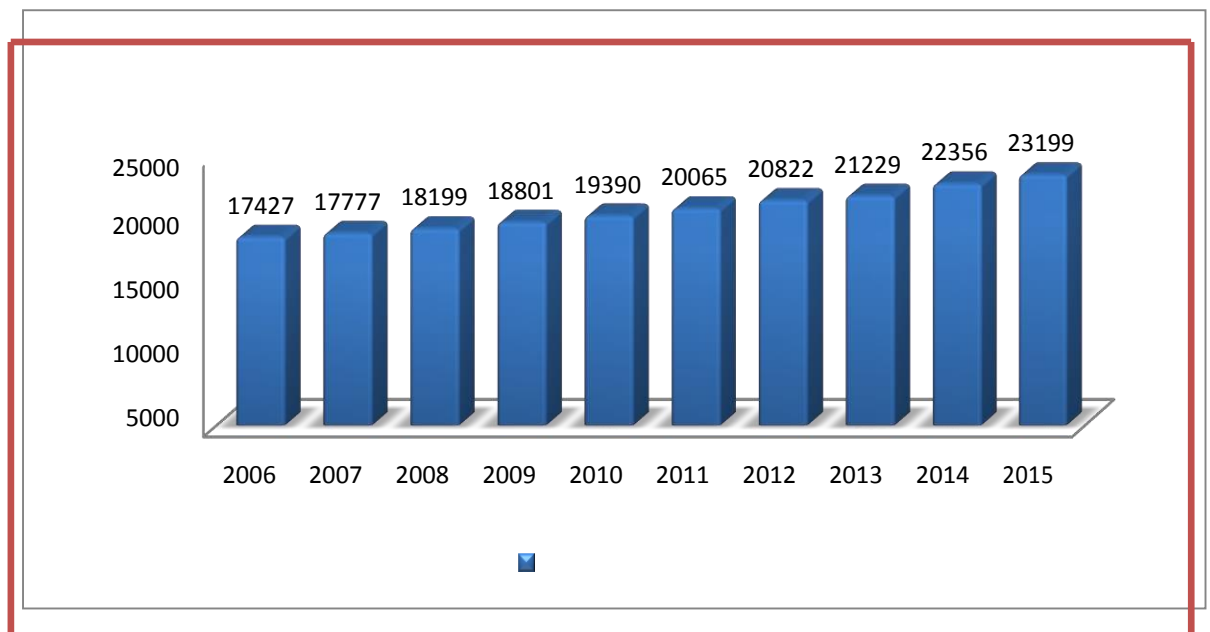


Figure II. 5: Demande en gaz en Algérie pour la période 2006-2015 en millions de m3[06]

II-7-3- Réserves algériennes en gaz naturel [06]

Avec ses réserves en hydrocarbures, l'Algérie est un acteur incontournable du paysage pétrolier et gazier mondial, selon les experts du bureau d'expertise londonien Oxford Business Group, qui précisent qu'Alger doit jouer « un rôle moteur sur la scène internationale ». On note que l'Algérie a des réserves de pétrole évaluées à 11,8 milliards de barils et un volume de gaz naturel estimé à 4500 milliards de m³ qui représente 2,5% des réserves mondiales.

L'Algérie dispose aujourd'hui de dix méthaniers qui nous permettront justement de profiter de cette flexibilité nécessaire pour satisfaire la demande du marché du gaz dans le monde de manière générale et en Europe de manière particulier.

Chapitre III

La Déshydratation

III-Les hydrates

III-1- Introduction :

L'exploitation du gaz naturel s'est heurtée à des difficultés liées au bouchage des canalisations par dépôt des cristaux, d'abord considérés comme étant de la glace. Ces cristaux, sont en fait, constitués par des hydrates de gaz naturel apparaissant bien au-dessus de la température de formation de la glace. Il s'agit de composés d'inclusion que forment avec l'eau certains des constituants du gaz naturel et en tout premier lieu le méthane.

Pour éviter le bouchage des canalisations, les installations de production et de transport doivent être protégées des risques de formation des hydrates. Une première façon d'y arriver consiste à déshydrater le gaz naturel.

III-2-Définition des hydrates :

Un hydrate est une combinaison physique de l'eau et d'autres petites molécules de gaz, produisant un solide qui a une apparence semblable à la glace, mais de structure différente de celle-ci ils sont donc formés à partir des hydrocarbures dissous dans la phase d'eau libre. (voir l'annexe A)

III-3-Structures des hydrates : [07]

En présence d'un gaz léger, les molécules d'eau peuvent former une structure cristalline régulière comprenant des cavités ou cages, dans laquelle sont piégées les molécules de gaz.

Il y a deux structures cristallines pour les hydrates présentées (voir l'annexe B).

Les petites molécules des gaz (CH_4 , C_2H_6 et H_2S) forment avec l'eau, un corps centré de structure cubique qui s'appelle (**structure I**).

Les grandes molécules (C_3H_8 et $\text{i-C}_4\text{H}_{10}$) forment la (**structure II**) avec 17 molécules d'eau pour une molécule de gaz.

III-4- Types des hydrates :

On distingue deux types d'hydrates :

- a) Les hydrates faisant intervenir des molécules de petites tailles :
 - Le méthane lié avec 6 à 7 molécules d'eau (CH_4 , 7 H_2O).
 - L'éthane lié à 7 molécules d'eau (C_2H_6 , 7 H_2O).
 - Le dioxyde de carbone lié avec 6 à 7 molécules d'eau (CO_2 , 7 H_2O).

b) les hydrates faisant intervenir des molécules de grandes tailles liées avec 17 molécules d'eau :

- $(C_3H_8, 17 H_2O)$
- $(C_4H_{10}, 17H_2O)$.

Les tailles des molécules au-delà du n-C4 sont importantes et ne permettent donc pas la pénétration dans le réseau cristallin, et par conséquent inhibent la formation d'hydrates.

III-5-Les facteurs favorisant la formation d'hydrates : [08]

Les risques formation d'hydrates est thermodynamiquement possible, les conditions qui favorisent la formation d'hydrates sont de formation d'hydrates se situent à des endroits bien précis dans l'unité là où la:

a) facteurs primaires :

- les basses températures.
- les hautes pressions
- Présence d'eau dans le gaz.

b) facteurs secondaires :

- les hautes vitesses de circulation en créant une forte turbulence.
- les fluctuations de pression.
- l'agitation.
- Présence de petits cristaux d'hydrates qui peuvent jouer un rôle de catalyseur de réaction.

III-6-Prévention des hydrates :

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

Si c'est impossible, il est nécessaire pour éviter la formation des hydrates soit de réduire la teneur en eau du gaz par l'opération de séchage, soit d'utiliser des inhibiteur. [09]

Les techniques de prévention d'hydrates sont :

III.6.1.Utilisation d'inhibiteurs:

a. Les alcools

Les alcools, et notamment les glycols et le méthanol, sont très largement utilisés comme inhibiteurs thermodynamiques. [10, 11]

Le Mono-Ethylène Glycol (MEG) 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 fixée, que le Di-Ethylène Glycol (DEG) ou le Tri-Ethylène Glycol (TEG). [07,11]

Les glycols présentent l'avantage de pouvoir être facilement récupérés en phase liquide, régénérés par distillation et recyclés, mais l'inconvénient d'être relativement visqueux. [03,07]

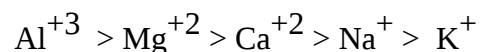
Le méthanol est très fréquemment utilisé soit temporairement pour détruire un bouchon, soit en continu pour éviter la formation des hydrates.

Le méthanol peu visqueux et n'est pas corrosif. Par contre, sa forte tension de vapeur entraîne des pertes importantes en phase gazeuse. De plus, la régénération par distillation du méthanol est relativement couteuse. De ce fait, le méthanol est souvent consommé en permanence, sans être récupéré. [07,03]

b. Les 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 qu'à 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. [03]

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



La plupart des chlorures et notamment NaCl, KCl, MgCl₂, CaCl₂, et AlCl₃ peuvent être utilisés comme inhibiteurs. Le chlorure de calcium est fréquemment choisi en raison de son efficacité et son faible coût. Les sulfates, notamment Na₂SO₄, MgSO₄, Al(SO₄)₃ sont également employés. Enfin, l'utilisation des phosphates et en particulier le phosphate de sodium Na₃PO₄ peut être envisagée.

En présence d'eau de gisement (eau produite), il est nécessaire de tenir compte des sels dissous pour évaluer les risques de formation d'hydrates. Par contre, en raison

des risques de corrosion et de dépôts, les sels ne sont que peu utilisés en pratique comme inhibiteurs [03]

III.6.2. Une Réduction de pression :

baisse pression effectuée à température fixée représente un des moyens pour sortir du domaine de formation des hydrates. Toutefois, une détente du gaz s'accompagne généralement d'une baisse de température qui va à l'encontre de l'effet recherché. [12]

Ainsi, une détente isentropique ou même isenthalpique conduit à une augmentation des risques de formation des hydrates. [07]

Une dépressurisation ne permet d'éliminer un bouchon d'hydrates que si elle est menée de manière presque isotherme ; ce qui implique que la conduite ne soit pas isolée et que le processus de détente soit suffisamment lent. [07]

La dépressurisation n'est en général effectuée que sur un tronçon de conduite qu'il faut pouvoir isoler. Elle doit être menée simultanément de part et d'autre du bouchon, de manière à éviter les risques de projection de ce bouchon.

III.6.3. Déshydratation :

La déshydratation est la technique de prévention d'hydrates la plus commune appliquée aux centres de traitement de gaz. Les systèmes de production peuvent aussi réduire le débit d'eau dans les conduites .[03]

La déshydratation du gaz naturel est réalisée par différents types de procédés :

- Absorption
- Adsorption

III.6.3.1.Déshydratation par absorption:

Le séchage du gaz naturel est assuré dans ce cas par un lavage à contre-courant avec un solvant présentant une forte affinité pour l'eau ; ce solvant est le plus souvent le glycol. Le gaz déshydraté sort en tête de colonne ; le glycol sortant en fond est régénéré par distillation et recyclé. [12]

Le tri-Ethylène Glycol (TEG) représente le meilleur compromis cout/performances et il est le plus fréquemment employé. [12,13]

III.6.3.2. Déshydratation par adsorption :

a) Définition:

L'adsorption à l'interface soluté/solide est un phénomène de nature physique ou chimique par lequel des molécules présentes dans effluent liquide ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide [14] .Ce phénomène dépend à la fois de cette

interface et des propriétés physico-chimiques de l'adsorbat [15]. Ce phénomène spontané provient de l'existence à la surface du solide de forces non composées, qui sont de nature physique ou chimique. Ces forces conduisent respectivement à deux types d'adsorption : la chimisorption et la physisorption.

b) Classification des phénomènes d'adsorption :

L'adsorption est divisée en deux types :

- ✓ **Adsorption physique (ou physisorption) :** L'adsorption physique est un phénomène réversible qui résulte des forces intermoléculaires d'attraction entre les molécules du solide et celles de la substance à adsorbée. . [14-16]
- ✓ **L'adsorption chimique (ou chimisorption) :** L'adsorption chimique résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électron entre le solide et l'adsorbat. Il y a lors formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant. [14-16]

c) Les facteurs influençant l'adsorption : [17]

L'adsorption des constituants diffère d'un composé à un autre et cela dépend surtout des caractéristiques suivantes :

- ✚ La composition chimique, les propriétés physiques et la configuration de la surface de l'adsorbant
- ✚ Les propriétés de l'adsorbat (la masse moléculaire, la polarité et la pression de vapeur)
- ✚ La concentration de l'adsorbat dans le fluide
- ✚ La température et la pression du système

d) Différents adsorbants industriels :

Les adsorbants les plus utilisés actuellement sont les suivants : [16-17-18]

- Alumine activée ;
- Gel de silice (Silicagel) ;
- Tamis moléculaires (Zéolites).
- Le charbon actif

- ✓ **L'alumine activée** : permet d'atteindre des puretés élevées sur le gaz traité, la teneur en eau résiduelle pouvant être de l'ordre de ppm. La teneur en eau dans le gaz traité par adsorption sur gel de silice est environ 10 ppm.

Caractéristiques générales du L'alumine active est donnée dans le tableau III.1 :

Tableau III.1 : Caractéristiques générales du L'alumine activée[16-17-18]

Adsorbant	Surface spécifique (m ² /g)	Volume des pores (cm ³ /100g)	Diamètre moyen des pores, (Å°)	Principales Applications
Alumine activée	250 – 350	20- 35	10- 80	H ₂ O/gaz et liquide

- ✓ **Le charbon actif** : Les charbons actifs ont une caractéristique essentielle qu'est l'existence d'un réseau très développé de micropores, lesquels sont à l'origine de leur pouvoir adsorbant très important.

Par conséquent, ces derniers constituent les adsorbants les plus fabriqués et les plus utilisés industriellement.

Les charbons actifs sont des adsorbants non spécifiques ou très peu spécifiques avec une structure poreuse bien développée formée majoritairement par des micropores et des méso pores de différents diamètres.

Caractéristiques générales du charbon actif est donnée dans le tableau III.2 :

Tableau III.2 : Caractéristiques générales du charbon actif [16-17-18]

Adsorbant	Surface spécifique(m ² /g)	Volume des pores(cm ³ /100g)	Diamètre moyen des pores, (Å°)	Principales Applications
Charbon actif	300 – 500	50 – 60	10 – 30	Organiques/air Organiques/eau, CH ₄ , CO/H ₂ O

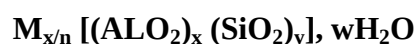
- ✓ **Gel de silice (silica-gel)** :comme la alumine ; silica-gel est un bon adsorbant pour le séchage. La teneur en eau dans le gaz traité par adsorption sur gel de silice est d'environ 10 ppm. Il est caractérisé par une grande capacité da adsorotion dans la région moyenne pression. Le silica-gel est facilement régénéré à une température comprise entre 120 et 200°C. Il adsorbe moins les hydrocarbures que le charbon actif, qui sont ensuite désorbés au cours de la régénération [17].

La Caractéristiques générales du Gel de silice est donnée dans le tableau III.3 :

Tableau III.3: Caractéristiques générales du Gel de silice [16-17-18]

Adsorbant	Surface spécifique (m ² /g)	Volume des pores (cm ³ /100g)	Diamètre moyen des pores, (Å)	Principales Applications
Gel de silice	700-850	40-50	22-26	H ₂ O/gaz

- ✓ **Les tamis moléculaires ou zéolites:** Les tamis moléculaires sont des cristaux microporeux de silico-aluminates alcalins ou alcalino-terreux de formule générale :



N étant la valence du cation M, x et y des nombres entiers avec y/x égal ou supérieur à 1 et w le nombre de molécules d'eau par maille.

Le réseau cristallin est constitué par l'arrangement tridimensionnel de tétraèdres [SiO₄] et [AlO₄]⁻ liés par leurs sommets. Ces enchaînements forment des polyèdres qui s'ordonnent selon une symétrie donnée pour former le cristal. L'espace vacant délimité par la charpente aluminosilicate est organisé par un réseau de cavités reliées par des pores de tailles uniformes.

Le diamètre effectif des pores, variables selon le type de zéolithe (tamis moléculaire), est du même ordre de grandeur (3 à 10 Å) que celui de la plupart des molécules organiques, d'où le nom de tamis moléculaires donné à ces adsorbant. Les cations M et les molécules d'eau constituent les espèces extra-charpente.

Le cation compensent les charges négatives induits par les atomes d'aluminium de la charpente et peuvent faire l'objet d'échange pour ajuster les propriétés d'adsorption. Leur nombre dépend du rapport Si/Al de la charpente. L'eau occupant le réseau poreux peut être désorbée par chauffage ou balayage de gaz sec, libérant ainsi un volume microporeux qui représente 20 à 50 % du volume du cristal.

Les zéolithes utilisées sont de types : A (3A, 4A, 5A), X et Y.

La nature des cations de compensation est un paramètre d'optimisation de la sélectivité de l'adsorbant. Ainsi la zéolithe A est synthétisée sous la forme Na, qui présente un diamètre de pores effectif de 3,8 Å (type 4A). Par échange du Na par K on prépare le type 3A qui présente une ouverture de pore plus petite à cause de la plus grande taille de l'ion K⁺. Ceci permet d'obtenir une zéolithe laissant entrer les molécules d'eau mais excluant les oléfines, utilisé pour le séchage des coupes oléfiniques. . [16 -17-18].

Au contraire, par échange partiel du Na par du Ca on prépare le type 5A présentant une plus grande ouverture des pores et capable d'adsorber les paraffines linéaires en excluant les paraffines ramifiées. (voir l'annexe C)

La composition typique du tamis moléculaire UOP UI 94 est donnée dans le tableau III.4

Tableau III.4 : Composition chimique du tamis UOP UI 94 . [17]

Composition(% mass)	UOP UI-94
Al ₂ O ₃	35 – 36
SiO ₂	46 – 47
Na ₂ O	15 – 16
K ₂ O	<1
CaO	<1
MgO	<0,5
Fe ₂ O	<1
TiO ₂	<0,5
P ₂ O ₅	<0,5

Les caractéristiques de base des tamis moléculaires sont présentées dans le tableau III . 5 :

Tableau.III . 5 : Caractéristiques générales des tamis moléculaires[17-18]

Type de Base	Diamètre minimal des pores (Å)	Forme commune	Capacité d'adsorption H ₂ O % mass	Molécules adsorbées	Applications
4A	4	Poudre 1/16in bâtonné 1/8in bâtonné 8 x 12 granulé 4 x 8 granulé 14 x 30 Mesh	28,5 22 22 22 22 22	Molécules avec un diamètre effectif <4 angströms, y compris éthanol, H ₂ S, C ₂ H ₄ , et C ₃ H ₆	-Séchage de l'hydrogène -Séchage de gaz d'hydrocraquage -Séchage d'air à basse pression -Séchage de gaz naturel -Élimination de H ₂ S, CO ₂ du gaz naturel -Séchage des liquides Organiques

e) Principe d'adsorption des tamis moléculaires :[17]

Ils sont capables de séparer les matériaux sur la base de leurs tailles moléculaires. Les pores des différents types de tamis moléculaires ne laissent passer que les molécules dont le diamètre critique est inférieur ou égal au diamètre spécifié. Si deux molécules sont assez petites pour pénétrer dans les pores, le tamis moléculaire peut en adsorber une de préférence à l'autre en se basant sur la polarité ou le degré de non -saturation. Plus la molécule est polaire et non saturée, plus elle sera retenue dans le cristal.

f) Influence de quelques paramètres sur une unité d'adsorption[17]

Les performances d'une unité d'adsorption sont influencées par un certain nombre de facteurs. Certains de ces facteurs dépendent du système dans lequel évolue l'adsorbat, d'autres sont fonction de l'adsorbant lui-même. Cependant, ils exercent tous sans exception, une influence sur le phénomène de transfert de masse.

❖ Zone de transfert de masse « ZMT » [17]

A l'intérieur de la colonne d'adsorption contenant du tamis moléculaire, la quantité de matière pouvant être adsorbée du fluide porteur au lit de tamis moléculaire, s'effectue au sein d'une zone appelée : zone de transfert de masse. (Voir figure .III.10)

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). [17]

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)

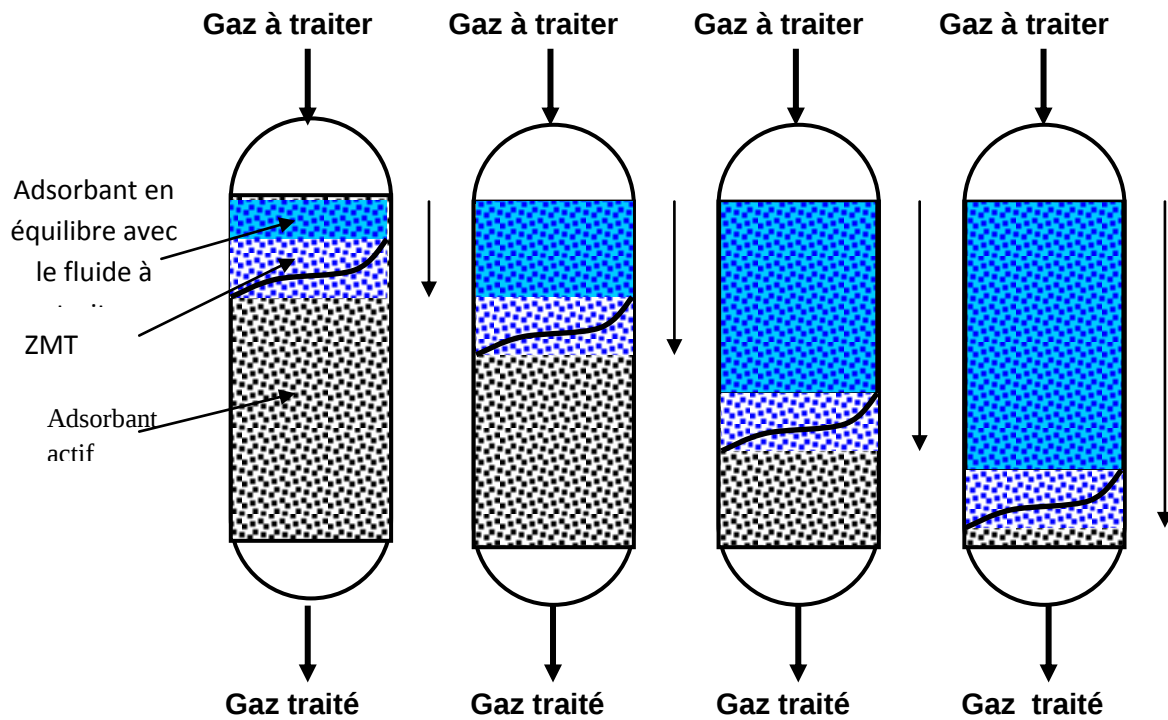


Figure III 1 : Evolution de la zone de transfert de matière au cours du temps. [17]

❖ Evolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption [17]

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

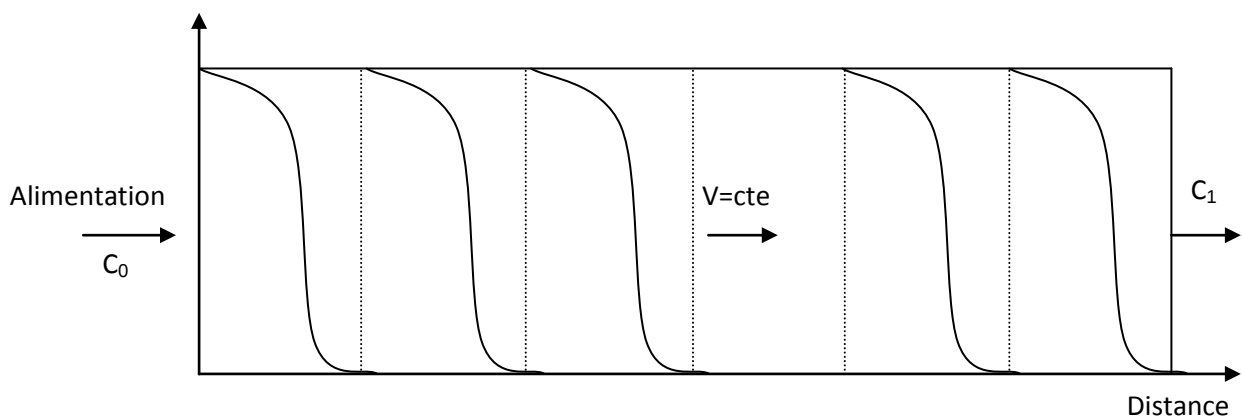


Figure III.2 : Evolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption. [17]

A 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 temps de saturation. [17].

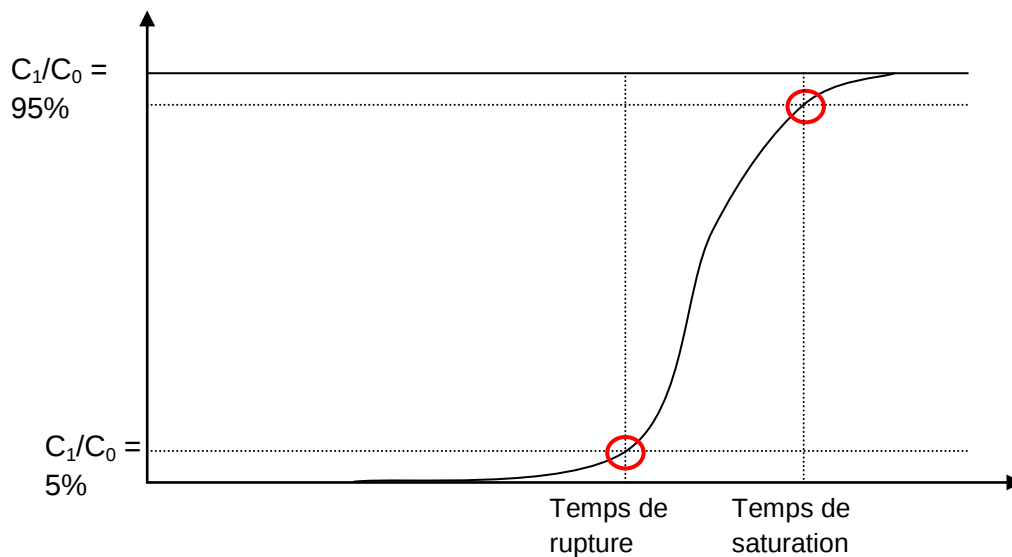


Figure III.3 : Représentation d'une courbe de perçage[17]

❖ Température

La capacité à l'équilibre des tamis moléculaires décroît au fur et à mesure que la température augmente. Tout phénomène d'adsorption s'accompagne d'un dégagement de chaleur (chaleur d'adsorption) et il en résulte une élévation de température. A cause de cet effet thermique, la capacité utile de l'adsorbant se trouve donc réduite. [17]

❖ Pression

La pression de service n'a pas une grande importance en ce qui concerne le comportement des tamis moléculaires, à partir du moment où elle se situe dans la gamme des valeurs habituellement utilisées dans les installations industrielles de traitement de gaz et de liquides. Toutefois, une augmentation de la pression globale du système provoque un accroissement de la pression partielle du produit à adsorber, et l'on prévoit dans ce cas une capacité d'adsorption plus élevée. [17]

❖ Concentration

La capacité d'adsorption des tamis moléculaires augmente si la concentration du produit à adsorber croît. Le plus grand avantage des tamis moléculaires réside dans l'obtention de capacités d'adsorption élevées pour de faible concentration du produit à adsorber. [17]

❖ Phase

La phase (liquide ou gazeuse), dans laquelle les tamis moléculaires opèrent influence très largement la hauteur de la zone de transfert de masse. La vitesse d'adsorption en phase liquide est pratiquement égale à 1/10 de la vitesse d'adsorption en phase gazeuse. Ceci signifie que la vitesse de passage d'un système liquide doit être relativement faible pour maintenir la hauteur de la zone de transfert de masse, et par conséquent celle de la colonne, dans un ordre de grandeur raisonnable. [17]

❖ Vitesse de passage

La possibilité de compenser une vitesse de transfert de masse faible par un temps de contact prolongé est applicable dans certaines limites.

Une vitesse de passage trop faible pourrait soulever des problèmes de distribution. En phase gazeuse, les vitesses superficielles les plus favorables varient entre 5 et 15 mètres par minute. Par ailleurs, on ne doit pas descendre en dessous de limite correspondant au régime turbulent, car au régime laminaire, le transfert de masse s'effectue dans de mauvaises conditions. Par contre, une vitesse de passage trop élevée pourrait entraîner la formation de tourbillons. [17]

g) Avantages et inconvénients des procédés d'adsorption :

✚ Avantages [17]

- Point de rosée très bas (sous 70 bars)
- Simplicité de la mise et du design
- Pas de problèmes de moussage
- Grande sélectivité

✚ Inconvénients [17]

- Investissement important
- Demande une importante quantité de chaleur pour la régénération.

Chapitre IV

Méthode de calcul

IV- Méthode de calcul :

Problématique :

La variation de la teneur en Le fonctionnement du déshydrateur est basé essentiellement sur l'efficacité d'adsorption du tamis moléculaire, ce dernier adsorbée l'eau contenue dans le gaz.

eau dans le gaz implique un changement des paramètres de fonctionnement des équipements.

A cet effet, l'objectif de notre étude est d'optimiser les paramètres de fonctionnement de la section de déshydratation du gaz de la station de récupération des gaz associée de TFT, afin d'avoir une meilleur exploitation de tamis moléculaire, d'augmenter la durée d'utilisation de ce dernière et donc, de réduire le nombre de chargements.

Objectif de l'étude :

L'objectif de cette étude est l'optimisation des paramètres de fonctionnement de la section de déshydratation de gaz de l'unité de récupération des gaz associés UTGA (unité de traitement de gaz associé) afin d'avoir une meilleure exploitation des tamis moléculaire, d'augmenter la durée d'utilisation de ces derniers et donc de réduire le nombre de changement.

Après avoir effectué une étude bibliographique concernant la déshydratation, nous allons voir au cours de cette partie la méthode de calcul suivie ou les déshydrateurs D301 A/B/C, et elle comprend les étapes suivantes :

IV -1) Vérification du design :

Cette vérification sera effectuée pour les deux périodes :

- a) Période d'hiver
- b) Période d'été

La vérification du design consiste à déterminer :

- Le diamètre de la colonne.
- La hauteur du lit.
- La masse du tamis.
- Le débit de gaz de régénération.
- La perte de charge à travers le déshydrateur.
- Comparaison entre les résultats obtenus et ceux du design.
- Optimisation du temps de cycle du cas actuel et le débit de régénération correspondant :

IV.2 Calcul du déshydrateur dans les conditions actuelles :

La méthode de calcul repose sur les données suivantes :

- * La composition de la charge.
- * Le débit de la charge.
- * Le temps de cycle choisi.
- * La teneur en eau dans la charge.
- * Mode et critères de régénération.

IV .1.1 Calcul du facteur de compressibilité Z : [19]

1.1.a Calcul des températures et pressions critiques et réduites du mélange :

T_{cm} : température critique du mélange, elle est donnée par :

$$T_{cm} = \sum y_i \cdot T_{ci} \quad \text{IV.1}$$

P_{cm} : pression critique du mélange, et est donnée par :

$$P_{cm} = \sum y_i \cdot P_{ci} \quad \text{IV.2}$$

Avec :

T_{ci} : Température critique du constituant i.

P_{ci} : Pression critique du constituant i.

y_i : Fraction molaire du constituant i.

T_{rm} : Température réduite du mélange, elle est donnée par:

$$T_{rm} = \frac{T}{T_{cm}} \quad \text{IV.3}$$

P_{rm} : Pression réduite du mélange, elle donnée par :

$$P_{rm} = \frac{P}{P_{cm}} \quad \text{IV.4}$$

Avec :

T : température de service (K) P : pression de service (psi)

IV. 1.1.b En utilisant l'abaque universel de l'annexe D :

A (T_{rm}, P_{rm}), on trouve Z.

IV.1.2 Calcul de la densité relative de gaz : [03]

M_g : Masse moléculaire du gaz.

d_G : Densité relative du gaz

$$d_G = \frac{M_g}{M_{air}} \quad \text{IV.5}$$

Avec :

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

IV.1.3 Calcul de la masse volumique du gaz : [03]

$$\rho_g = \frac{P.M_g}{Z.R.T} \quad \text{IV.6}$$

Avec : $R = 10.73 \text{ psi.ft}^3/\text{lb.}^\circ\text{R}$

IV.1.4 Calcul de la vitesse superficielle de gaz : [19]

La vitesse superficielle de gaz est donnée par l'équation suivante:

$$V_g = \left\{ -B\mu + [(B\mu)^2 + 4C\rho_g(\Delta P/L)]^{0.5} \right\} / 2C\rho_g \quad \text{IV.7}$$

μ : viscosité du gaz (cP).

ρ_g : Masse volumique du gaz, (lb/ft³).

B et C : constantes qui dépendent de la forme de l'adsorbant, pour les tamis moléculaire de (1/8" et 1/16"), les constantes B et C sont données dans le tableau IV.1

Tableau IV.1: Constantes B et C [20]

Types de tamis	B	C
1/8"	0.0722	0.000124
1/16"	0.238	0.000210

Le dimensionnement est basé généralement sur une perte de charge ($\Delta P/L$) qui varie entre 0,30-0,44 psi/ft.

IV.1.5 Débit volumique de gaz dans les conditions opératoires : [19]

$$q_a = \frac{Q}{1440} \cdot \left(\frac{P_s}{P} \right) \cdot \left(\frac{T}{T_s} \right) \cdot Z \quad \text{IV.8}$$

Q : débit de gaz (sm³/J).

q_a : débit volumique de gaz dans les conditions opératoires

p_s : pression à la condition standard (KPa)

p : pression de service (KPa)

Ts : température à la condition standard (K)

T : température de service (K)

IV.1.6 Diamètre de lit : [20]

$$d = \left(\frac{4q_a}{\pi V_g} \right) \quad \text{IV.9}$$

IV.1.7 Quantité d'eau absorbée pendant la durée de cycle de 4 heures: [19]

$$\text{Masse d'eau adsorbée/cycle} = \frac{Q \cdot y_w \cdot 4}{24} \quad \text{IV.10}$$

Q : débit de gaz (MMScF/D)

y_w : la teneur en eau, déduit à partir de l'annexe E.

IV.1.8 Hauteur de la zone de transfert de masse: [18]

$$h_z = A \cdot \left[\frac{Q^{0.2389} \cdot y_w^{0.7895} \cdot Rh^{0.5249}}{d^{0.4778}} \right] \cdot 0.06 \quad \text{IV.11}$$

A: constante = 0,165.

Rh : humidité relative (100%).

IV.1.9 Hauteur de lit: [18]

$$h_B = \frac{400 \cdot m_w}{\pi \cdot \rho_B \cdot X \cdot d^2} \quad \text{IV.12}$$

m_w : Quantité d'eau adsorbée pendant la durée du cycle (Kg/cycle).

X : Capacité d'adsorption = 10.9% d'après le constructeur pour éviter la dégradation du tamis.

IV.1.10 Masse du tamis: [18]

$$M = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho_B \cdot h_B}{4} \quad \text{IV.13}$$

IV.1.11 Calcul de l'épaisseur du déshydrateur: [18]

$$e = \frac{p \cdot d/2}{SE \cdot 0.6} \quad \text{IV.14}$$

S : contrainte maximal ou taux de travail du métal = 18900 psi (fiche technique du déshydrateur).

E : Coefficient d'assemblage par soudage des tôles d'acier = 100% (fiche mécanique).

Le design prévoit une surépaisseur de corrosion de 3,2 mm donne e=e+3,2 mm.

IV.1.12 Calcul de la perte de charge : [18]

IV.1.12.a Calcul de la perte de charge dans les tamis moléculaire et les billes céramiques :

La perte de charge est surtout le résultat de la friction à l'intérieur du déshydrateur.

Lorsque le gaz s'écoule à travers un lit d'adsorbant il remplit les espaces vides et la perte de charge à travers les grains de tamis ainsi que les billes en céramiques est donnée par l'équation suivante :

$$\frac{dp}{dz} \cdot \frac{g_c \cdot \varepsilon^3 \cdot dp_0 \cdot \rho_g}{(1-\varepsilon)G^2} = 150 \frac{(1-\varepsilon)}{Re} + 1,75 \quad \text{IV.15}$$

ou :

dp/dz : perte de charge par de longueur du lit, (PsF/ft).

dp_0 : diamètre effectif des grains et des billes de céramique, (ft).

ε : fraction de vide externe.

G : vitesse massique de gaz.

La vitesse massique est donnée par l'équation empirique de IEBox :

$$G = 3600 [1,06 \cdot \rho_g \cdot \rho_B \cdot D_p]^{0,5} \quad \text{IV.16}$$

Avec : ρ_B = masse volumique du tamis tassé.

D_p = diamètre du grain.

On a deux types de tamis ce qui correspond à deux vitesses massiques.

ρ_g : Masse volumique du gaz.

g_c : facteur de conversion $g_c = 4,17 \cdot 10^8 \text{ lb.ft/Lbf.hr}^2$

Re : est le nombre de Reynolds

Pour les billes céramiques (1/2", 1/4") le diamètre effectif (dp_0) est donnée par l'équation suivante :

$$dp_0 = \frac{6(1-\varepsilon)}{a_p} \quad \text{IV.17}$$

IV.1.12.b Calcule des pertes de charge due aux effets d'expansion et de contraction : [19]

A) Perte de charge à l'entrée du déshydrateur :

La perte de charge à l'entrée du déshydrateur est due à l'expansion du gaz, elle est

donnée par :

$$\frac{\Delta P}{\rho_g} = \frac{U^2}{2g_c} \cdot \left[\frac{A_1}{A_2} \right]^2 \quad \text{IV.18}$$

ΔP : perte de charge due à l'expansion (PsF).

U : vitesse moyenne du courant gazeux dans la petite surface A_1 , (ft/s).

A_1 : Surface du courant gazeux à travers la tubulure d'entrées de diamètre D_1 .

A_2 : Surface du déshydrateur de diamètre D_2 .

ρ_g : Masse volumique du gaz.

g_c : Facture de conversion, $g_c=32,2$.

La vitesse moyenne dans A_1 est U_1 : ($U_1 = Q/A_1$). IV.19

B) Perte de charge a la sortie du déshydrateur : [19]

La perte de charge à la sortie du déshydrateur est due à la contraction du gaz, elle est donnée par l'équation suivante :

$$\frac{\Delta P}{\rho_g} = \frac{U^2}{2g_c} \cdot 0,54 \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \quad \text{IV.20}$$

IV.1.12.c Perte de charge totale à travers le déshydrateur : [19]

$$\Delta P = \Delta P(\text{tamis}) + \Delta P(\text{bille } 1/2") + \Delta P(\text{bille } 1/2") + \Delta P(\text{bille } 1/4") \\ + \Delta P(\text{expansion}) + \Delta P(\text{contraction})$$

IV.1.13 Calcul du débit de gaz de régénération:

IV.1.13. a Phase de chauffage:

La quantité de chaleur fournie pour la régénération est égale à la chaleur nécessaire pour le chauffage du des hydrateur plein de la température de régénération, cette quantité de chaleur est la somme des énergies suivante :

- Chauffage de lit du tamis.
- Chauffage des billes en céramique.
- Chauffage de la colonne vide.
- Chauffage et désorption de l'eau.
- Chauffage et désorption des hydrocarbures liquides entraînent, sans oublier les pertes vers extérieur.

- La variation de la température du lit de tamis à la sortie du déshydrateur en fonction du temps de régénération est représentée dans annexe F.

A) Quantité de chaleur nécessaire pour le lit du tamis moléculaire : [19]

$$Q_1 = M_T \cdot C_{pT} \cdot (T_F - T_I) \quad \text{IV.21}$$

M_T : masse du tamis moléculaire, (lb).

C_{pT} : chaleur spécifique du tamis, (Btu / lb. °F).

T_F : température final (de régénération), (°F).

T_I : température initiale (de régénération), (°F).

B) Quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique : [19]

$$Q_2 = M_C \cdot C_{pC} \cdot (T_F - T_I) \quad \text{IV.22}$$

M_C : masse total de céramique, (lb).

C_{pC} : chaleur spécifique de la céramique.

C) Quantité de chaleur pour le chauffage du déshydrateur vide : [19]

$$Q_3 = M_{dv} \cdot C_{p dv} \cdot (T_F - T_I) \quad \text{IV.23}$$

M_{dv} : masse de déshydrateur vide, (lb).

$C_{p dv}$: chaleur spécifique du métal, (Btu / lb. °F).

D) Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et désorber l'eau : [19]

$$Q_4 = M_e \cdot C_{pe} \cdot (T_F - T_I) + (M_e \cdot \Delta H_e) \quad \text{IV.24}$$

M_e : quantité d'eau adsorbée par cycle (lb).

C_{pe} : chaleur spécifique de l'eau .

ΔH_e : chaleur latente de désorption de l'eau .

E) Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et désorber les hydrocarbures : [19]

Nous supposons que la quantité d'hydrocarbure adsorbée représente 10% de la masse d'eau adsorbée par tamis moléculaire.

$$M_h = 0,1 M_e.$$

$$Q_5 = M_h C_{ph} (T_F - T_I) + (M_h H_h) \quad \text{IV.25}$$

M_h : quantité d'hydrocarbure adsorbée par cycle.

C_{ph} : chaleur spécifique du gaz.

H_h : chaleur spécifique de désorption d'hydrocarbure.

F) Quantité de chaleur totale à fournir pour le chauffage : [19]

Les pertes sont supposées être égales à 10%, de la quantité de chaleur global :

$$Q_{ch} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) \cdot 1,1 \quad \text{IV.26}$$

G) Débit de gaz de régénération en phase de chauffage : [19]

$$T_A = (T_1 + T_2)/2 \quad \text{IV.27}$$

$$T_B = (T_2 + T_3)/2 \quad \text{IV.28}$$

T_1, T_2, T_3, T_4 Sont prise a partir de l'annexe F.

$$T_{moy} = \frac{T_A + T_B + T_4}{3} \quad \text{IV.29}$$

$$M_{GR} = \frac{Q_{ch}}{\theta_{ch}(T_F - T_{moy}) \cdot cp_{GR}} \quad \text{IV.30}$$

Q_{ch} : Débit de gaz de régénération en phase chauffage, (lb/hr).

cp_{GR} : chaleur spécifique du gaz de régénération, (Btu /lbF°).

θ_{ch} : Temps de régénération (hr).

IV.1.13.b phase de refroidissement: [19]

La quantité de chaleur totale à éliminer est la somme des quantités de chaleur suivantes:

- Quantité de chaleur à éliminer du tamis moléculaire, Q_{rt} .
- Quantité de chaleur à enlever des billes céramique, Q_{rb} .
- Quantité de chaleur à enlever du déshydrateur (métal), Q_{rd} .

$$\text{Donc : } Q_r = Q_{rt} + Q_{rb} + Q_{rd} \quad \text{IV.31}$$

A) Débit de gaz de refroidissement: [19]

$$M_{GR} = \frac{Q_r}{\theta_r \cdot (T_H - T_D) \cdot cp_{GR}} \quad \text{IV.32}$$

θ_r : Temps de refroidissement

$$T_D = (T_4 + T_5)/2 \quad \text{IV.33}$$

T_4, T_5 : Sont prise a partir de l'annexe F.

IV.2 Calcul du déshydrateur dans les conditions actuelles:

Dans cette partie nous allons dimensionner le déshydrateur opérant dans les conditions actuelle (températures, pression, charge, débit), et cela on suivant les mêmes étapes de calcul que dans la partie précédente (vérification du design).

IV.3 Comparaison entre les résultats obtenus et ceux du design:

Dans cette partie nous allons effectuer une comparaison entre les résultats obtenus dans le cas actuelle et ceux du design, les résultats sont représenter dans la partie résultats .

IV.4 Optimisation de temps de cycle:

IV.4.1 Détermination de temps de rupture : [19]

Le temps de rupture de notre charge de tamis moléculaire est évalué par l'équation suivante :

$$t_B = \frac{0,01 \cdot \rho_B \cdot X_S}{q} [h_B - 0,5 \cdot h_z] \quad \text{IV.34}$$

Ou

t_B : Le temps de rupture en heure.

ρ_B : Densité de tamis.

q : quantité d'eau adsorbée par la surface du lit par heure ($\text{lbH}_2\text{O}/\text{hr.ft}^2$).

h_B : Hauteur total de tamis.

h_z : hauteur total de la zone de Transfer de masse.

X_S : la capacité à la saturation = 22 lbH_2O /100lb tamis[20].

IV.4.2 Quantité d'eau adsorbée par la surface du lit par heure: [19]

$$q = \frac{Q}{\pi(D)^2} \quad \text{IV.35}$$

q : débit massique d'eau à l'entrée du sécheur

IV.5 Résultats et discussions :

Après avoir déterminé les équations permettant de faire notre calcul, nous posons tout d'abord les conditions opératoires.

A) Données sur le déshydrateur D-301 -A/B/C :

Charge : gaz associé.

Fiche technique

Nombre de sécheurs : 3 identiques (1 en adsorption, 1 en chauffage, et 1 en refroidissement).

Diamètre intérieur de la colonne : 3000 mm

Hauteur total du lit : 3280 mm

Temps de cycle: 12 heures.

- adsorption : 4 heures
- chauffage : 3 heures 45 minutes
- refroidissement : 3 heures 45 minutes
- temps d'attente : 30 minutes

B) Conditions opératoires:**B.1 Conditions opératoires du design:****B.1.a période d'hiver :**

Pression : 80 bars .

Température : 50°C.

Débit de gaz associé : 4877400 Sm³/j.

Débit d'eau : 338 kg/h.

La composition du gaz alimentant les sécheurs est donné dans le tableau IV.2 :

Tableau IV.2: Composition de la charge (cas hiver) [01]

Composition	% Molaire
N ₂	2,46
CO ₂	1,05
CH ₄	76,52
C ₂ H ₆	10,69
C ₃ H ₈	6,1
iC ₄ H ₁₀	0,62
nC ₄ H ₁₀	1,63
iC ₅ H ₁₂	0,28
nC ₅ H ₁₂	0,35
nC ₆ H ₁₄	0,20
nC ₇ H ₁₆	0,10
TOTAL	100

B.1.b période d'été:

Pression : 80 bars.

Température : 55°C.

Débit de gaz associé : 4 870 100 Sm³/j.

Débit d'eau : 430 kg/h.

La composition du gaz alimentant les sécheurs est donnée dans le tableau IV.3

Tableau IV.3: Composition de la charge (cas d'été) [01]

Composition	% Molaire
N ₂	1.71
CO ₂	1
CH ₄	73.68
C ₂ H ₆	11.25
C ₃ H ₈	6.68
iC ₄ H ₁₀	0.75
nC ₄ H ₁₀	2.21
iC ₅ H ₁₂	0.7
nC ₅ H ₁₂	0.99
nC ₆ H ₁₄	0.7
nC ₇ H ₁₆	0.31
nC ₈ H ₂₀	0.01
TOTAL	100

Conditions opératoires actuelles

Pression : 80 bars

Température : 55°C

Débit de gaz associé : 3000000 Sm³ /j.

La composition du gaz alimentant les sécheurs est donner dans le tableau IV.4

Tableau IV.4: Composition de la charge (cas actuel) [01]

Composition	% molaire
N ₂	1,3
CO ₂	0,85
CH ₄	75,28
C ₂ H ₆	12,58
C ₃ H ₈	5,43
iC ₄ H ₁₀	0,47
nC ₄ H ₁₀	1,23
iC ₅ H ₁₂	0,46
nC ₅ H ₁₂	0,34
nC ₆ H ₁₄	2,06
TOTAL	100

C) Données sur l'adsorbant :

* Tamis moléculaire : "JK8-2031 3,2-1,6 UOP 4A°".

* Masse volumique du tamis tasse : 730,4 kg/m³.

* Diamètre moyen des particules : 1/8"=3,1 mm.

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 sortie déshydrateur).

-Température de régénération : 290°C

-Débit de gaz de régénération : 15000 kg/h.

Dans ce qui suit nous allons présenter les résultats obtenus au cours du dimensionnement des déshydrateurs.

IV.5.1 Vérification du design :

Période d'hiver :

IV.5.1.1 Calcul du facteur de compressibilité Z :*Tableau IV.5 : Propriétés critiques du gaz [19]*

Composition	Yi(mol)	T _{ci} (k)	Y _i *T _{ci}	P _{ci} (psi)	Y _i *P _{ci}
N ₂	0,0246	126,2	3,1045	492,45	12,1143
CO ₂	0,0105	304,2	3,1941	1073,45	11,2731
CH ₄	0,7652	191,1	146,2297	673,26	515,1786
C ₂ H ₆	0,1069	305,5	32,6580	708,54	75,7429
C ₃ H ₈	0,061	370	22,5700	617,4	37,6614
IC ₄ H ₁₀	0,0062	408,1	2,5302	529,2	3,2810
Nc ₄ h ₁₀	0,0163	425,2	6,9308	551,25	8,9854
IC ₅ H ₁₂	0,0028	461	1,2908	483,63	1,3542
nC ₅ H ₁₄	0,0035	469,8	1,6443	489,51	1,7133
nC ₆ H ₁₄	0,002	507,9	1,0158	439,53	0,8791
nC ₇ H ₁₆	0,001	540,2	0,5402	396,9	0,3969
Total	1		221,7084		668,5801

Calcul des températures, pressions critiques et réduites mélange :

D'après le tableau nous avons :

$$T_{cm} = 221,71K$$

$$P_{cm} = 668,58 \text{ psi}$$

Donc :

En utilisant les équations II.3 et II.4 respectivement :

Avec T= 323,15 K, et P=1160,24 psi nous obtenons :

$$T_{rm}=1,46$$

$$P_{rm}= 1,74$$

En utilisant l'abaque universel de l'annexe D.

$$A (T_{rm} = 1,46 \text{ et } P_{rm} = 1,74) \text{ nous trouvons } \mathbf{Z=0,83}$$

IV.5.1.2 Calcul de densité relative du gaz

En se basant sur l'équation IV.5: Et avec:

$$MW = 21,37 \text{ g/mol} \text{ Nous trouvons } d_g = 0,7$$

IV.5.1.3 Calcul de la masse volumique du gaz

En appliquons l'équation IV.6, et avec les valeurs suivantes :

$$Z = 0,83$$

$$P = 1160,24 \text{ psi}$$

$$MW = 21,37 \text{ g/mole}$$

$$T = 581,67 \text{ }^\circ\text{R}$$

Nous obtenons : $\rho_g = 4.79 \text{ lb/ft}^3 (76.72 \text{ Kg/m}^3).$

IV.5.1.4 Calcul de la vitesse superficielle du gaz :

En utilisant l'équation IV.5 donnant la vitesse superficielle notée V_g :

Donc d'après l'équation IV.6, on calcul la vitesse massique pour chaque couche de tamis :

Pour tamis 1/8" : $G = 5586,27 \text{ lb gaz/h.ft}^2.$

Pour tamis 1/16": $G = 3950,09 \text{ lb gaz/h.ft}^2.$

On prend la vitesse massique de la couche de 1/16" :

$$G = 3950,09 \text{ lb gaz/h.ft}^2 = 19261,40 \text{ kg/h.m}^2$$

Afin d'éviter tous les phénomènes d'écrasement et de cassure des particules du tamis, il est nécessaire que la vitesse d'écoulement ne dépasse pas la valeur limite de vitesse calculée.

$$V_g = 14,45 \text{ ft/min} = 4,6 \text{ m/min.}$$

IV.5.1.5 Débit volumique de gaz à la condition opératoire

En appliquant l'équation IV.8 vue dans le chapitre précédent :

$$\text{Et avec : } Q = 4877400 \text{ Sm}^3/\text{J}$$

$$T_s = 288 \text{ K}$$

$$P_s = 101,3 \text{ KPa}$$

$$\text{On aura : } q_a = 39,92 \text{ m}^3/\text{min} = 1409,9 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

IV.5.1.6 Diamètre du lit :

En utilisant l'équation IV.9 donnant le diamètre du lit notée **D** :

$$\text{Avec : } V_g = 4,6 \text{ m/min}$$

$$q_a = 39,92 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{On aura : } \boxed{D = 2,8 \text{ m} = 9,18 \text{ ft}}$$

IV.5.1.7 Quantité d'eau adsorbée pendant la durée de cycle de 4 heures :

En se basant l'équation IV.10 donnant la quantité d'eau présente dans la charge :

Avec : $YW = 105 \text{ lbH}_2\text{O/MMScF}$ (voir annexe E) .

$$Q = 170,15 \text{ MMScF/j}$$

$$\text{On aura : } \text{lbH}_2\text{O/cycle} = 2977,4 \text{ lb H}_2\text{O/cycle}$$

$$= 1350,56 \text{ kg H}_2\text{O/cycle}$$

$$= 337,65 \text{ kg H}_2\text{O/h}$$

IV.5.1.8 Hauteur de la zone de transfert de masse :

En utilisant l'équation IV.11 qui donne la hauteur de la ZMT notée **hz** :

$$\text{Avec : } Q = 170,15 \text{ MMScF/j}$$

$$YW = 105 \text{ lbH}_2\text{O/MMScF} ; \quad D = 10.82 \text{ ft.}$$

$$P = 1160,24 \text{ psia} ; \quad T = 581,67 \text{ }^\circ\text{R} ; \quad Z = 0,83.$$

$$\text{Nous trouvons : } \boxed{hz = 86,61 \text{ inch} = 2,2 \text{ m}}$$

IV.5.1.9 Hauteur de lit :

En appliquons l'équation IV.12 donnant la hauteur du lit de tamis :

$$\text{Et avec : } m_w = 1350,56 \text{ kg H}_2\text{O/cycle}$$

$$\rho_B = 730,4 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 2,8 \text{ m}$$

$$\text{Nous trouvons : } h_B = 2,7 \text{ m.}$$

IV.5.1.10 Masse du tamis :

En se basant sur l'équation IV.13 donnant la masse du tamis notée **m** :

Et avec : $h_B = 2,7m$

$$\rho_B = 730,4 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 2,8 \text{ m.}$$

On trouve : **m = 12136,96 Kg.**

IV.5.1.11 Calcule de l'épaisseur du déshydrateur :

Initialisant l'équation IV.14 qui donne l'épaisseur du déshydrateur (**e**) :

Et avec : $P = 1160,24 \text{ psi}$

$$D = 110,23 \text{ inch}$$

En aura : $e = 3,5 \text{ inch} = 86 \text{ mm.}$

Le Design prévoit une surépaisseur de corrosion de 3,2 mm donc **e = 89,2mm**

IV.5.1.12 Calcul de la perte de charge :**IV.5.1.12.a Calcul de la perte de charge dans les grains 1/8" :**

D'après l'équation IV.15 donnant la perte de charge dans les grains du tamis:

Et avec : $d_{p0} = 0,0122 \text{ ft.}$

Calculons d'abord la vitesse massique notée $G_{1/8"}$ de la charge (gaz associé) dans les grains 1/8" qui est donnée par l'équation d'IEBOUX (équation IV.16) :

Avec : $\rho_g = 4.79 \text{ lb/ft}^3.$

$$\rho_B = 45,49 \text{ lb/ft}^3.$$

$$D_P = 0,0104 \text{ ft.}$$

Nous trouvons : **$G_{1/8"} = 5583,59 \text{ lb/ft}^2.\text{hr}$**

Avec : **$G_{1/8"} = 5586,27 \text{ lb/ft}^2.\text{hr}$**

$$d_{p0} = 0,0122 \text{ ft}$$

$$\mu = 0,033 \text{ lb/ft.hr}$$

le nombre de Reynolds notée Re est donné par:

$$Re = (d_{po} G) / \mu \quad \text{Donc } Re = 2040,5$$

Calculons maintenant la perte de charge dans les grains 1/8", et cela en se servant de l'équation IV.15:

$$\text{Et avec : } G_{1/8"} = 5586,27 \text{ lb/ft}^2.\text{hr}$$

$$Re = 2040,5.$$

$$\varepsilon = 0,37.$$

$$d_{po} = 0,0122 \text{ ft}$$

$$\rho_g = 4.79 \text{ Lb/ft}^3$$

Donc calcul fait, on trouve :

$$\frac{dp}{dz} = 28,61 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur du lit de (7,64 ft) : $\Delta_p = 218,56 \text{ PsF} = 0,1046 \text{ bar}$

IV.5.1.12.b Calcul de la perte de charge dans les grains 1/16"

De la même manière que dans les grains 1/8", on calcul la perte de charge dans les grains de tamis 1/16":

Avec :

$$G_{1/16"} = 3941,96 \text{ lb /ft}^2.\text{hr}$$

$$d_{po} = 0.0052 \text{ ft}$$

$$Re = 720,28$$

Donc nous obtenons :

Pour une longueur du lit de (3,12ft), $\Delta P = 93,18 \text{ PsF} = 0,0445 \text{ bar}$

IV.5.1.12.c Calcul de la perte de charge dans les billes en céramique de 1/2" (partie haute du sécheur) :

En suivant les mêmes étapes de calcul de la perte de charge dans les grains de tamis, nous calculons la perte de charge dans les billes en céramique, sauf que dans les billes en céramique le diamètre effectif d_{po} est donné par l'équation IV.17

Avec : $\varepsilon = 0,63$

$$\partial_p = 111 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$$

Nous trouvons : $dp_o = 0,020 \text{ ft}$

En prenant: $G = 5586,27 \text{ lb}/\text{ft}^2.\text{hr}$

Nous obtenons : $Re = 3345$

Et donc la perte de charge sera égale a:

$$\frac{dp}{dz} = 2,04 \text{ PsF/ft}$$

la longueur du lit des billes céramique de 1/2" est de 150 mm (0,49ft) donc :

$$\Delta P = 1,005 \text{ PsF} = 0,000481 \text{ bar}$$

IV.5.1.12.d Calcul de la perte de charge dans les billes en céramique 1/4" :

De la même façon nous obtenons :

Avec : $\varepsilon = 0,73$ et $\partial_p = 80 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$

$$dp_o = 0,02025 \text{ ft}$$

$$G = 3941,96 \text{ lb}/\text{ft}^2.\text{hr}$$

$$Re = 23991,1$$

Donc calcul fait on trouve :

$$\frac{dp}{dz} = 0,5 \text{ PsF/ft}$$

La longueur des billes de céramique de 1/4" est de 75mm (0,25ft)

$$\Delta P = 0,116 \text{ PsF} = 0,000056 \text{ bar}$$

IV.5.1.12.e Calcul de la perte de charge dans les billes en céramique 1/2" (partie basse du sécheur) :

De la même manière que dans les billes 1/2" de la partie haute du sécheur on obtient : $dp_o = 0,02 \text{ ft}$

$$G = 3950,09 \text{ lb}/\text{ft}^2.\text{hr}$$

$$Re = 2361,6$$

Donc calcul fait, on trouve :

$$\frac{dp}{dz} = 1,02 \text{ PsF/ft}$$

La longueur du lit des billes de céramique de 1/2" est de 150mm (0,49ft) donc :

$$\Delta P = 0,50 \text{ PsF/ft} = 0,000241 \text{ bar}$$

IV.5.1.12.f Calcul des pertes de charge dues aux effets d'expansion et de contraction :

A) Perte de charge due à l'expansion:

D'après l'équation IV.18 cité dans le chapitre précédant, on calcul la perte de charge due a l'expansion :

Avec : $D_1 = 0,918 \text{ ft.}$

$D_2 = 9,84 \text{ ft}$

$Q = 170,15 \text{ MMScF/j}$

La vitesse moyenne du gaz dans A_1 notée U est donner par l'équation IV.19, donc U sera égale a : $U = 34,876 \text{ ft/sec.}$

D'où la perte de charge due à l'expansion est égale a :

$$\Delta P = 88,79 \text{ PsF} = 0,0425 \text{ bar}$$

B) Perte de charge due a la contraction :

La perte de charge due a la contraction est donner par l'équation IV.20, donc tout calcul fait on trouve :

$$\Delta P = 39,96 \text{ PsF} = 0,0191 \text{ bar}$$

IV.5.1.12.g Perte de charge total à travers le déshydrateur :

La perte de charge totale a travers le déshydrateur D 301 est la sommes de toutes les pertes de charge calculer précédemment, donc :

$$\Delta P = \Delta P(\text{tamis}) + \Delta P(\text{bille } 1/4'') + \Delta P(\text{bille } 1/2'') + \Delta P(\text{bille } 1/2'') + \Delta P(\text{expansion}) + \Delta P(\text{contraction})$$

$$\Delta P = 0,2117 \text{ bar.}$$

La perte de charge est dans le domaine permissible car la perte de charge donnée par le design est inferieur à 0,5 bar.

IV.5.1.13 calcul du débit de gaz de régénération :

IV.5.1.13.a Phase chauffage :**A. Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer le lit du tamis moléculaire :**

La quantité de chaleur nécessaire pour chauffer le lit du tamis moléculaire notée Q_1 est donné par l'équation IV.20 cité dans le chapitre précédent:

Avec : $M_T = 26757,38 \text{ lb}$

$C_{pT} = 0,2 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$

$T_F = 554^\circ\text{F}$, $T_I = 122^\circ\text{F}$

On aura : $Q_1 = 2311837,63 \text{ Btu } (5,82 \cdot 10^5 \text{ Kcal}).$

B. Quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique :

De même on calcul la quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique notée Q_2 , et cela en se basant sur l'équation IV.21 du chapitre précédent, donc :

Avec :

Masse de céramique 1/2" : $M_{C1/2} = 7098,876 \text{ lb}$

Masse de céramique 1/4" : $M_{C1/4} = 1635,828 \text{ lb}$

Masse total de la céramique : $M_C = 8734,704 \text{ lb}$

$C_{pC} = 0,25 \text{ Btu /lb}^\circ\text{F}$

On aura : $Q_2 = 943348,032 \text{ Btu } (2,38 \cdot 10^5 \text{ kcal})$

C. Quantité de chaleur pour le chauffage du déshydrateur vide :

En utilisant l'équation IV.23 cité précédâmes, on calcul la quantité de chaleur nécessaire pour le chauffage du déshydrateur:

Avec :

$M_{dv} = 51000 \text{ kg} = 112435,62 \text{ Lb}$

$C_{p_{dv}} = 0,12 \text{ Btu / Lb}^\circ\text{F}$

On aura : $Q_3 = 5828662,541 \text{ Btu } (1,47 \cdot 10^6 \text{ kcal})$

D. Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et désorber l'eau :

La quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et désorber l'eau notée **Q4** est donnée par l'équation IV.24:

$$\text{Avec : } M_e = 2977,54 \text{ lb}$$

$$C_{pe} = 1 \text{ Btu/lbF}^\circ$$

$$\Delta H_e = 1800 \text{ Btu/lbF}^\circ$$

Donc calcul fait on trouve : **Q4= 6645879 ,30 Btu (1,67.10⁶kcal)**

E. Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et désorber les hydrocarbures :

Pour désorber les hydrocarbures, il nous faut une quantité de chaleur Q5, qui est donnée par l'équation IV.25:

$$\text{avec : } M_h = 0,1 M_e \text{ et } M_e = 2977,54 \text{ lb}$$

$$C_{ph} = 0,91 \text{ Btu/ lbF}^\circ$$

$$H_h = 342 \text{ Btu/ lbF}^\circ$$

Donc calcul fait on aura : **Q5= 218885,2506 Btu (5,52.10⁴ kcal)**

F. Quantité de chaleur total à fournir pour le chauffage :

La quantité de chaleur total nécessaire pour le chauffage notée Qch est la somme des quantités de chaleur calculées précédentes, et elle est donnée par l'équation IV.26 :

$$\text{Avec : } Q_1 = 2311837,63 \text{ Btu}$$

$$Q_2 = 943348,032 \text{ Btu}$$

$$Q_3 = 5828662,541 \text{ Btu}$$

$$Q_4 = 6645879 ,30 \text{ Btu}$$

$$Q_5 = 218885,2506 \text{ Btu}$$

Donc tout calcul fait on trouve :

$$\text{Qch= 175434737 Btu (4,43.10}^6\text{kcal)}$$

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

Pour calculer le débit de gaz de régénération en phase de chauffage nous devons tout d'abord calculer la température moyenne du lit notée Tmoy et cela à l'aide des équations IV.27, IV.28, IV.29 du chapitre précédent :

Avec : $T_1 = 122 \text{ F}^\circ$

$$T_2 = 248 \text{ F}^\circ$$

$$T_3 = 428 \text{ F}^\circ \quad T_H = 500 \text{ F}^\circ$$

Donc calcul fait on aura : $T_{\text{moy}} = 341 \text{ F}^\circ (171,7\text{C}^\circ)$.

Calculons maintenant le débit de gaz de régénération notée M_{GR} , en utilisant l'équation IV.30 :

Et avec : $Q_{ch} = 17543473,7 \text{ Btu}$

$$T_F = 554 \text{ F}^\circ$$

$$T_{\text{moy}} = 341 \text{ F}^\circ$$

$$CP_{GR} = 0,72 \text{ Btu/lb F}^\circ$$

On aura :

$$\mathbf{M_{GR} = 30505,08 \text{ lb/h (14285, 21 kg/h)}}$$

IV.5.1.13.b Phase de refroidissement :

Pour calculer le débit de gaz de régénération en phase de refroidissement, en utilise l'équation IV.32 :

Et avec : $Q_{rt} = 2828615,6 \text{ Btu}$

$$Q_{rb} = 943348,03 \text{ Btu}$$

$$Q_{rd} = 5828662,5 \text{ Btu}$$

Donc en utilisant l'équation IV.31, $Q_{ref} = 9600626,218 \text{ Btu (2,48 } 10^6 \text{ kcal)}$

D'après figure 3 dans la partie annexes on a : $T_4 = 500 \text{ F}^\circ$ et $T_5 = 122 \text{ F}^\circ$

Donc a partir de l'équation IV.33, T_D est égale a : 331 F°

$$T_H = 554 \text{ F}^\circ$$

$$CP_{GR} = 0,56 \text{ Btu/lb F}^\circ$$

Le temps de refroidissement est de 3,75 heures

Donc le calcul fait on trouve :

$$\mathbf{M_{GR} = 18813,69 \text{ lb/h (8533,74 kg/h)}}$$

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

$$\mathbf{Q_T = Q_{ch} + Q_{ref}.}$$

$$Q_T = 17543473,7 + 9600626,218$$

$$Q_T = 27144099,92 \text{ Btu } (6,84 \cdot 10^6 \text{ kcal})$$

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

Tableau IV.6 : Résultats de calcul obtenus (cas hiver)

Paramètres	Résultats
Facture de compressibilité	0,83
Masse molaire, (g/mole)	21,37
Densité relative du gaz	0,7
Masse volumique du mélange, (kg/m ³)	76,72
Vitesse superficielle admise, (m/min)	4,6
Diamètre, (m)	2,8
Epaisseur, (mm)	89,2
Hauteur de la zone de transfert, (m)	2,2
Hauteur total du lit. (m)	2,7
Quantité d'eau adsorbée par cycle par (kg/lit)	1350,56
Quantité d'eau adsorbée (Kg/h)	337,64
Pertes de charge total, (bar/sécheur)	0,21
Débit de gaz de régénération, (kg)	14285,21
Masse total du lit, (kg)	12136,96
Teneur en eau, (lbH ₂ O/ MMScf de gaz)	105

Période d'été :

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

Tableau IV.7: Résultats du design (cas été) :

Paramètres	Résultats
Facteur de compressibilité	0,8
Masse molaire (g/mole)	23,014
Densité relative du gaz	0,79
Masse volumique du mélange (kg/m^3)	84,09
Vitesse superficielle admise (m/min)	4
Diamètre (m)	2,85
Epaisseur (mm)	93,2
Hauteur de la zone de transfert (m)	2,4
Hauteur total du lit (m)	3
Quantité cycle d'eau adsorbée (kg/lit)	1479,25
Quantité d'eau absorbée (kg/h)	369,81
Perte de charge totale (bar/sécheur)	0,22
Débit de gaz de régénération (kg/h)	14641
Masse total du lit (kg)	13971,44
Teneur en eau ($\text{lbH}_2\text{O/MMScf}$ de gaz)	115

IV.5.2 Comparaison des résultats avec ceux du design :

Le tableau IV.8 représente une comparaison entre les résultats calculés du design et ceux présenté réellement :

Tableau IV.8: Comparaison des résultats du design

Paramètres	Design		Calcul	
			P. Hiver	P. été
Diamètre (m)	3		2,8	2,85
Epaisseur (mm)	98,5		89,2	93,2
Quantité d'eau absorbée (kgH ₂ O/h)	P. Hiver	P. été	337,64	369,81
	338	430		
Hauteur du lit	3,280		2,7	3
Débit de gaz de régénération (kg/h)	15000		14285	14641
Perte de charge (bar)	0,5 max		0,21	0,22
Masse du lit (kg tamis/déshydrateur)	14800		12136,96	13971,44

D'après les résultats regroupés dans le tableau IV.8, nous constatons qu'il n'y a pas une grande différence entre les valeurs du design et les valeurs calculées, ceci nous permet de dire que la méthode de dimensionnement est vérifiée.

- Les déshydrateurs D301 A/B/C assurent leurs rôles dans les conditions du design sans qu'il y ait de risque.

IV.5.3 Optimisation du temps de cycle :

IV.5.3.1 Détermination du temps de rupture :

Calculons d'abord la quantité d'eau absorbée par la surface du lit par heure et cela en appliquant l'équation IV.27 :

Avec : $Q = 758,4 \text{ lb/hr}$

$D = 8,68 \text{ ft}$

Nous obtenons : $q = 12,82 \text{ lbH}_2\text{O/hr.ft}^2$

En utilisant l'équation IV.34 donnant le temps de rupture notée t_B :

Et avec : $\rho_B = 45,6 \text{ lb/ft}^3$

$h_B = 10,31 \text{ ft.}$

$h_z = 7,48 \text{ ft.}$

$$X_s = 22 \text{ lbH}_2\text{O}/100\text{lb tamis (fiche technique)}$$

$$q = 12,82 \text{ lbH}_2\text{O}/\text{hr.ft}^2$$

Le temps de rupture sera égal : $t_B = 5.1 \text{ h}$

D'après le résultat obtenu, nous prévoyons un temps de cycle d'adsorption de 5 h. ce temps nous permettra de réaliser une opération sans risque, pas de problème de fuite et donc pas de sortie d'eau durant le cycle d'adsorption.

IV.5.3.2 Optimisation du tamis moléculaire dans la tour d'adsorption :

A- Partie calcul :

Le calcul a été fait de la même manière que précédemment ; les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.9 : Résultats de calcul (cas de 1/8") .

Paramètres	Résultats
Facteur de compressibilité	0,8
Masse molaire (g/mole)	23,014
Densité relative du gaz	0,793
Masse volumique du mélange (kg/m ³)	84,24
Vitesse superficielle admise (m/min)	6,83
Diamètre (m)	2,69
Epaisseur (mm)	88,798
Hauteur de la zone de transfert (m)	2,13
Hauteur total du lit (m)	2,98
Quantité cycle d'eau adsorbée (kg/lit)	1348,564
Quantité d'eau absorbée (kg/h)	337,14
Perte de charge totale (bar/sécheur)	0,215
Débit de gaz de régénération (kg/h)	13726
Masse total du lit (kg)	12364
Teneur en eau (lbH ₂ O/MMScf de gaz)	115

B-Comparaison des résultats :**Tableau IV.10 : Comparaison des résultats calcul et du design (1/8").**

Paramètres	design	Calcul
Facteur de compressibilité	0,8	0,8
Masse molaire (g/mole)	23,014	23,014
Densité relative du gaz	0,79	0,793
Masse volumique du mélange (kg/m ³)	84,09	84,24
Vitesse superficielle admise (m/min)	5,63	6,83
Diamètre (m)	2,92	2,69
Epaisseur (mm)	96,2	88,798
Hauteur de la zone de transfert (m)	2,3	2,13
Hauteur total du lit (m)	2,81	2,98
Quantité cycle d'eau adsorbée (kg/lit)	1479,25	1348,564
Quantité d'eau absorbée (kg/h)	369,81	337,14
Perte de charge totale (bar/sécheur)	0,192	0,215
Débit de gaz de régénération (kg)	14641	13726
Masse total du lit (kg)	13737	12364
Teneur en eau (lbH ₂ O/MMScf de gaz)	115	115

IV.5.4 Calcul du déshydrateur dans les conditions actuelles:

La composition du gaz brut à chargé depuis le démarrage de l'unité (1986); la quantité des hydrocarbures lourds a légèrement changé, la teneur en eau à l'entrée du sécheurs aussi, d'ou le nouveau dimensionnement .

IV.5.4.1 Résultats de calcul obtenus

Un calcul similaire à la précédente (vérification du design) a été effectué dans le cas actuel, les résultats de sont résumés dans le tableau IV.11 :

Tableau IV.11: Résultats de calcul (cas actuel)

Paramètres	Résultats
Facteur de compressibilité	0.81
Masse molaire (g/mole)	22.35
Densité relative du gaz	0.77
Masse volumique du mélange (kg/m ³)	81.83
Vitesse superficielle admise (m/min)	6.93
Diamètre (m)	2,12
Epaisseur (mm)	70.764
Hauteur de la zone de transfert (m)	1.34
Hauteur total du lit (m)	2.96
Quantité cycle d'eau adsorbée (kg/lit)	830.69
Quantité d'eau absorbée (kg/h)	207.76
Perte de charge totale (bar/sécheur)	0.247
Débit de gaz de régénération (kg/h)	12606.61
Masse total du lit (kg)	7627.70
Teneur en eau (lbH ₂ O/MMScf de gaz)	110

Comparaison entre les résultats obtenus (actuels) et ceux du design

Le tableau IV.12 représente une comparaison entre les résultats de dimensionnement obtenu dans le cas actuel et ceux du design.

Tableau IV.12: Comparaison des résultats actuels et du design(1/8").

Paramètres	Design	Actuel
Facteur de compressibilité	0.8	0.81
Masse volumique du mélange (kg/m ³)	84.24	81.83
Vitesse superficielle admise (m/min)	6.83	6.93
Diamètre (m)	2.69	2.12
Epaisseur (mm)	88.798	70.764
Hauteur de la zone de transfert (m)	2.13	1.34
Hauteur total du lit (m)	2.98	2.96
Quantité cycle d'eau adsorbée (kg/lit)	1348.564	830.69
Quantité d'eau adsorbée (kg/h)	337.14	207.76
Perte de charge totale (bar/sécheur)	0.215	0.247
Débit de gaz de régénération (kg/h)	13726	12606.61
Masse total du lit (kg)	12364	7627.70

IV.5 Conclusion :

D'après le tableau présenté précédemment on remarque que le remplacement du tamis 1/16" avec le tamis 1/8" a donné des résultats positif et très satisfaisante ce qui nous encourage à le réaliser sur le terrain.

Conclusion générale:

L'étude de la section de déshydratation de l'unité de traitement de gaz associé a abouti aux conclusions suivantes :

la teneur en eau dans le gaz est un facteur clé pour déterminer et optimiser une unité de déshydratation.

la diminution de la température d'alimentation du sécheur permet de réduire la teneur en eau dans le gaz brut, qui peut être exploitée en augmentant le temps d'adsorption.

l'augmentation de temps d'adsorption permet de réduire le nombre de cycles /an et donc, augmenter la durée de vie de tamis moléculaires.

Nous pouvons constater que les causes qui engendrent le problème de la teneur en eau en amont des déshydrateurs sont dues à la nature des gaz associés ,après le dernier changement de tamis (janvier 2013), le problème est résolu, mais il reste la question de la durée de vie de la nouvelle charge de l'adsorbant.

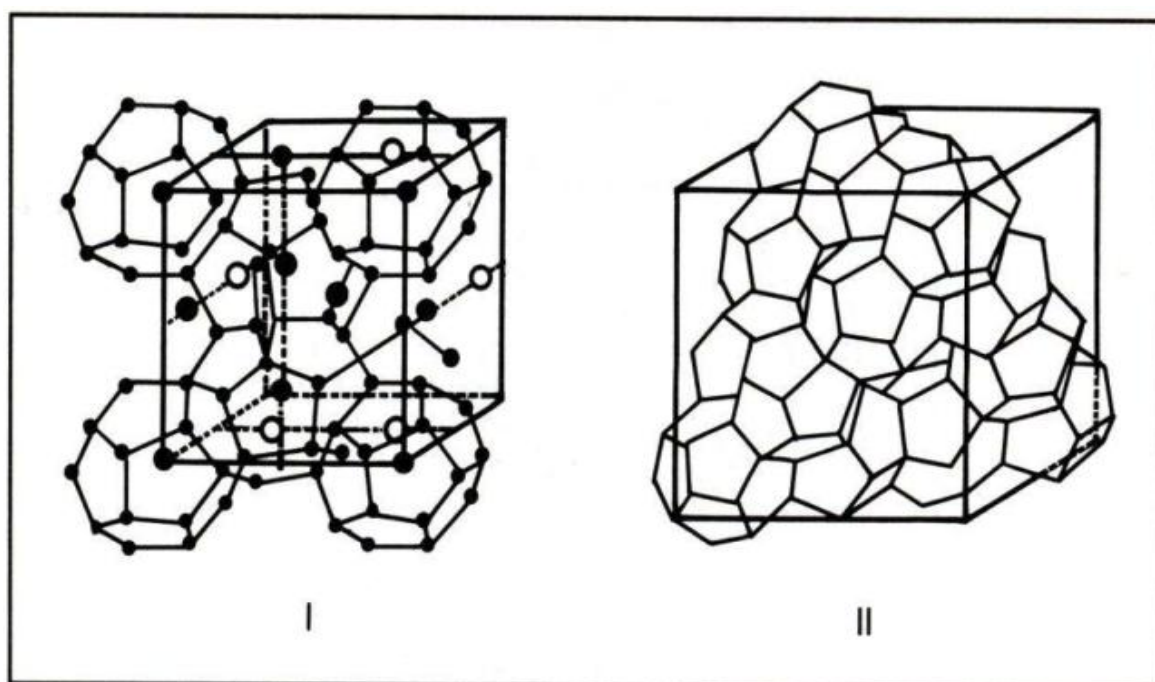
D'après cette étude, pour une meilleure exploitation de tamis moléculaire, il est nécessaire de travailler à une durée de cycle plus longue (cas optimum) afin d'augmenter la durée d'utilisation des tamis, changer la charge de tamis 1/16" par 1/8", remettre en service l'hygromètre en ligne afin de suivre en permanence la teneur en eau dans le gaz déshydraté ,respecter les normes lors de remplissage des tours de séchage, et enfin il est recommandé de surveiller périodiquement l'état du tamis par l'utilisation des tests de perçage à travers les déshydrateurs pour avoir une idée sur l'état du tamis.

Références bibliographiques :

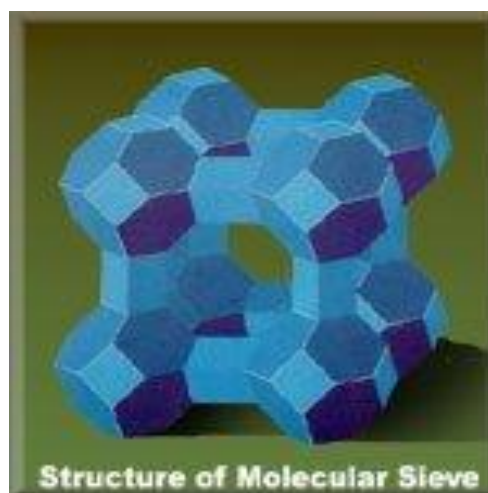
- [01]: Manuel opératoire de l'unité U.T.G.A.p20.D-10-1225-116-B.
- [02]: R.E Cannon, *Gas Processing Industry, Origins and Evolution*, Gas Processors Association, Tulsa (1993). Fundamentals of Natural Gas Processing p.8.
- [03]: A. Rojey, *Le Gas Naturel, Production, Traitement et Transport*, Editions Technip, Paris, France (1994). p.70-80.
- [04]: J.F.Gravier .propriétés des fluides de gisement.1986. Edition Technip.paris p18.
- [05]: BP Statistical Review of World Energy (June 2010). p. 20-27,
- [06]: site web: www.algerie-dz.com 15/12/2004
- [07]: E. Dendy Sloan, C. A. Koh, *Clathrate hydrates of Natural Gases*, Third Edition, Taylor and Francis Group (2008).p.644-669.
- [08] : Exploration et Production Le Process TOTAL .p.7.
- [09]: S. Mokhatab, R. J. Wilkens, K. J. Leontaritis, *A Review Strategies for Solving Gas Hydrate Problems in Subsea Pipelines*, Energy Sources, Part A, Vol. 39, p. 39-45, 2007
- [10]: M. H. Yousif, *Effect of Under-Inhibition with Methanol and Ethylene Glycol on the Hydrate Control Process*, Offshore Tech. Conference, p. 741-748, 1996.
- [11]: F. E. Anderson, and J. M. Prausnitz, *Inhibition of Gas Hydrate by Methanol*, J. AIChE, Vol. 32, N° 8, p. 1321-1333, 1986
- [12]: W. P. Mainning, H. S. Wood, *Guidelines for glycol dehydrator design: partie 1, Hydrocarbon processing*, Vol. 72, N° 1, p. 106-114, January, 1993a.
- [13]: W. P. Mainning, H. S. Wood, *Guidelines for glycol dehydrator design: partie 2, Hydrocarbon processing*, Vol. 72, N° 2, p. 87-92, February, 1993a
- [14]: Y.J.M. Montgomery, Consulting engineers, INS: Water traitement principales and designs,Ed. J. Wiley & Sons, New York. (1985).p.204-541
- [15]: W.J. Jr. Weber, P.M. Mc Ginley, L.E. Katz, Water Res. 25 (1991),p499-528
- [16]: Emilion Koller.Aide mémoire génie chimique.2004.p.363-375.
- [17]: BOUAZZABIA. M, les adsorbants dans l'industrie pétrolière et gazière. IAP : 2004. p-12-15.
- [18]: COMBELL,M.Gaz conditioning and processing ,VOL 2,The equipment modules.p.373-408.
- [19]: AMBROSE, D.Critical properties .Hand book of chrmistry and physics.76th édition.CRC Press, .p.08-18.1996.
-



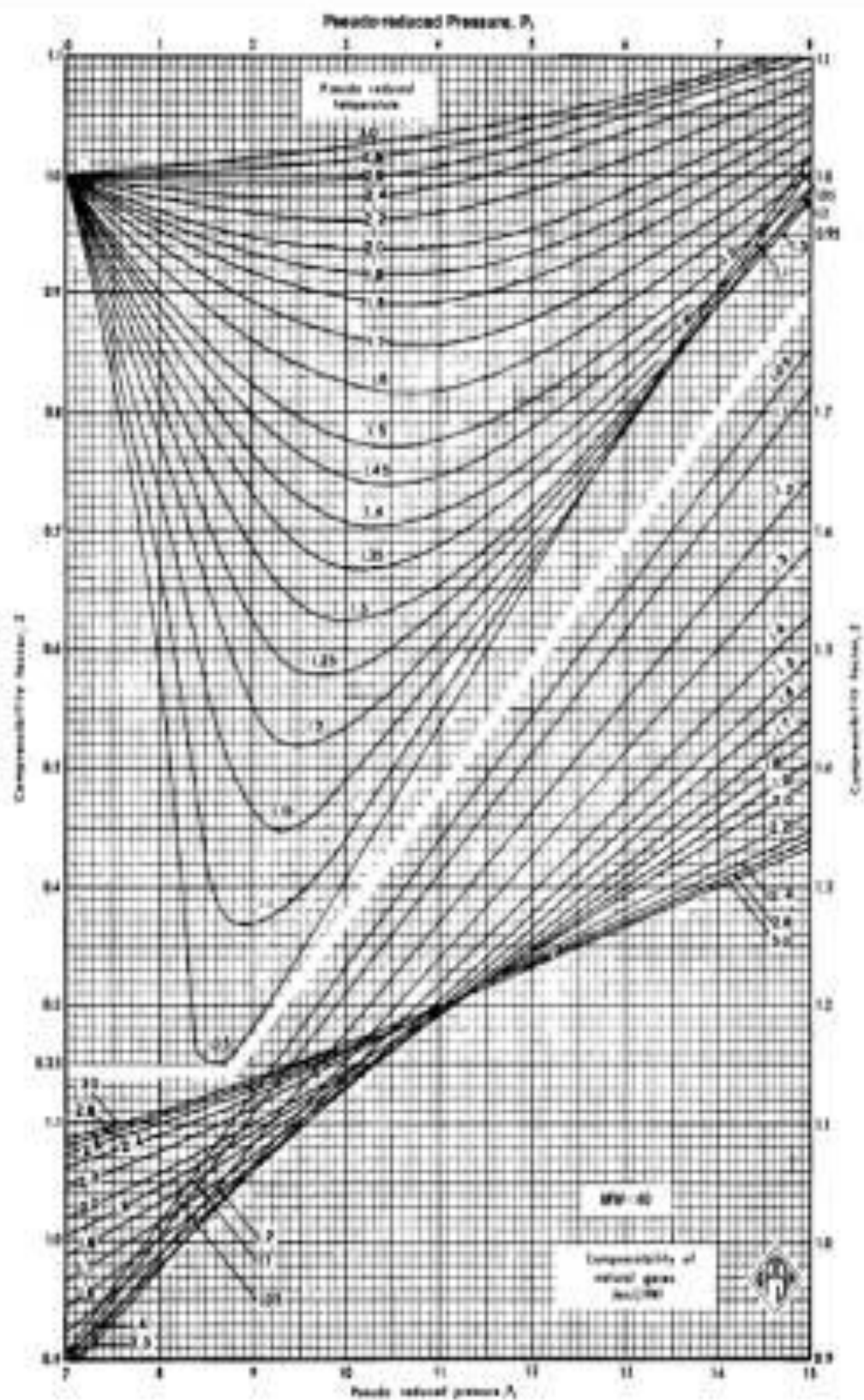
Annexe A[08].



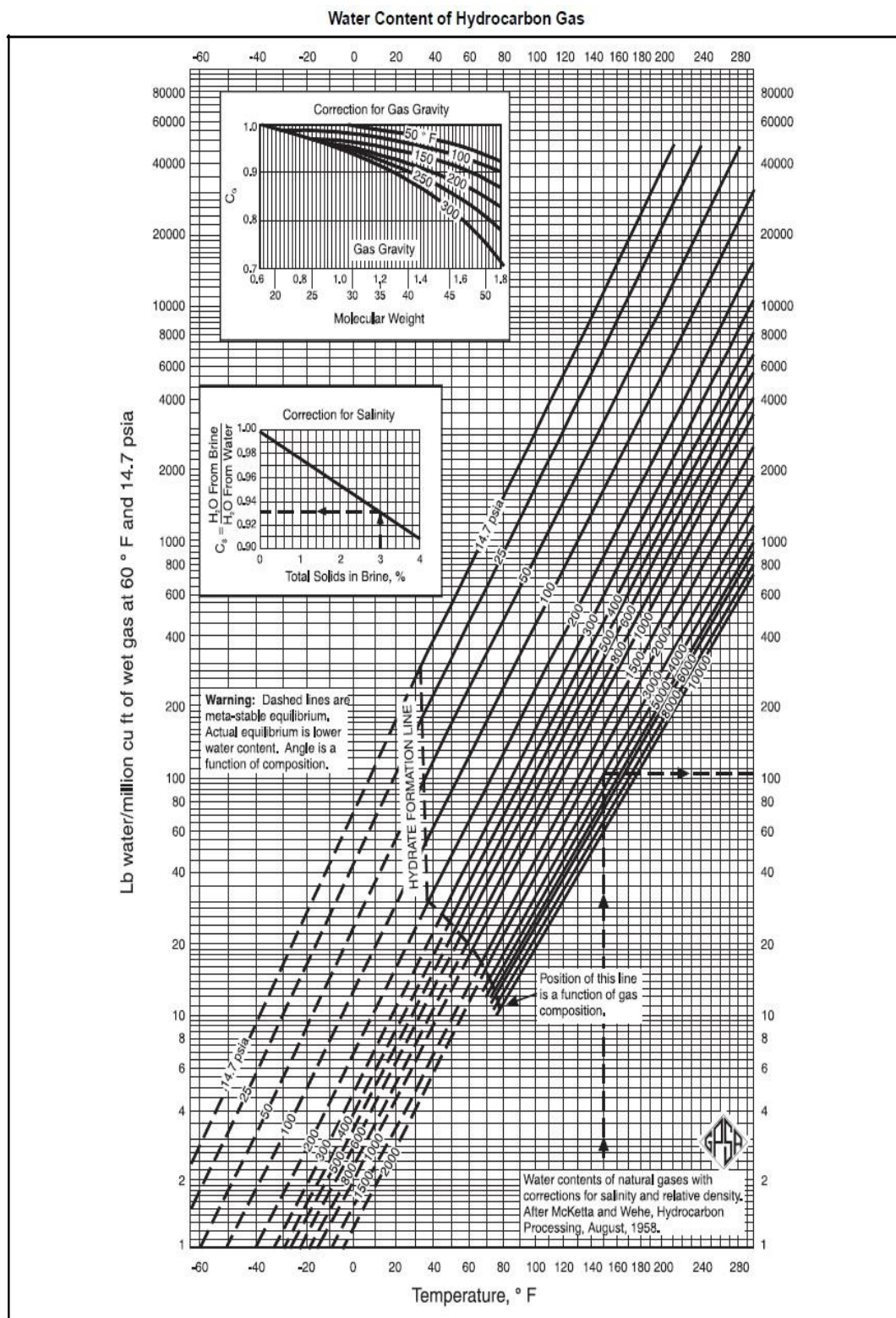
Annexe B[07].

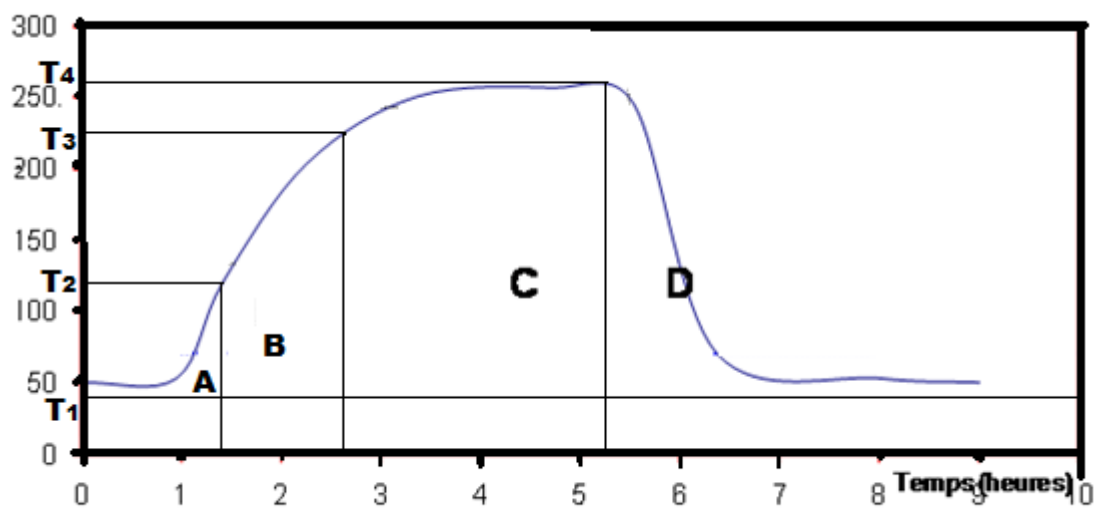


Annexe C[17].



Annexe D [19].





Annexe F [18]

Properties of Solid Desiccants

Desiccant	Bulk Density (lb/ft ³)	Specific Heat (Btu/lb/°F)	Normal Sizes Used	Design Adsorptive Capacity (WT%)	Regeneration Temperature (°F)
Activated Alumina	51	0.24	¼ in.–8 mesh	7	350–600
Mobil SOR Beads	49	0.25	4–8 mesh	6	300–500
Fluorite	50	0.24	4–8 mesh	4–5	350+
Alumina Gel (H-151)	52	0.24	⅛–¼ inch	7	350–850
Silica Gel	45	0.22	4–8 mesh	7	350
Molecular Sieves (4A)	45	0.25	⅛ inch	14	450–550

Source: API.

Annexe J [18]

Tableau de conversion

Unités françaises	Unités anglaise
1 kg/m ³	0,006243 lb/ft ³
1 bar	14,5 psi
1 bar	2088,54 PsF
1 kg/cm ²	14,22 psi
1 kcal	3,968 Btu
1 kJ/kg.°C	4,187 Btu/lb.°F
1 centpoise	2,419 lb/hr. °F
1 MMSCF/d	1116,28 Nm ³ /h
1 kg Mole= 23,96 Sm ³	2,2045 lb. Mole
0,4536kg.mole	1 lb. Mole = 379 ft ³
1 °C	(9/5°C + 32)°F
1 kg/m ³	0,0634 lb/ft ³
1m/min	3,280 ft/min
1 mm	0,03936 inch
1 m ³ /min	35,31467 ft ³ /min
1 ppm	0,0475 lb/MMSCF

Annexe H

Résumé :

L'unité de déshydratation du gaz associé de TFT (Tin Fouyé Tabenkort) rencontre des problèmes de changement excessif de la charge de tamis moléculaire ; à travers cette étude nous avons vérifiés le design ainsi que le cas actuel dans le but de proposer des solutions dans ce sens. Cette étude nous a permis de connaître tous les paramètres influençant sur l'opération de déshydratation du gaz associé.

A travers ces connaissances nous avons proposé des solutions idéales permettant de résoudre ce problème.

Mots clé : déshydrateur, tamis moléculaire, hydrate de gaz, gaz associe.

ملخص:

تواجه وحدة التجفيف الغاز المرتبط ل: ت:ف:ت (تين فوي تبنكورت) مشاكل نظرا للتغيير المكثف لشحنة الغربال الجزيئي من خلال هذه الدراسة قمنا بالتحقق من التصميم وكذا من الوضعية الحالية من اجل إيجاد حلول في هذا الاتجاه ، هذه الدراسة مكنتنا من معرفة كل العوامل المؤثرة في عملية تجفيف الغاز المرتبط. وعبر هذه المعارف تمكنا من إيجاد الحلول المناسبة لهذه المشكلة.

الكلمات المفتاحية:جهاز مجفف الغاز، المنخل الجزيئي، هيدرات الغاز، الغاز الخارج مع البترول.