

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



**Université M'hamed Bougara Boumerdès**

**Mémoire**

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Département : Génie des procédés

Filière : Génie des procédés

Option : Génie Chimique

**THEME**

**Dimensionnement du déshydrateur D301 de la  
section de séchage de TFT**

**Présenté par :**

MEDDAHI Khaled

ABDELLI Khaled

**Dirigé par :**

Mr. ABOUDA

**Soutenu publiquement le 21/07/2019, devant le jury :**

Mr. H. BALOUL

MCB

UMBB

Président Mme.

A. ASSSELAH

MCA

UMBB

Examinatrice

Mr. L. NOURI

Professeur

UMBB

Promoteur

**Promotion 2018/2019**

## Résumé

L'unité de déshydratation du gaz associé de TFT (Tin Fouyé Tabankort) rencontre des problèmes de changement excessif de la charge de tamis moléculaire.

A 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 connaitre 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.

## Abstract

Tin Fouyé Tabankort (TFT) deshydration unit of gas associated having problems of excessive changing of the load molecular sieves. Through this study we verified the design as well as the current case in order to propose solutions in this direction. This study allowed us to know all the parameters influencing the deshydration operation of associated gas and through this knowledge, we could draw conclusions that can be in the future ideal solutions to this problem.

## ملخص

تواجه وحدة تجفيف الغاز المرتبط ل: ت.ف.ب.ت (تين فوي تبنكورت) مشاكل نظرا للتغير المفرط في شحنة الغربال الجزيئي. من خلال هذه الدراسة قمنا بالتحقق من التصميم وكذا الوضعيه الحالية من أجل ايجاد حلول في هذا الاتجاه. سمحت لنا هذه الدراسة بمعرفة جميع العوامل المؤثرة في عملية تجفيف الغاز المرتبط. ومن خلال هذه المعارف اقترحنا حلاً مثالية لحل هذه المشكلة.

# *Remerciment*

*Je tiens tout d'abord à remercier tous les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce mémoire.*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à monsieur le professeur : **L. NOURI** de m'avoir encadré dans mon stage de fin d'étude et pour la confiance qui m'a été accordée ainsi que pour l'appui et le soutien dont j'ai pu bénéficier tout au long de cette mémoire, merci pour vos remarques et idées souvent lumineuses et toujours pertinentes ont évidemment joué un grand rôle dans le résultat de cette thèse, ça a été un grand plaisir de travailler à vos coté pendant cette période.*

*J'adresse mes remerciements aux ingénieurs, **L. ABOUDA** et **A. DJERIDI** qui m'a beaucoup aidée dans ma recherche de stage et m'a permis de postuler dans cette entreprise, son écoute et ses conseils. Pour le temps passé ensemble et le partage de ses expertises au quotidien. Grace aussi à sa confiance j'ai pu m'accomplir totalement dans mes missions. Il fut d'une aide précieuse dans les moments les plus délicats.*

*En fin, je tiens évidemment à remercier toutes les personnes qui m'ont conseillé, mes amies et ma Famille qui ont eu à supporter pendant encore longtemps.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*A la mémoire de mon père*

*A ma très chère maman que dieu me le garde*

*A ma grand-mère*

*Ainsi qu'à mes frères :*

*Allal, Nabile, Karim, Mohamed, Moustapha*

*A mes sœurs :*

*Souad, Laila, Yusra.*

*A toute ma famille.*

*A tous mes amis, en particulier :*

*Souad, Karim, Abdellah, Djidji, Sid Ali, Houda, Rabah,*

*Safaa, Siham.*

*Et une spéciale dédicace pour Mounira.*

*A tous la promo génie chimique 2019.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près et de loin à la  
réalisation de ce travail*

*M. Khalef*

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*A mon père*

*A ma très chère maman que dieu me le garde*

*Ainsi qu'à mes frères :*

*Bilal, Alaa din, Hichem*

*A ma sœur :*

*Meriem*

*A toute ma famille.*

*A tous mes amis*

*A tous la promos génie chimique 2019.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près et de loin à la  
réalisation de ce travail*

*A. Khaled*

## Liste des tableaux

	Page
<b>Tableau I.1</b> : Caractéristique générale de charbon actif	<b>10</b>
<b>Tableau I. 2</b> : Caractéristiques générales du gel de silice	<b>11</b>
<b>Tableau I.3</b> : Caractéristique générale du l'Alumine activée	<b>11</b>
<b>Tableau I.4</b> : Composition chimique du tamis UOP UI94	<b>13</b>
<b>Tableau I.5</b> : Caractéristique générale des tamis moléculaire	<b>14</b>
<b>Tableau I.6</b> : Avantage et inconvénients des procédés d'adsorption	<b>18</b>
<b>Tableau II.1</b> : Date des découvertes des champs de Tin Fouyé Tabankort	<b>20</b>
<b>Tableau III.1</b> : capacité de station	<b>30</b>
<b>Tableau III.2</b> : composition de gaz	<b>30</b>
<b>Tableau III.3</b> : paramètre de gaz	<b>31</b>
<b>Tableau III.4</b> : Spécification des produits	<b>31</b>
<b>Tableau III.5</b> : Désignation de équipements	<b>31</b>
<b>Tableau V.1</b> : Composition de la charge cas d'été	<b>55</b>
<b>Tableau V.2</b> : Composition de la charge cas d'hiver	<b>55</b>
<b>Tableau V.3</b> : Composition de la charge dans le cas actuel	<b>56</b>
<b>Tableau V.4</b> : Propriétés critiques du gaz	<b>57</b>
<b>Tableau V.5</b> : Résultats de calcul obtenus pour les deux cas (été et hiver)	<b>67</b>
<b>Tableau V.6</b> : Comparaison des résultats du design	<b>68</b>
<b>Tableau V.7</b> : Résultats de calcul (cas actuelle)	<b>69</b>
<b>Tableau V.8</b> : Comparaison des résultats actuelle et du design	<b>70</b>

## *Liste des figures*

	<b>Page</b>
<b>Figure I.1</b> : hydrate de structure I	<b>3</b>
<b>Figure I.2</b> : hydrate de structure II	<b>4</b>
<b>Figure I.3</b> : hydrate de structure H	<b>5</b>
<b>Figure I.4</b> : Evolution de la zone de transfert de matière au cours du temps	<b>15</b>
<b>Figure I.5</b> : Evolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption	<b>16</b>
<b>Figure I.6</b> : représentation d'une courbe de perçage	<b>16</b>
<b>Figure II.1</b> : Situation géographique de la région TFT	<b>19</b>
<b>Figure II.2</b> : Périmètres de TFT	<b>22</b>
<b>Figure II.3</b> : Organigramme de la direction régionale TFT	<b>24</b>
<b>Figure II.4</b> : L'évacuation de l'huile	<b>27</b>
<b>Figure II.5</b> : Procédé d'activation par Gas-lift	<b>27</b>
<b>Figure III.1</b> : Collecte des gaz associés	<b>29</b>
<b>Figure III.2</b> : Point de collecte des différents centres de séparation	<b>32</b>
<b>Figure III.3</b> : Tours de déshydratation	<b>34</b>
<b>Figure III.4</b> : Echangeur gaz-gaz E403A/B	<b>35</b>
<b>Figure III.5</b> : Echangeur gaz-liquide	<b>35</b>
<b>Figure III.6</b> : Stripper C	<b>35</b>
<b>Figure III.7</b> : Réchauffeurs H301A/B	<b>35</b>
<b>Figure III.8</b> : Schéma simplifié de la section déshydratation du gaz	<b>37</b>
<b>Figure III.9</b> : Schéma simplifié de l'UTGA	<b>40</b>
<b>Figure III.10</b> : Schéma de déshydrateur gaz D301	<b>43</b>

## Nomenclature

**UOP** : Universel Oil Product

**°F** : degré Fahrenheit

**ft** : foot

**lb** : Pound ou livre.

**ppm** : partie par million

**Sm<sup>3</sup>** : Standard mètre cube

**Pcm** : pression critique du mélange.

**Pci** : Pression critique du constituant i.

**Trm** : Température réduite du mélange.

**T** : température de service (K).

**Mg** : Masse moléculaire du gaz.

**μ** : viscosité du gaz (cP).

**qa** : débit volumique de gaz dans les conditions opératoires.

**ps** : pression à la condition standard (KPa).

**Q** : débit de gaz (MMScF/D)

**Rh** : humidité relative (100%).

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

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

**dp0** : diamètre effectif des grains et des billes de céramique, (ft).

**ε** : fraction de vide externe.

**ρB** : masse volumique du tamis tassé.

**ρg** : Masse volumique du gaz.

**API** : densité d'huile en °API

**°R** : degré Rankine

**in** : inch

**MMscf** : Million standard cubique feet

**Psi** : Pound square inch

**Tcm** : température critique du mélange.

**Tci** : Température critique du constituant i.

**yi** : Fraction molaire du constituant i.

**Prm** : Température réduite du mélange.

**P** : pression de service (psi).

**dG** : Densité relative du gaz.

**ρg** : Masse volumique du gaz, (lb/ft<sup>3</sup>).

**Ts** : température à la condition standard (K).

**yw** : la teneur en eau.

**X** : Capacité d'adsorption.

**G** : vitesse massique de gaz.

**Dp** : diamètre du grain.

**gc** : facteur de conversion.

**Re** : est le nombre de Reynolds

**$\Delta P$**  : perte de charge due à l'expansion (PsF).

**gc** : Facture de conversion.

**MT** : masse du tamis moléculaire, (lb).

**CpT** : chaleur spécifique du tamis, (Btu / lb. °F).

**TF** : température final (de régénération), (°F).

**Ti** : température initiale (de régénération), (°F).

**Mc** : masse total de céramique, (lb).

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

**Cpc** : chaleur spécifique de la céramique.

**Mdv** : masse de déshydrateur vide, (lb).

**Cpdv** : chaleur spécifique du métal, (Btu / lb. °F).

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

**Cpe** : chaleur spécifique de l'eau .

**$\Delta H_e$**  : chaleur latente de désorption de l'eau .

**Mh** : quantité d'hydrocarbure adsorbée par cycle.

**Cph** : chaleur spécifique du gaz.

**Hh** : chaleur spécifique de désorption d'hydrocarbure.

**Qch** : Débit de gaz de régénération en phase chauffage, (lb/hr).

**cpGR** : chaleur spécifique du gaz de régénération, (Btu /lbF°).

**$\theta_{ch}$**  : Temps de régénération (hr).

**$\theta_r$**  : Temps de refroidissement

**tB** : Le temps de rupture en heure.

**$\rho_B$**  : Densité de tamis.

**hB** : Hauteur total de tamis.

**hz** : hauteur total de la zone de Transfer de masse.

**Xs** : la capacité à la saturation = 22 lbH<sub>2</sub>O /100lb tamis (fiche technique).

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

## **Chapitre I : les hydrate et la déshydrations**

I.1 Les hydrates.....	2
I.1.1 Définition .....	2
I.1.2 Structure et composition des hydrates .....	2
I.1.2.1 structure de base .....	2
I.1.3 Les types des hydrates.....	5
I.1.4 Les facteurs favorisant la formation d'hydrates .....	5
I.2 Prévention des hydrates .....	6
I.2.1 Utilisation d'inhibiteurs .....	6
I.2.2 Une réduction de pression.....	7
I.2.3 Déshydratation.....	7
I.2.3.1 Déshydratation par absorption.....	8
I.2.3.2 adsorption sur un lit fixe .....	8
I.2.3.3 généralité sur l'adsorption.....	8

## **Chapitre II : Présentation de la région de TFT**

II.1 Introduction .....	19
II.2 Situation géographique de la région TFT .....	19
II.3 Historique du découvert.....	20
II.4 Historique du développement.....	20
II.5 Les différent de gisement du champ TFT .....	21
II.6 Présentation de la direction régionale TFT .....	22
II.7 Division d'exploitation .....	24
II.7.1 Service exploitation Huile Nord.....	26
II.7.2 service exploitation Huile Sud .....	26
II.7.3 Service Fermeture Gas-Lift (FGL).....	27
II.7.4 Service maintien de pression (MP) .....	28
II.7.5 Service Unité de Traitement des Gaz Associés (UTGA) .....	28

## **Chapitre III : Description de l'unité de traitement de gaz associé**

III.1 Présentation .....	29
III.1.1 Spécification de gaz associé et des produits.....	30

III.1.1.1	Capacité de l'UTGA.....	30
III.1.1.2	Spécification du gaz associé .....	30
III.2	Description du procédé .....	32
III.2.1	Réception des gaz associé .....	32
III.2.2	Les sections de l'UTGA.....	32
III.3	Etude d'un cycle d'adsorption.....	36
III.4	Process .....	37
III.5	La sécurité dans l'UTGA .....	40
III.6	Description du déshydrateur D301 .....	42

#### **Chapitre IV : Vérification du déshydrateur**

Introduction.....	44	
Méthode de calcul .....	44	
IV.1	Vérification du design.....	44
IV.2	Calcul la dimension du déshydrateur dans les conditions de travail .....	52
IV.3	Comparaison entre les résultats obtenus et ceux du design .....	52
IV.4	Optimisation de temps de cycle.....	52

#### **Chapitre V : Résultats et discussion**

V	Résultats et discussions.....	54
V.1	Vérification de design.....	56
V.2	Comparaison des résultats avec ceux du design.....	68
V.3	Calcul du déshydrateur dans les conditions actuelles .....	68
V.3.1	Résultats de calcul obtenus .....	68
V.3.2	Comparaison entres les résultats obtenus (actuels) et ceux du design.....	69
V.4	Optimisation du temps de cycle : .....	70
<b>Conclusion générale.....</b>		<b>71</b>
<b>Référence bibliographique.....</b>		<b>72</b>
<b>Annexe .....</b>		<b>73</b>

**Introduction**

**Générale**

### 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 torchage des gaz associés à la production de pétrole brut, dont le volume mondial est estimé à plus de 100 milliards de mètres cubes par an, font l'objet d'une attention grandissante compte tenu de l'intérêt porté par la communauté internationale à la conservation de l'énergie et à la modification du climat à l'échelle mondiale, alors la réduction de ces gaz revêt une grande importance

Après la séparation du pétrole brut au niveau des centres, on récupère le gaz associé qui subit un traitement consistant à retirer spécifiquement certains constituants présents dans ce gaz tels que l'eau, le soufre et le CO<sub>2</sub> afin qu'il puisse répondre aux spécifications et exigences commerciales et réglementaires. Le gaz traité est destiné par la suite à la commercialisation, alors qu'une partie est utilisée pour les besoins des opérations pétrolières sur site.

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.

La présence d'eau libre ou d'eau sous forme vapeur dans le gaz provoque éventuellement 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 étudié 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 est subdivisé en cinq chapitre, le premier chapitre concerne les hydrates et la déshydratation, le deuxième chapitre concerne la présentation de la région TFT, le troisième chapitre sur la description de l'UTGA, le quatrième chapitre présente la vérification de la déshydrateur D301, enfin le cinquième chapitre donne les résultats pratique obtenus.

# Chapitre I

## Les hydrates et la déshydratation

## I.1 Les hydrates

### I.1.1 Définition

Les Cadrates de gaz, appelés couramment hydrates, sont des solides cristallins non stœchiométriques, qui se forment sous certaines conditions de pressions et de température, dans les conduites de transport d'hydrocarbures qu'ils finissent par s'obturer totalement. Le bouchage des équipements pétroliers (la vanne CAMCO) entraîne pour les exploitants un surcoût considérable. Lie à l'arrêt de la production, à la réparation ou au remplacement d'une pièce cassée, ou à la mise en place d'une procédure de destruction des bouchons d'hydrate. Outre cet aspect économique, les hydrates posent de sécurité lies à leur instabilité, et à la quantité de gaz qu'ils renferment dans un volume restreint. C'est pourquoi la connaissance des conditions de la formation des hydrates de gaz est devenue un enjeu majeur de l'industrie pétrolière, et le sujet de recherches abondantes. (Voir l'annexe A) [1]

### I.1.2 Structure et composition des hydrates [1]

Les hydrates de gaz sont des composés d'insertion, formes d'un réseau organisé de molécules d'eau liées par des liaisons hydrogène, et dont les cavités sont occupées par diverses molécules organique qui stabilisent la structure par les interactions de type Vander WAALS qu'elles forment avec le réseau aqueux.

#### I.1.2.1 structure de base

En présence d'un gaz léger, les molécules d'eau peuvent former une structure cristalline régulière comprenant des cavités ou cages les quelles sont piégées les molécules de gaz. En raison de cette structure en cage les hydrocarbures appartiennent à la catégorie des composés d'inclusion appelés cathares. Le réseau cristallin est dû aux liaisons hydrogène entre les molécules d'eau et il est stabilisé par les molécules de gaz qui sont-elles mêmes retenues dans les cages par des forces de Vander WAALS.

Seules les molécules dont le diamètre est compris dans une certaine fourchette peuvent former ces inclusions. En effet, le diamètre de la molécule doit être inférieur au diamètre de la cavité pour que la molécule puisse entrer dans la cavité et en même temps suffisamment grand, pour que le réseau cristallin soit stable.

L'analyse par rayons X des cristaux a permis d'identifier les trois structures suivantes, présentées dans l'ordre chronologique de leur découverte. (Voir l'annexe B)

- La structure I (noté S.I) ;
- La structure II (noté S.II) ;
- La structure H (noté S.H) dont la découverte a été publié en 1987.

Les hydrates se présentent sous différentes formes cristallines :

Les molécules les plus petites ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) forment la structure « I » cubique à corps centré, les molécules les plus grandes ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) forment la structure « II » avec 17 molécules des eaux.

Les molécules au-delà de n-butane sont trop volumineuses pour permettre la pénétration dans les cavités du réseau cristallin, de sorte qu'il n'y a pas de formation d'hydrate avec les hydrocarbures supérieurs au n-butane.

### a) Hydrate de Structure I

Le motif de base est un pentagone formé par les molécules d'eau la maille élémentaire de la structure S.I est un cube centré de  $12 \text{ \AA}$  de paramètre, compose de deux petites cavités à 12 faces pentagonales ( $5^{12}$ ) et six grandes cavités à 12 faces pentagonales et 2 faces hexagonales ( $5^{12}6^2$ ). Aux conditions d'équilibre de pression et température de formation et de dissociation des hydrates, le cristal de cette structure est composé de 46 d'eau molécules mélangées avec des composants gazeux : Méthane, Éthane, Dioxyde de carbone.

#### Structure I : 2 M1 6M2 46H<sub>2</sub>O

Où :

**M1** : représente deux petites cavités (polyèdre constitués de **12** faces pentagonales référencées  $5^{12}$ ).

**M2** : représente les six grandes cavités (polyèdres constitués de **12** faces pentagonales et **2** faces hexagonales et référencées  $5^{12}6^2$ ).

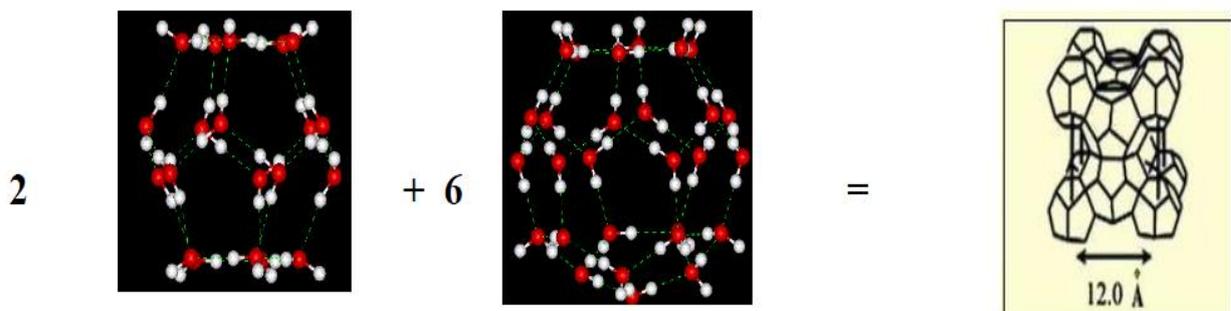


Figure I.1 : hydrate de structure I

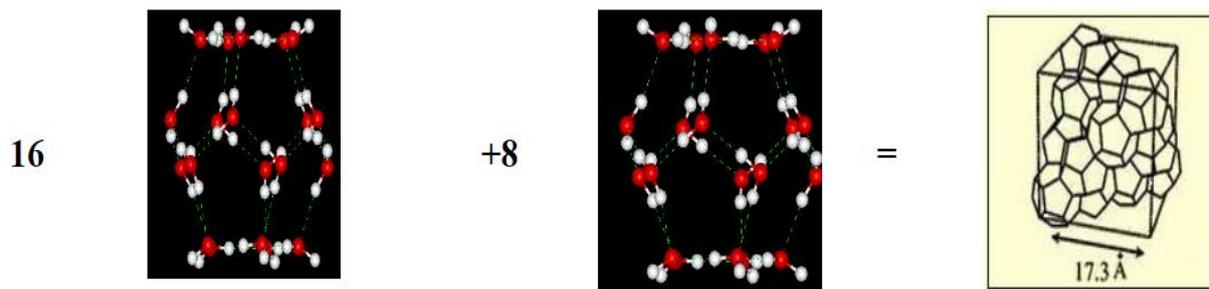
## b) Hydrate de structure II

La maille élémentaire de la structure S.II est un cube de type diamant, de paramètre  $17,3\text{\AA}$ , constituée de seize petites cavités ( $5^{12}$ ), et huit grandes cavités à 12 faces pentagonales, et 4 faces hexagonales ( $5^{12}6^4$ ). Elle comprend 136 molécules d'eau mélangées avec les hydrocarbures suivants : Propane, i-butane, Azote et peut accueillir 24 molécules hôtes, dont 8 de taille supérieure à celle des molécules hôtes de la structure S.I.

**Structure II** :  $16M1\ 8M3\ 136H_2O$ .

Où :

**M3** : représente les huit grandes cavités (polyèdre de 12 faces pentagonales et de 4 faces hexagonales et référencées  $5^{12}6^4$ )



**Figure I.2** : hydrate de structure II

## c) Hydrate de structure H

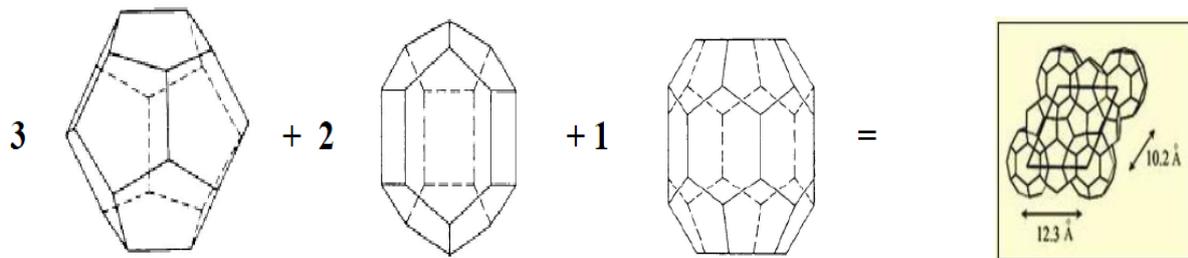
Elle contient 34 molécules d'eau pour 6 cavités : trois petites cavités ( $5^{12}$ ), deux cavités intermédiaires à 3 faces carrées, 6 faces pentagonales et 3 faces hexagonales ( $4^35^66^3$ ) et une grande cavité à 12 faces pentagonales et 8 faces hexagonales ( $5^{12}6^8$ ). La grande cavité lui permet d'accueillir des molécules relativement lourdes.

**Structure H** :  $3M1\ 2M2\ 34H_2O$ .

Où :

**M1** : représente les petites cavités.

**M2** : représente la cavité intermédiaire.



**Figure I.3 :** hydrate de structure H

### I.1.3 Les types des hydrates [1]

On distingue deux types d'hydrates

a) - les hydrates faisant intervenir les molécules de petites tailles :

- Les méthanes lier avec 6 à 7 molécules d'eau
- L'éthanes lier à 7 molécules d'eau
- Les dioxydes de carbones lier de 6 à 7 molécules d'eau

b) -les hydrates faisant intervenir des molécules de grandes tailles lier avec 17 molécules d'eaux :

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

Les tailles des molécules au de la  $n-C_4$  sont important et ne permettent donc pas la pénétration dans le réseau cristallin, et par conséquent inhibent la formation d'hydrates

### I.1.4 Les facteurs favorisant la formation d'hydrates [2]

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

a) **facteur primaires :**

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

**b) facteurs secondaire :**

- 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.

**I.2 Prévention des hydrates**

La formation des hydrates peut être évitée en se plaçant en dehors des conditions thermodynamiques de formation. Ceci peut être réaliser 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 inhibiteurs. [3]

Les techniques de prévention d'hydrates sont :

**I.2.1 Utilisation d'inhibiteurs****a) les alcools**

Les alcools notamment le méthanol ainsi que les glycols, sont très largement utilisés comme inhibiteurs thermodynamiques. [4]

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). [4]

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

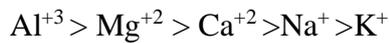
Le méthanol peu visqueux et n'est pas corrosif, par contre, sa forte tension de vapeur entraîne des pertes importantes en phase gazeuse. De plus la régénération par distillation du méthanol est relativement coûteuse. De ce fait, le méthanol est souvent consommé en permanence, sans être récupéré. [1]

**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 ; ces derniers 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. [5]

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



La plupart des chlorures et notamment NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub> et AlCl<sub>3</sub> peuvent être utilisés comme inhibiteurs. Le chlorure de calcium est fréquemment choisi en raison de son efficacité et son faible coût. Les sulfates, notamment Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, Al(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> sont également employés. Enfin, l'utilisation des phosphates et en particulier le phosphate de sodium Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 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. [5]

### I.2.2 Une réduction de pression

Baisse de 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. [6]

Ainsi une détente isentropique ou même isenthalpique conduit à une augmentation des risques de formation des hydrates. [1]

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. [1]

### I.2.3 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 des conduites. [5]

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

- Absorption
- Adsorption/désorption sur un lit fixe

### I.2.3.1 Déshydratation par absorption [6]

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 la colonne ; le glycol sortant en fond est régénéré par distillation et recyclé.

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

### I.2.3.2 adsorption sur un lit fixe [2]

Pour ces procédés, la vapeur d'eau est adsorbée sur la surface solide de matériaux adsorbants qui ont une très grande surface spécifique. Ce procédé fonctionne en deux étapes :

- Adsorption de l'eau du gaz sur une charge fixe d'adsorbant.
- Régénération du lit « saturé » par passage d'un flux de gaz chaud, ce qui nécessite de disposer d'au moins deux adsorbeurs.

Le gaz utilisé pour régénérer le lit saturé est condensé pour séparer les impuretés puis il est recyclé en tête de l'adsorbant pour y être traité avec le gaz « brut ». Ce principe est surtout lorsqu'une déshydratation poussée s'impose.

### I.2.3.3 généralité sur l'adsorption

#### a) Définition

L'adsorption peut être défini comme l'opération fondamentale de génie chimique qui exploite l'aptitude de certains solides à concentrer spécifiquement à leur surface les constituants d'une solution permettent ainsi leur séparation.

Le solide est appelé adsorbant et la substance qui s'adsorbe est l'adsorbat que nous l'appellerons plus couramment soluté afin d'éviter toute confusion avec l'adsorbant.

Selon les forces intervention entre les molécules de l'adsorbat et la surface d'adsorption, on distingue, en générale, les types d'adsorption suivants. [7]

### ▪ Physisorption [7]

C'est une adsorption de type physique, qui se produit lorsque les forces qui fixent l'adsorbat dans une couche mono ou multimoléculaire à la surface de l'adsorbant sont du même ordre que les force de van der waals.

Ce type d'adsorption se caractérise par :

- ✚ La rapidité dans l'établissement de l'équilibre (dépendant de la température, concentration et pression) entre la phase adsorbée et la phase fluide. Si, parfois, l'équilibre n'est atteint qu'au bout d'un temps plus ou moins long, on admet que cela vient du fait que l'adsorption superficielle est accompagnée d'autre phénomènes : dissolution du gaz dans les solides et condensation capillaire dans les pores et les capillaires du solide. On la désigne parfois sous le nom de sorption ;
- ✚ La réduction de la capacité d'adsorption avec l'élévation de la température ;
- ✚ Une réversibilité relativement facile et une absence de spécificité.

### ▪ Chemisorption [7]

C'est une adsorption du type chimique, qui résulte des forces de liaison de nature chimique (nettement supérieure aux forces de van der waals) avec mise en commun ou transfert d'électrons ; il y a donc des ruptures et des créations de liaison chimiques en surface entre le réactif et les sites actifs de l'adsorbant.

La chemisorption se caractérise par :

- ✚ Un équilibre long à attendre entre la phase adsorbée et le milieu fluide ;
- ✚ Une augmentation de la quantité de matière adsorbée avec la température ;
- ✚ Une chaleur dégagée durant l'adsorption comparable aux chaleurs de réaction (de 40 à 100 kJ/mol), environ 10 fois supérieures à l'adsorption physique ;
- ✚ La non réversibilité ;

### b) les facteurs influençant l'adsorption [2]

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

- 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

### c) différents adsorbant industriels

Tous les solides agissant comme adsorbants sont caractérisés par la structure microporeuse qui leur confère une très grande surface active par unité de masse. Les adsorbants utilisés dans la pratique sont, soit de nature organique (végétale ou animale), soit de nature minérale. Ils sont employés tels quels ou après un traitement d'activation ayant pour but d'augmenter la porosité. [7-8-9]

Les adsorbants les plus utilisés dans les applications industrielles sont les suivants :

#### ➤ **Charbon actif**

Disponible en poudre ou en grain, le charbon actif est obtenu par traitement spécial (pyrolyse) de charbons naturels (anthracite, tourbe) ou artificiels (bois de noix de coco carbonisé). Sont caractérisés par une porosité importante pour adsorber les hydrocarbures paraffiniques et les produits organiques. [7]

Les caractéristiques générales du charbon actif sont données dans le tableau I.1

**Tableau I.1 : caractéristiques générales du charbon actif. [7-8-9]**

Adsorbant	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	Volume des pores (cm <sup>3</sup> /100g)	Diamètre moyen des pores, (Å)	Principale application
Charbon actif	300-2500	0,50-0,60	0,10-0,30	Organique/air Organique/eau CH <sub>4</sub> , CO/H <sub>2</sub> O

#### ➤ **Gel de silice (silica-gel)**

Le gel de silice se présente sous la forme de grains durs et est un bon adsorbant pour le séchage. La teneur en eau dans le gaz traité par adsorption sur gel de silice est d'environ 10ppm. Le silica-gel est facilement régénéré à une température comprise entre 120 et 200 °C. Il s'obtient par action de l'acide chlorhydrique sur une solution de silicate de sodium. Le gel de silice est employé essentiellement à la déshydratation des gaz et liquides et également au fractionnement des hydrocarbures. [7]

La caractéristique générale du gel de silice est donnée dans le tableau I.2

**Tableau I.2** : caractéristiques générales du gel de silice. [7-8-9]

Adsorbant	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	Volume des pores (cm <sup>3</sup> /g)	Diamètre moyen des pores, (Å)	Principale application
Gel de silice	700-850	0,40-0,50	22-26	H <sub>2</sub> O/gaz

➤ **Alumine activée**

Commercialisées sous forme de poudre granulée. Elle résulte du traitement thermique de l'oxyde d'aluminium précipité ou de la bauxite. L'alumine est utilisée dans le séchage des gaz et des liquides. Capacité d'adsorption est pratiquement faible. [7]

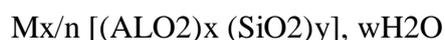
La caractéristique générale de l'Alumine activée est donnée dans le tableau I.3

**Tableau I.3** : caractéristique générale du l'Alumine activée. [7-8-9]

Adsorbant	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	Volume des pores (cm <sup>3</sup> /g)	Diamètre moyen des pores, (Å)	Principale application
Alumine activée	250-350	0,20-0,35	10-80	H <sub>2</sub> O/gaz et liquide

➤ **Tamis moléculaire ou « zéolites »**

Les tamis moléculaires sont des zéolites synthétiques ou silico aluminate métallique à structure cristalline tridimensionnelle poreuse, constitués par assemblage de tétraèdres 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 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. (Voir l'annexe C) [9]

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.

Il existe des différents types de tamis moléculaire selon le diamètre caractéristique des pores : 3Å - 4Å - 5Å - 10Å – 13X. [9]

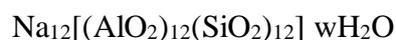
✓ **Tamis moléculaire type A :**

Type des tamis moléculaires ayant une structure cristalline cubique avec des pores de diamètre qui suivent les cations de compensation entre **3 à 5 Å**

✓ **Tamis moléculaire type X :**

Type des tamis moléculaires ayant une structure cristalline de diamant avec des pores de diamètre qui varie de **9 à 13 Å**

1- le tamis moléculaire **4Å** : est celui de base, obtenu dans la synthèse de zéolites de type 4Å de la forme générale :

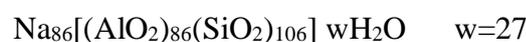


2- le tamis moléculaire **3Å** : est celui obtenu par remplacement partiel des cations sodium du tamis 4Å par des cations de potassium (k).

3- le tamis moléculaire **5Å** : est obtenu par remplacement partiel du sodium du tamis 4Å par des cations de calcium.

4- le tamis moléculaire **10Å** : est celui obtenu dans la synthèse de zéolites de type **X**.

5- le tamis moléculaire **13Å** : peut être représenté par la formule suivant :



La composition typique du tamis moléculaire UOP UI94 est donnée dans le tableau I.4

**Tableau I.4 :** composition chimique du tamis UOP UI94. [10]

Composition (% mass)	UOP UI94
$\text{Al}_2\text{O}_3$	35-36
$\text{SiO}_2$	46-47
$\text{Na}_2\text{O}$	15-16
$\text{K}_2\text{O}$	<1
$\text{CaO}$	<1
$\text{MgO}$	<0,5
$\text{Fe}_2\text{O}$	<1
$\text{TiO}_2$	<0,5
$\text{P}_2\text{O}_5$	<0,5

Les caractéristiques de basse des tamis moléculaires sont présentées dans le tableau I.5

**Tableau I.5** : caractéristique générale des tamis moléculaire [9]

Type de base	Diamètre minimale des pores (Å)	Forme commune	Capacité d'adsorption H <sub>2</sub> O, %masse	Molécule adsorbées	Application
<b>3A</b>	3	Poudre	23	Molécules avec un diamètre effectif <3 angströms, y compris H <sub>2</sub> O et NH <sub>3</sub>	-Séchage des gaz craqués (séchage d'oléfines) -Séchage des liquides organiques
		1/16 in bâtonné	20		
		1/8 in bâtonné	20		
		8x12 granulé	20		
		4x8 granulé	20		
<b>4A</b>	4	Poudre	28,5	Molécules avec un diamètre effectif <4 angströms y compris éthanol, H <sub>2</sub> S, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , et C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	-Séchage de l'hydrogène -Séchage de gaz d'hydrocraquage -Séchage d'air à basse pression -Séchage de gaz naturel -Élimination de H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> du gaz naturel Séchage des liquides organiques
		1/16 in bâtonné	22		
		1/8 in bâtonné	22		
		8x12 granulé	22		
		4x8 granulé	22		
		14x30 Mesh	22		
<b>5A</b>	5	Poudre	28	Molécules avec un diamètre effectif <5 angströms y compris n-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH De C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> à C <sub>22</sub> H <sub>46</sub>	-Séparation des n-paraffines des iso-paraffines et les hydrocarbures cycliques
		1/16 in granulé	21,5		
		1/8 in granulé	21,5		
<b>10X</b>	8	Poudre	36	Molécules avec un diamètre effectif <8 angströms, y compris les iso-paraffines et les oléfines	-Séparation des hydrocarbures aromatiques
		1/16 in bâtonné	28		
		1/8 in bâtonné	28		
<b>13X</b>	10	Poudre	36	Molécules avec un diamètre effectif <10 angströms	-Séchage et purification de l'aire (élimination simultanément de H <sub>2</sub> O et CO <sub>2</sub> )
		1/16 in bâtonné	28,5		
		1/8 in bâtonné	28,5		
		8x12 granulé	28,5		
		4x8 granulé	28,5		

### d) principes d'adsorption des tamis moléculaires

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 est polarité ou le degré de non saturation. Plus la molécule est polaire et non saturée, plus elle sera retenue dans le cristal. [10]

### e) Influence de quelques paramètres sur une unité d'adsorption [10]

La capacité d'adsorption est la masse d'adsorbant qui peut être adsorbée par unité de masse d'adsorption ; elle est influence par les paramètres suivants :

#### ❖ Zone de transfert de masse « ZMT » [10]

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 I.4)

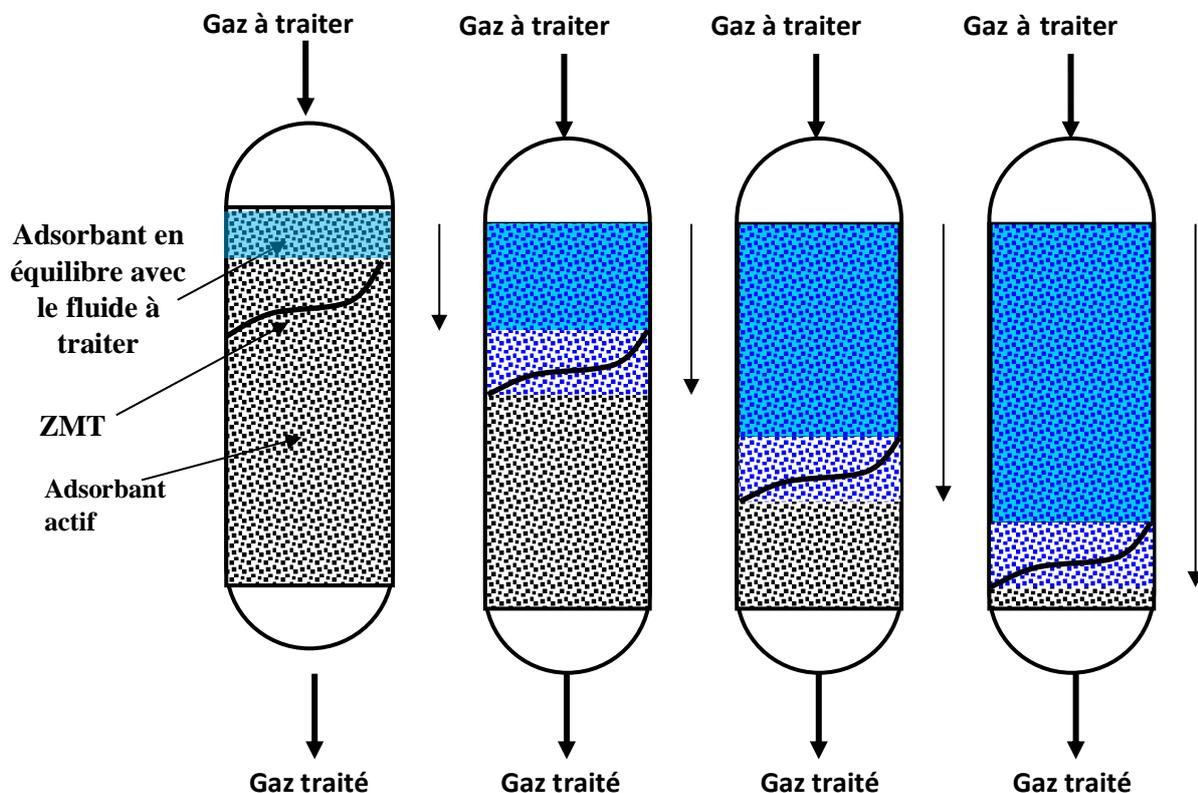


Figure I.4 : Evolution de la zone de transfert de matière au cours du temps. [10]

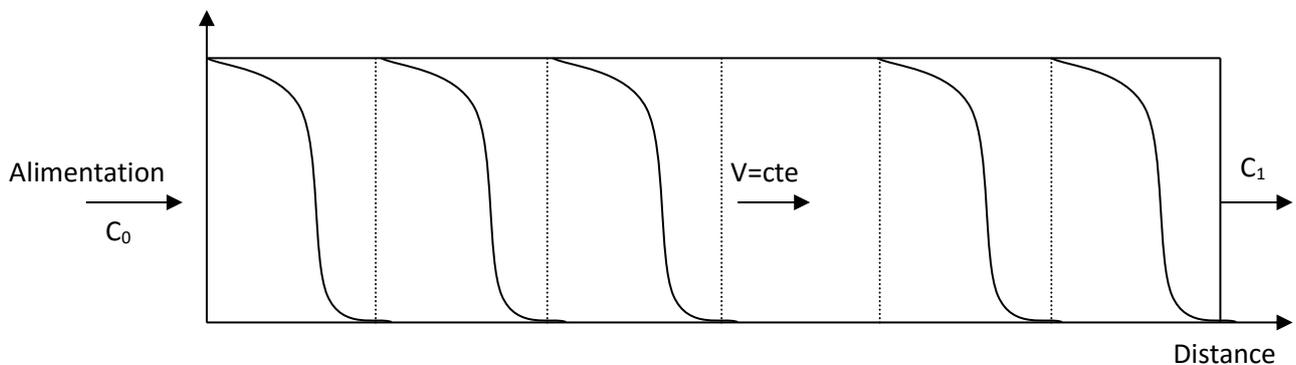
La zone de transfert de masse est influencée par :

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

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). [10]

#### ❖ Evolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption [10]

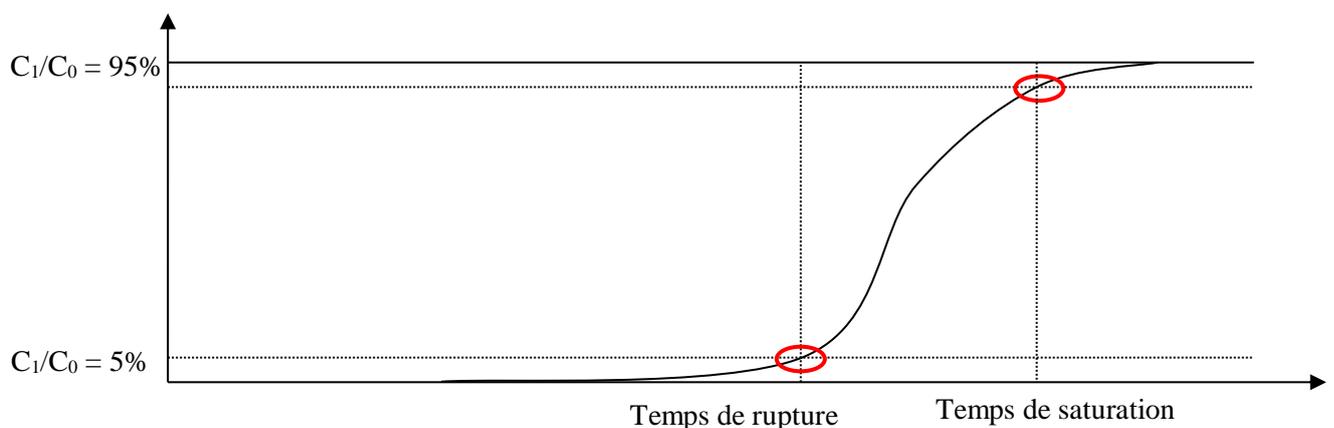
La zone de transfert de masse subit une variation, les couches de l'adsorbant se saturent, ceci s'accompagne d'un déplacement de la ZMT jusqu'à atteindre la sortie de la colonne.



**Figure I.5 :** Evolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption [10]

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. [10]



**Figure I.6 :** représentation d'une courbe de perçage [10]

### ❖ **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. [10]

### ❖ **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. [10]

### ❖ **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. [10]

### ❖ **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. [10]

### ❖ **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. [10]

**f) avantage et inconvénients des procédés d'adsorption**

**Tableau I.6 : Avantage et inconvénients des procédés d'adsorption [10]**

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Point de rosée très bas (sous 70 bars)</li><li>• Simplicité de la mise et du design</li><li>• Pas de problème de moussage</li><li>• Grande sélectivité</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Investissement important</li><li>• Demande une importante quantité de chaleur pour la régénération</li></ul>

# Chapitre II

## Présentation de la région de TFT

## II.1 Introduction

La direction régionale de Tin Fouyé Tabankort connue sous le nom de TFT, est une unité opérationnelle de la société SONATRACH, activité amont, division production créé en 1976. Elle est chargée de la production de pétrole et de gaz du champ de TFT et de la gestion de ses divisions.

## II.2 Situation géographique de la région TFT

La région de Tin Fouyé Tabankort (TFT) est située dans la partie Nord-Ouest du bassin d'Illizi, plus précisément à 300 km au Nord-Ouest d'In Amenas, à 500 km au Sud-Est de Hassi Messaoud sur la route nationale N°3, à 1300 km d'Alger, elle dépend administrativement de la Willaya d'Illizi, la (figure - 1) représenté la situation géographique de la région TFT.

La région se trouve sur une altitude de 432 m avec une température ambiante qui varie entre 0°C et 45°C durant l'année.

La région de TFT a une superficie d'environ 4 000 Km<sup>2</sup> et elle est délimitée par les coordonnées UMT (Universel Transverse Mercator) suivant :

$$\begin{array}{ll} X1=310.000 & Y1=310.000 \\ X2=400.000 & Y2=3.190.000 \end{array}$$

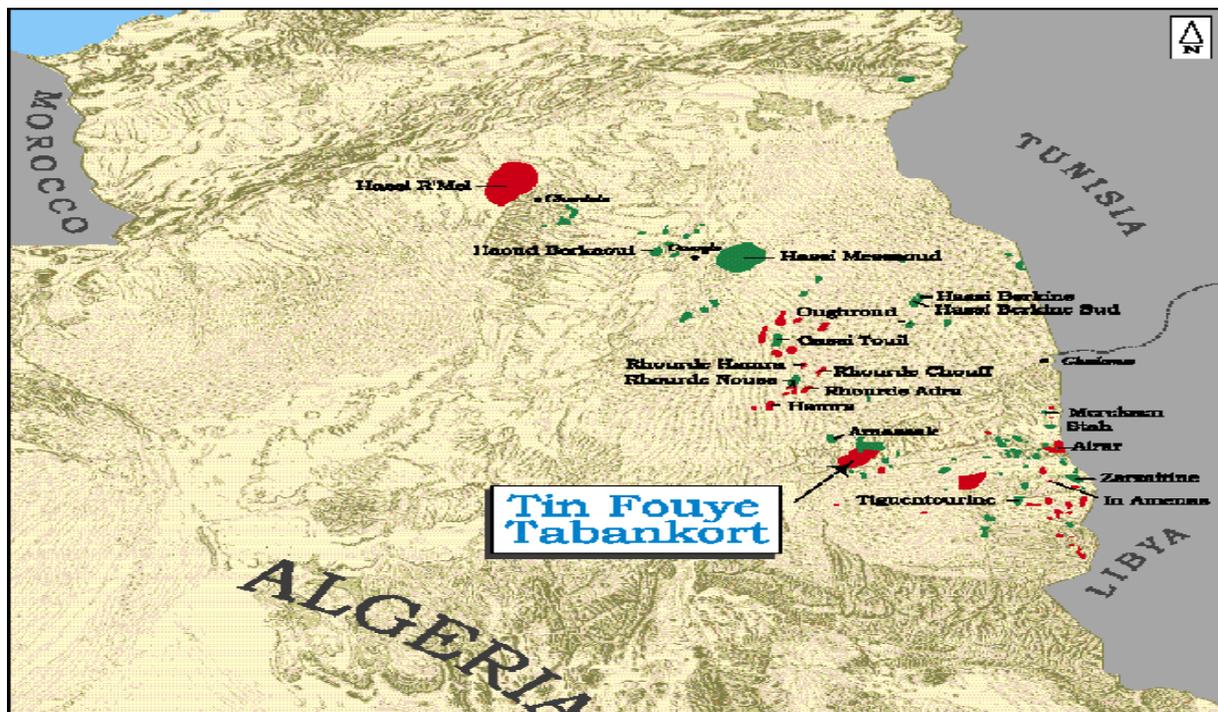


Figure II.1 : Situation géographique de la région TFT

### II.3 Historique du découvert

La découverte des champs et leur mise en production sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau II.1** : Date des découvertes des champs de Tin Fouyé Tabankort

Champs	Date de découverte	Date de mise en production
<b>SECTEUR SUD</b>		
TIN FOUYE	1961	1963
HASSI MAZOULA SUD	1963	1966
HASSI MAZOULA B	1966	1967
TIN FOUYE NORD	1966	1966
HASSI MAZOULA NORD	1959	1963
<b>SECTEUR NORD</b>		
TFT PUIT 100	1966	1967
DJOUA OUEST	1966	1968
TFT ORDOVICIEN	1967	1968
TFT ZONE EST	1968	1968
TAMENDJELT	1970	1974
AMASSAK	1970	1974

### II.4 Historique du développement

Le réservoir de TFT ordovicien produit la plus grande partie de la production de la région de TFT, son exploitation a commencé en novembre 1968. Jusqu'en 1975, les puits forés étaient au nombre de 52, dont 49 producteurs. La surface embrassée par les forages ne présentait que 40% de la surface de TFT, la production d'huile en 1974 a atteint 2 634 000 tonnes.

En raison de la diminution de la pression de gisement conduisant à l'épuisement de l'énergie de réservoir, le projet de maintien de pression est introduit en 1980.

Les résultats ont commencé à se manifester comme suite :

- En 1984 produit 2751 651 tonnes
- En 1991 produit 4 976 886 tonnes
- En 1994 produit 4410176 tonnes
- En 1998 produit 3 504 200 tonnes

Dans le but d'augmenter le taux de récupération à plus de 25% et de récupérer les gaz torchés, un autre projet est entré en service en 1987 avec la construction de l'usine de traitement de gaz. Actuellement 400 puits d'huile sont forés dans le réservoir ordovicien du gisement de TFT.

## II.5 Les différents gisements du champ TFT

Le gisement de TFT est composé de deux réservoirs productifs : L'ordovicien et le dévonien.

**L'ordovicien** : est le principal gisement, il a 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** de l'ouest, il est de profondeur de **2100 m** en moyenne.

**Le dévonien** : est un réservoir d'huile à une profondeur de 1400 m, il est non éruptif exploité par des modes artificiels

La région **TFT** est divisée en deux secteurs : le secteur sud et le secteur nord.

Le secteur nord regroupe les champs du **TFT** ordovicien et dévonien (**TAM, AMA, DJOUA**).

Le secteur de sud comprend, les champs de **TIN-FOUYE** et **MAZOULA**.

La région de TFT est composée de 17 périmètres d'exploitation :

- ❖ Tin Fouyé Tabankort (TFT ORDO)
- ❖ Amassak Tirarimine (AMA)
- ❖ Tin Fouyé Tabankort 100 (TFT100)
- ❖ Tin Fouyé Tabankort Est (TFTE)
- ❖ Tamendjelt (TAM)
- ❖ Oudiane (ODN)
- ❖ Tin Fouyé (TFY)
- ❖ Tin Fouyé Nord (TFN)
- ❖ Tin Fouyé ouest (TFW)

- ❖ Djoua (DJW)
- ❖ Hassi Mazoula Nord (HMZ)
- ❖ Hassi Mazoula sud (MZS)
- ❖ Hassi Mazoula B (HMB)
- ❖ Tifernine (TFR)
- ❖ Tim Snaguene (TIM)
- ❖ Bir el Quetara (BEQ)
- ❖ Hassi Belhouda (HBDA)

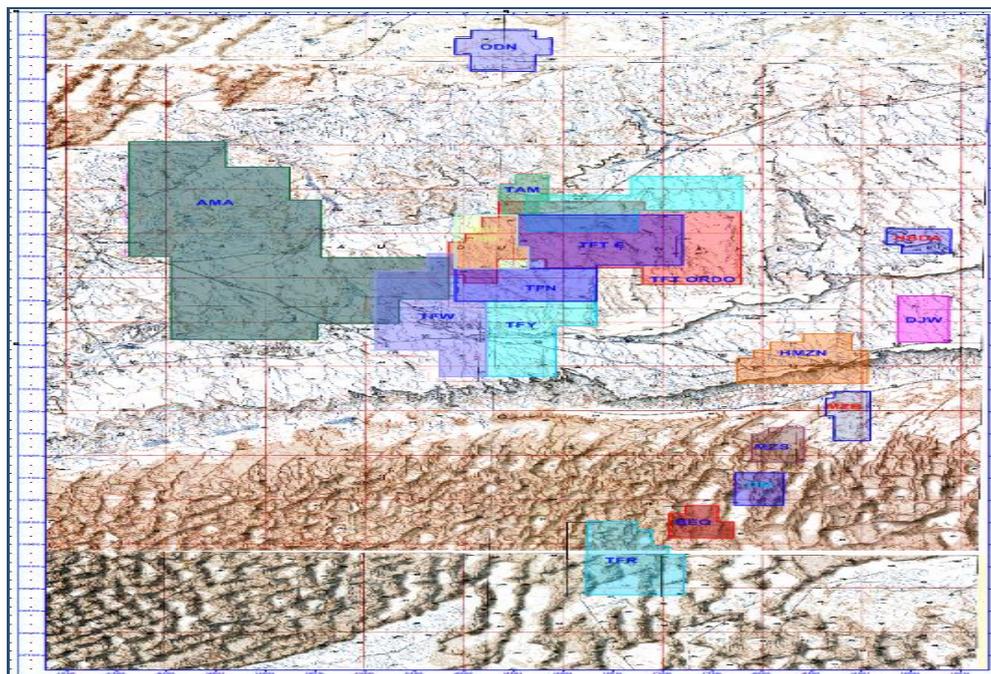


Figure II.2 : Périmètres de TFT

## II.6 Présentation de la direction régionale TFT

La direction régionale de Tin Fouyé Tabankort (TFT), fait partie de la division production de l'entreprise **SONATRACH**. Elle est chargée de la production du pétrole du champ de **TFT** et de la gestion de toutes les divisions qui lui sont rattachées.

Les divisions de la région TFT sont :

- ❖ **Division engineering production** : son rôle principal est de s'occuper des puits de leur forage jusqu'à leur épuisement total. Tout en suivant l'évolution des paramètres des gisements et programmant la maintenance nécessaire afin de maintenir leur production.

- ❖ **Division exploitation** : cette division assure l'expédition et l'utilisation de l'huile et de gaz.
- ❖ **Division réalisation** : cette division s'occupe de l'utilisation, du suivi et de la réalisation des projets.
- ❖ **Division maintenance** : son rôle est d'assurer le bon fonctionnement des équipements industriels.
- ❖ **Division sécurité** : son principal rôle est d'assurer la sécurité des installations industrielles et la protection du personnel conformément à la politique HSE de l'entreprise.
- ❖ **Division approvisionnement et transport** : son rôle est d'assurer la gestion de l'approvisionnement du stockage et du transport.
- ❖ **Division personnel** : cette division s'occupe de l'organisation des ressources humaines de l'entreprise. Elle est constituée de plusieurs services (le Service Planification, le Service Administration Générale et Moyens, le Service Gestion/Paie et le Service Prestation Sociales).
- ❖ **Division finance** : cette division assure la gestion et l'élaboration du budget, la comptabilité générale, la comptabilité analytique, la trésorerie et l'activité juridique.
- ❖ **Division intendance** : son rôle est d'assurer la gestion de la base de vie (restauration, hébergement, buanderie, et foyer) et de contrôler ou superviser les travaux effectués par la sous-traitance

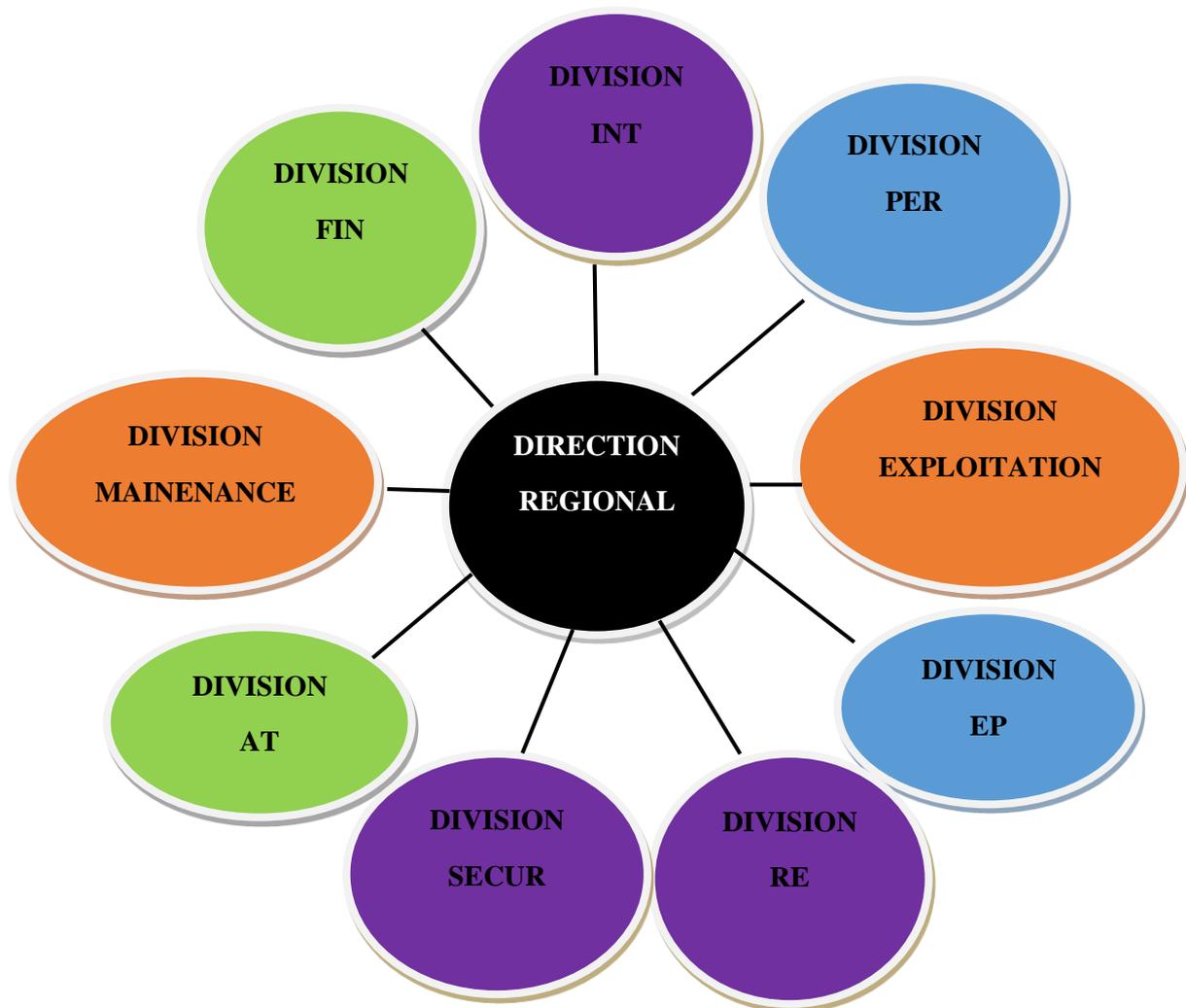


Figure II.3 : Organigramme de la direction régionale TFT

## II.7 Division d'exploitation

La division exploitation est chargée de l'exploitation de l'huile, du gaz et de l'eau à partir des têtes de puits jusqu'à leur expédition, elle est chargée entre autre la gestion des installations de surface suivantes :

- ❖ Pipelines liant les puits production aux centres de séparation
- ❖ Centre de séparation
- ❖ Centre de stockage (**huile**)
- ❖ Usine de traitement et de compression des gaz associés
- ❖ Station de compression (fermeture gaz lift)
- ❖ Station de production et d'injection d'eau
- ❖ L'activité huile se répartit sur **300** puits et **17** centres de séparation pour deux secteurs Nord et Sud

Pour le secteur Nord il s'agit de **TFT** et **TAM**. Le secteur Sud comprend **TFY**, **MAZOULA** et **DJOUA**

Parmi les tâches accomplies par cette division, on peut citer ce qui suit :

- La réalisation des programmes d'injection et production d'eau, de traitement, d'expédition des hydrocarbures produits par les complexes et installation de surface
- L'exploitation des unités de production, de traitement, de transformation, de stockage, d'expédition, de compression des hydrocarbures et les unités de production et d'injection d'eau.
- La collaboration avec le responsable des programmes pour la coordination des expéditions, des produits liquides et gazeux avec la division TRC.
- L'étroite collaboration avec la Division Engineering Production et Maintenance.
- La veille au strict respect des procédures d'exploitation et HSE.
- Le traitement, ordonnancement et suivi des factures de nettoyage, de sablage des bacs de stockage de brut et d'eau, récupération de brut, nettoyage et entretien des bassins de décantation **API** et récupération des équipements statique.

La division assure également des activités dans le cadre de maintien de pression des gisements, par la production et l'injection d'eau ainsi que l'injection de gaz.

La division gère également quatre stations de compression **FGL**, tout en assurant le stockage du pétrole brut dont la capacité totale est de **62000 m<sup>3</sup>** (CPC TFT), **8700 m<sup>3</sup>** (TFY), et **2000 m<sup>3</sup>** à Mazoula Nord

La division procède à la vérification de certains paramètres et tests indispensables pour le suivi des réservoirs tels que les tests des puits producteurs d'huile et de gaz, le GOR, le pourcentage d'eau, la pression en tête de puits.

La division travaille en collaboration avec la division sécurité, dans le but d'assurer la sécurité du personnel et des biens et elle est composée de plusieurs servie.

### II.7.1 Service exploitation Huile Nord <sup>[11]</sup>

Ce service assure l'exploitation et la surveillance des paramètres des centres de séparation, de stockage et d'expédition d'huile au nord de **TFT**. Il surveille également les installations de surface, des équipements, les travaux sur les équipements des centres (intervention, nettoyage des équipements, changement, réparation.).

Les centres de production de **TFT** gérés par le service huile nord sont au nombre de huit (8) : secteur Est : **CS2, CS3, CS4, CS5** ; secteur Ouest : **CS1, TAM, AMA**, et le centre principal de collecte (**CPC**).

Le suivi de l'évolution de la production par puits se fait des tests quotidiens et périodiques.

### II.7.2 service exploitation Huile Sud <sup>[11]</sup>

Ce service assure l'exploitation et la surveillance des installations de surface de séparation, de stockage et d'expédition d'huile, de chacun des centres suivants : **CTFN** (centre de séparation tin foyé nord), **MF1**(centre de séparation 1), **MF2, MF3, MF4, MF5**, et **CPCTFY** (Centre principal de collecte TFY), **HMN** (centre principale de collecte hassi mazoula nord), **HMB** ((centre de séparation hassi mazoula B), **HMS** (centre de séparation hassi mazoula nord), **DJW** (centre de séparation Djoua).

L'expédition d'huile se fait se **CTF N** à **MF1, MF2, MF3, MF4**, au **CPC TFY**, et de **HMZ B** à **HMZ S** puis à **HMZ N** au **CPC TFY**.

Au final l'expédition d'huile se fait de **CPC TFY** vers **Mederba** en passant par **CPC TFT**.

Pour **Djoua** l'expédition d'huile se fait du centre de **Djoua** au **CPC TFT** puis vers **Mederba**.

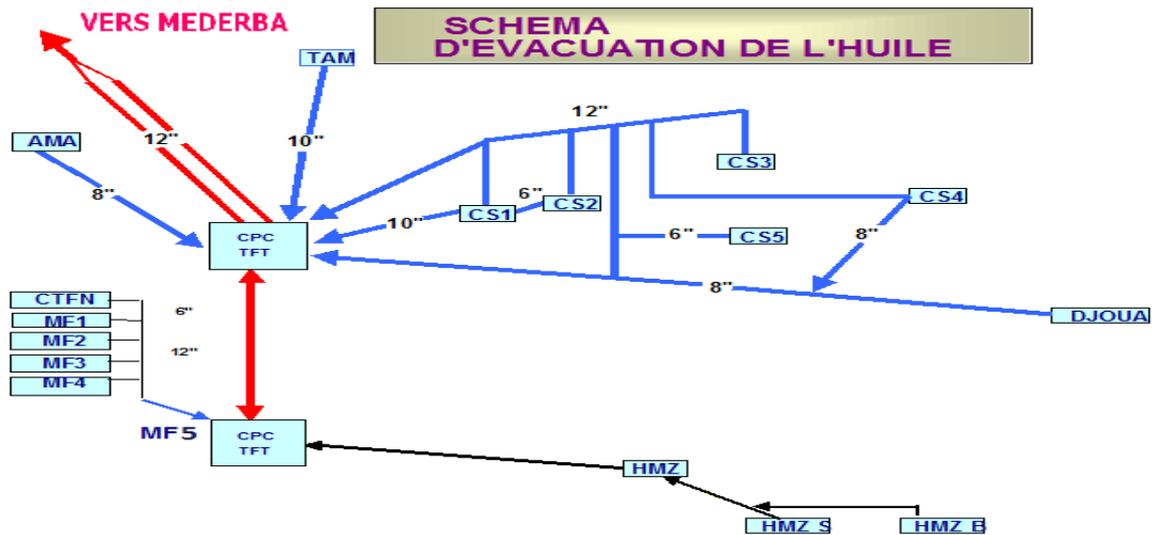


Figure II.4 : L'évacuation de l'huile

### II.7.3 Service Fermeture Gas-Lift (FGL) [11]

L'objectif de la fermeture Gas-lift est la récupération des gaz produits au niveau des différents centres de séparation des champs de **TFT** qui sont initialement torchés.

Les gaz récupérés sont comprimés et traités au niveau des stations **GL** puis réinjectés dans les puits comme gas-lift.

Les principaux rôles du service **FGL** sont comme suit :

- ❖ Minimisation des gaz torchés
- ❖ Injection du gaz lift afin d'assurer une production de brut optimale
- ❖ Récupération des condensats

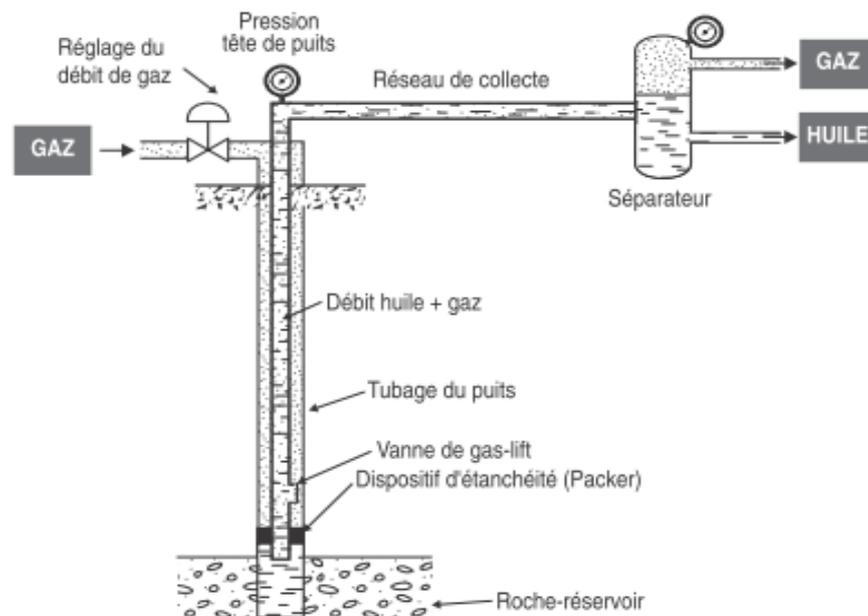


Figure II.5 : Procédé d'activation par Gas-lift

#### II.7.4 Service maintien de pression (MP) [11]

La déplétion naturelle des gisements est assurée essentiellement par l'expansion des fluides et de la roche

L'insuffisance de balayage naturel d'huile dans les gisements a incité une énergie artificielle, la plus fréquente étant l'injection d'eau ou de gaz.

L'injection d'eau appliquée au niveau du réservoir ordovicien de la région de **TFT**.

Les missions au niveau du service **MP** sont les suivant :

- ❖ Injection d'eau dans les réservoirs **Ordovicien** et **Amassak**
- ❖ Surveillance permanente des équipements et des puits.
- ❖ Contact permanent avec la structure maintenance pour les suivis programmés des machines.

#### II.7.5 Service Unité de Traitement des Gaz Associés (UTGA) [11]

Le service unité de traitement des gaz associés **UTGA** assure le traitement des gaz associé par la compression, la déshydratation des gaz associés et la séparation des condensats qui seront injectés dans l'huile, alors qu'une partie du gaz sec est utilisé comme gaz lift, le reste est envoyé pour la commercialisation par le pipe **GL1** vers **hassi-R'mel**.

# Chapitre III

## Description de l'unité de traitement de gaz associé

### III.1 Présentation

La station (unité de traitement de gaz associés) est conçue pour récupération des gaz initialement torchés au niveau des center de séparation CS1, 2, 3,4 ,5 et Amassak. la chaine de procès est composée de :

- La compression.
- La déshydratation.
- Récupération des condensats.
- La recompression.

Le gaz produit est utilisé comme suit :

- ✓ Une partie pour les besoins de la station et la centrale électrique.
- ✓ Une partie comme gaz lift pour la production d'huile et de l'eau
- ✓ Une partie commercialisée vers HASSI R'MEL

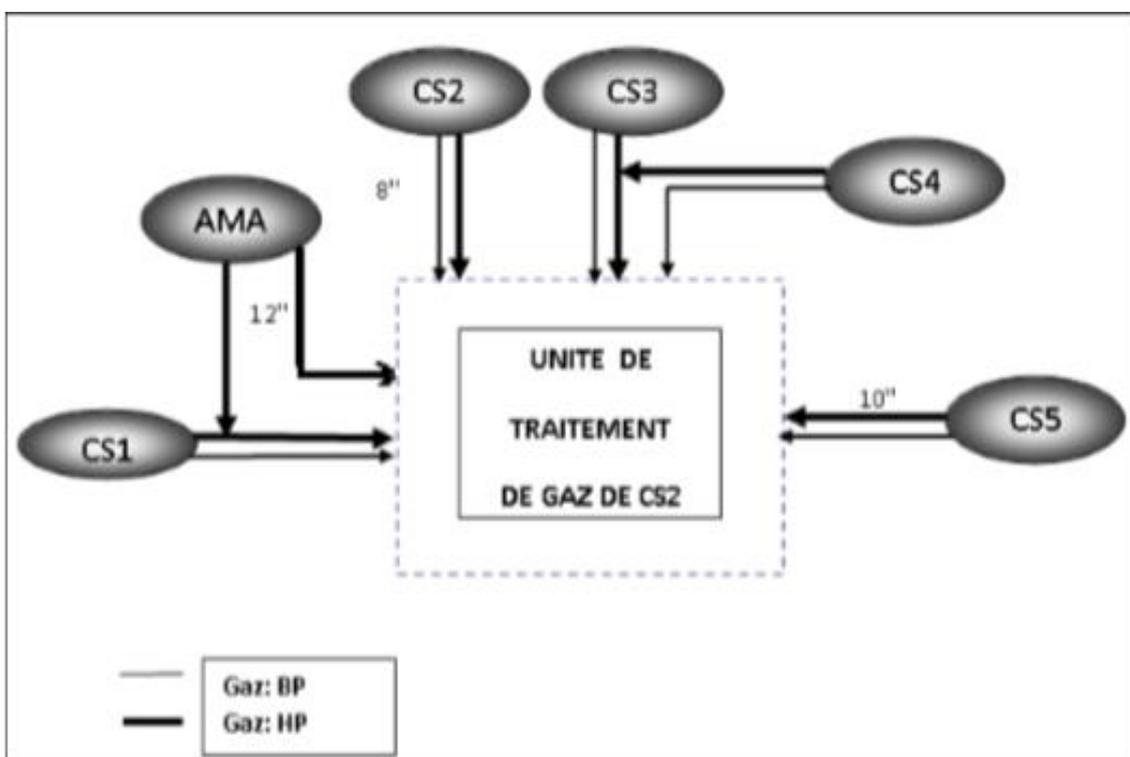


Figure III.1 : Collecte des gaz associés

## III.1.1 Spécification de gaz associé et des produits

## III.1.1.1 Capacité de l'UTGA :

Tableau III.1: Capacité de la station

STATION MIS EN SERVICE	EN JUIN 1987
TRAITEMENT	4 400 000 Sm <sup>3</sup> /j, Soit 2 200 000 Sm <sup>3</sup> /j/train
GAZ LIFT	1 420 000 Sm <sup>3</sup> /j
FUEL GAZ	360 000 Sm <sup>3</sup> /j
CONDENSAT	170 T/J (hiver) ;500T/J (été)

## III.1.1.2 Spécification du gaz associé :

## ➤ Composition :

Tableau III.2 : Composition de gaz

Composants	Gaz - associé HP		Gaz – associé BP	
	Eté	Hiver	Eté	Hiver
	% molaire	% molaire	% molaire	% molaire
N <sub>2</sub>	1,78	2,46	0,91	2,41
CO <sub>2</sub>	0,97	1,06	1,28	0,98
C <sub>1</sub>	75,32	77,59	52,83	63,88
C <sub>2</sub>	10,53	10,33	18,67	14,47
C <sub>3</sub>	5,98	5,62	14,39	11,30
i-C <sub>4</sub>	0,67	0,57	1,84	1,26
n-C <sub>4</sub>	2,00	1,50	5,42	3,44
i-C <sub>5</sub>	0,70	0,26	1,17	0,66
n-C <sub>5</sub>	1,01	0,32	1,53	0,89
C <sub>6</sub>	0,72	0,19	1,23	0,50
C <sub>7</sub>	0,32	0,10	0,59	0,21
C <sub>8</sub>	-	-	0,14	-
<b>Total</b>	100,00	100,00	100,00	100,00

## ➤ Paramètres du gaz :

Tableau III.3 : Paramètres de gaz

<b>Pression sortie</b>	80 kg /cm <sup>2</sup>
<b>Température de sortie</b>	50 à 60°C
<b>Pression d'entrée HP</b>	6 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Pression d'entrée</b>	0.6 kg/cm <sup>2</sup>

## ➤ Spécification de gaz :

Tableau III.4 : Spécification des produits

<b>Point de rosée</b>	< 10°C
<b>Pression de vapeur du condensat</b>	2.5 bar
<b>Taux d'humidité</b>	< 50 ppm

## ➤ Désignation des équipements :

Tableau III.5 : Désignation de équipements [11]

<b>Abréviation</b>	<b>Désignation</b>	<b>Abréviation</b>	<b>Désignation</b>
<b>A/B</b>	Traitement de compression	<b>E402</b>	Echangeur de chaleur gaz/gaz
<b>D</b>	Ballon de séparation	<b>E403</b>	Echangeur de chaleur gaz /liquide
<b>E</b>	Refroidisseur (aéroréfrigérant)/Echangeur	<b>D301A/B/C</b>	Sécheur de gaz
<b>K</b>	Compresseur	<b>100</b>	Section haute pression
<b>KT</b>	Turbine	<b>200</b>	Section basse pression
<b>H</b>	Réchauffeur	<b>300</b>	Section déshydratation
<b>C</b>	Stripper	<b>400</b>	Section traitement
<b>G</b>	Pompes de drainage	<b>500</b>	Section utilités

## III.2 Description du procédé

### III.2.1 Réception des gaz associé : [11]

Les gaz associés envoyés la station sont réceptionnés par :

- Un séparateur d'entrée gaz **BP (D-101)** par l'intermédiaire d'un collecteur **BP**.
- Un séparateur d'entrée gaz **HP (D-101)** pour les gaz associés **HP** par l'intermédiaire d'un collecteur **HP**.



**Figure III.2** : Point de collecte des différents centres de séparation

### III.2.2 Les sections de l'UTGA : [11]

La station est composée essentiellement des sections et installations suivantes :

- **SECTION 100** : Contient les équipements suivants pour les deux trains :
  - Les turbines **KT 101A/B** : entraînent les compresseurs **HP** :
  - Les compresseurs **K101-102-103A/B** : compriment le gaz de **6 à 80 kg/cm<sup>2</sup>**.
  - Le séparateur d'entrée commun **D101A/B** : Séparation des liquides.

- Les scrubbers d'aspiration premier étage **D102 A/B** : Séparation des liquides.
- Les scrubbers d'aspiration de deuxième étage **D103 A/B** : Séparation des liquides.
- Les scrubbers de refoulement deuxième étage **D104A/B** : Séparation des liquides.
- Les scrubbers d'aspiration troisième étage **D105A/B** : Séparation des liquides.
- Les aéros de gaz première étage **E101A/B** : Refroidissement de gaz de **162°** à **55°**.
- Les aéros de gaz deuxième étage **E102A/B** : Refroidissement de gaz de **153°** à **55°**.
- Les aéros de gaz de troisième étage **E103A/B** : Refroidissement du gaz de **170°** à **55°**.

➤ **SECTION 200** : Contient les équipements de compression **BP** :

- Les compresseurs **K200 A/B** : Compriment le gaz de **0.6** à **6 kg/cm<sup>2</sup>**.
- Les aéros de gaz **E201 A/B** : Refroidissement du gaz de **150°** à **55°**.
- Un séparateur horizontal commun **D202 A/B** : Séparation des liquides.
- Les scrubbers d'aspiration **D202A/B** : Séparation des liquides.
- Les scrubbers de refoulement **D203A/B** : Séparation des liquides.

➤ **SECTION 300** : Contient les équipements assurant le séchage :

- Les tours **D301 A/B/C** : assurent le séchage du gaz en trois cycles (adsorption, chauffage, et le refroidissement).
- Les réchauffeurs **H301 A/B** : chauffent le gaz de régénération de la tour.
- Les filtres **V301A/B** : filtrent les particules solides de gaz contaminé par le tamis moléculaire.



**Figure III.3** : Tours de déshydratation

➤ **SECTION 400** : Contient les équipements permettant d'assurer la récupération des condensats.

- Les échangeurs de chaleur **E402** (gaz-gaz) et **E403A/B** (gaz-liquide) : refroidissement du gaz de **55°** à **20°**.
- Le séparateur horizontal **D401** : Séparation et récupération du condensat.
- Le séparateur **D402** : Séparation du gaz du condensât.
- Le réchauffeur **H 401** : Chauffage du fond de stripper.
- Le stripper **C 401** : récupération et stabilisation du condensat.
- Les pompes **G401 A/B** : circulation fermée du condensat pour chauuffer le fond du stripper.



**Figure III.4 :** Echangeur gaz-gaz E403A/B



**Figure III.5 :** Echangeur gaz-liquide



**Figure III.6 :** Stripper C



**Figure III.7 :** Réchauffeurs H301A/B

➤ **SECTION 500 :**

- Les scrubbers **D501-502** : pour séparation des liquides contenues dans le gaz combustible
- Le ballon torche **D511** : reçoit les liquides ainsi que toutes les purges de gaz ou des liquides

### III.3 Etude d'un cycle d'adsorption : [11]

#### a) Adsorption :

Le gaz provenant du compresseur 2<sup>ème</sup> étage (K102A/B) à une pression de **80 kg/cm<sup>2</sup>** et dirigé par l'intermédiaire des vanne d'adsorption XV301 /302 vers le sécheur, les particules d'eau seront captées par les tamis moléculaires, alors que le gaz sec est envoyé vers la section traitement en passant par les filtres V-301A/B. [11]

#### b) Refroidissement :

Cette opération se déroule en 3 h et 45 minutes, le gaz utilisé provient du gaz traité de la sortie de compresseur 3<sup>ème</sup> étage où il subit une détente de **78 kg/cm<sup>2</sup>** à **32 kg/cm<sup>2</sup>** par la vanne automatique PCV 108, un piquage de gaz réalisé en amont de l'aéroréfrigérant E-103A/B et en aval de la PCV108 pour maintenir la température de fluide de refroidissement à 50°C par la TCV112

Une fois que le gaz refroidi la tour du tamis moléculaire, il dirigé vers les fours H301A/B pour être utiliser dans le cycle de chauffage [11]

#### c) Chauffage :

Le gaz sec froid provenant du cycle de refroidissement subit un chauffage au niveau des fours H-301A/B jusqu'à une température de **290 °C** puis il passe dans la tour en chauffage pendant 3 heures et 45 minutes afin qu'il désorbe la tour saturée en eau, ensuite il sera réinjecté au refoulement des compresseurs K101A/B en amont des aéroréfrigérants E101A/B [11]

#### d) Système de pressurisation/dépressurisation sécheurs :

A la fin de chaque cycle et pour permettre aux sécheurs de fonctionner aux conditions favorables (Adsorption : **80,6 kg/cm<sup>2</sup>**, refroidissement /régénération : **30** et **28,5 Kg/cm<sup>2</sup>**), un système de vannes est prévu dans ce sens [11]

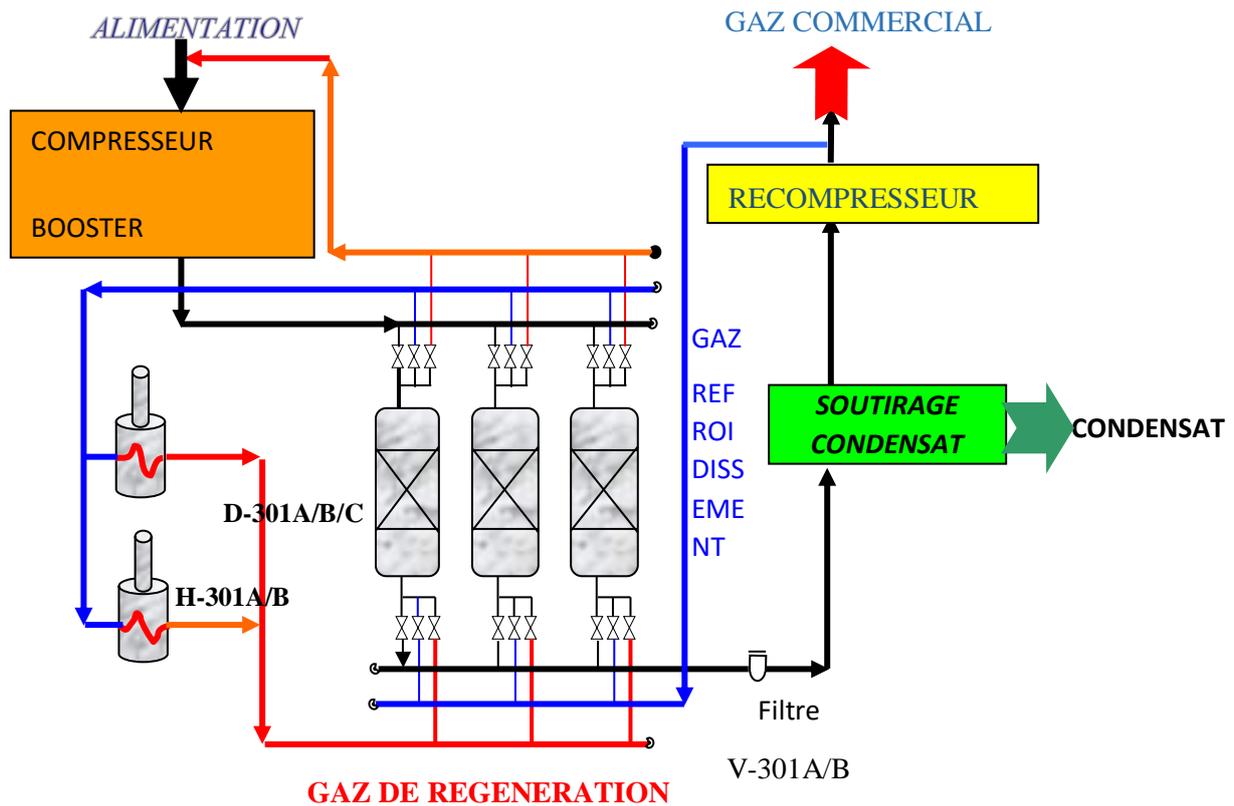


Figure III.8 : Schéma simplifié de la section déshydratation du gaz [11]

### III.4 Process [11]

Le gaz venant des centres de séparation **HP** et **BP** est reparti comme suit :

Le gaz **BP** entre dans le séparateur horizontal **D-201** pour la séparation des liquides, qui seront évacués vers le séparateur torche **D-511** pour être expédié vers **CS2** huile.

Le gaz partagé en deux parties, rentre dans les scrubbers verticaux **D202 A/B** pour éliminer l'eau et être comprimé dans les deux compresseurs **K201 A/B** de **0,6kg/cm<sup>2</sup>** à **6kg/cm<sup>2</sup>** ; le gaz chaud à **150°C** est refroidi dans les aérosols **E 201A/B**, Il passe dans les scrubbers **D203 A/B**. A la sortie il se mélange et rejoint les arrivées **HP**.

Le gaz **HP** entre dans le séparateur horizontal **D-101** pour la séparation des liquides qui seront évacués vers le séparateur torche **D-511** afin d'être expédié de la même manière vers **CS2** huile. Le gaz **HP** partagé en deux parties, rentre dans les scrubbers verticaux **D - 102 A/B** pour la séparation des liquides et être comprimé dans les deux compresseurs **K101 A/B** de **6** à **28kg/cm<sup>2</sup>** (premier étage de compression) le gaz chaud à **150°** est refroidi dans les aérosols **E-101A/B**.

Ensuite il entre dans les scrubbers verticaux **D-103 A/B** pour être comprimé dans les deux compresseurs K-102 A/B de 28 à 80 kg/cm<sup>2</sup> (deuxième étage de compression) le gaz chaud à 150° est refroidi dans les aéros **E-102A/B**. Après le refroidissement, il passe dans le scrubber **D-104 A/B** pour éliminer toute particule de liquide. A la sortie du deuxième étage, le mélange de gaz est conduit vers le séchage dans les tours **D-301 A/B/C** à tamis moléculaire fonctionnant à 03 phases :

- Adsorption (production)
- Chauffage(Régénération)
- Refroidissement

Le gaz en passant par la tour de production où les molécules d'eau sont adsorbées, il ressort sec et il est filtré dans les filtres **V-301 A/B**.

Après les filtres, le gaz est refroidi de **55° à 20°C** dans deux échangeurs :

**E-402** (gaz-gaz) et **E-403 A/B** (gaz-liquide)

A la sortie des échangeurs, il passe dans le séparateur **D-401** pour la récupération d'une grande partie de condensât qui sert de fluide de refroidissement pour l'échangeur gaz/liquide et ensuite récupéré à la sortie du stripper **C-401**

Après le ballon **D-401**, le gaz subit une détente de **80 à 20 kg/cm<sup>2</sup>** à travers les **PCV-401A/B**, le liquide restant est séparé au niveau du stripper.

Le fond du stripper est chauffé à **150°C** pour stabiliser le condensât, c'est à dire éliminer les particules légères. Le chauffage est assuré par le rebouilleur **H-401**, et la circulation fermée par les pompes **G-401 A/B**. Le condensat stabilisé est envoyé au centre **CS2** après son refroidissement dans l'aéro **E-401**.

A la sortie du stripper le gaz à une température de **-3 °C** est utilisé pour le refroidissement dans l'échangeur gaz-gaz, la régulation de température au niveau du ballon **D-401** est assurée par **la TCV-401** qui règle le débit de gaz utilisé par l'échangeur gaz-gaz.

Le gaz de sortie du stripper et échangeur, se partage en deux, et passe par les scrubbers **D-105 A/B** pour être comprimé de **20 à 80 kg/cm<sup>2</sup>**. Après refroidissement dans les aéros **E-103 A/B**, le gaz à **55°C** est prêt pour l'expédition. La pression de sortie est réglée par **la PCV-110**

à **78 kg/cm<sup>2</sup>**. Une partie du gaz est utilisée pour le gaz lift et le reste est expédié vers HASSI R'MEL ainsi que pour l'alimentation de la centrale électrique en gaz combustible.

Les tours sont régénérées par le gaz pris du troisième étage à une pression de **35 kg/cm<sup>2</sup>** réglée par la **PCV 108**, il passe par la tour de refroidissement, et à la sortie le même gaz est chauffé par les fours **H301A/B** pour sécher la tour en chauffage. A la sortie chauffage, le gaz est conduit vers le refoulement de premier étage.

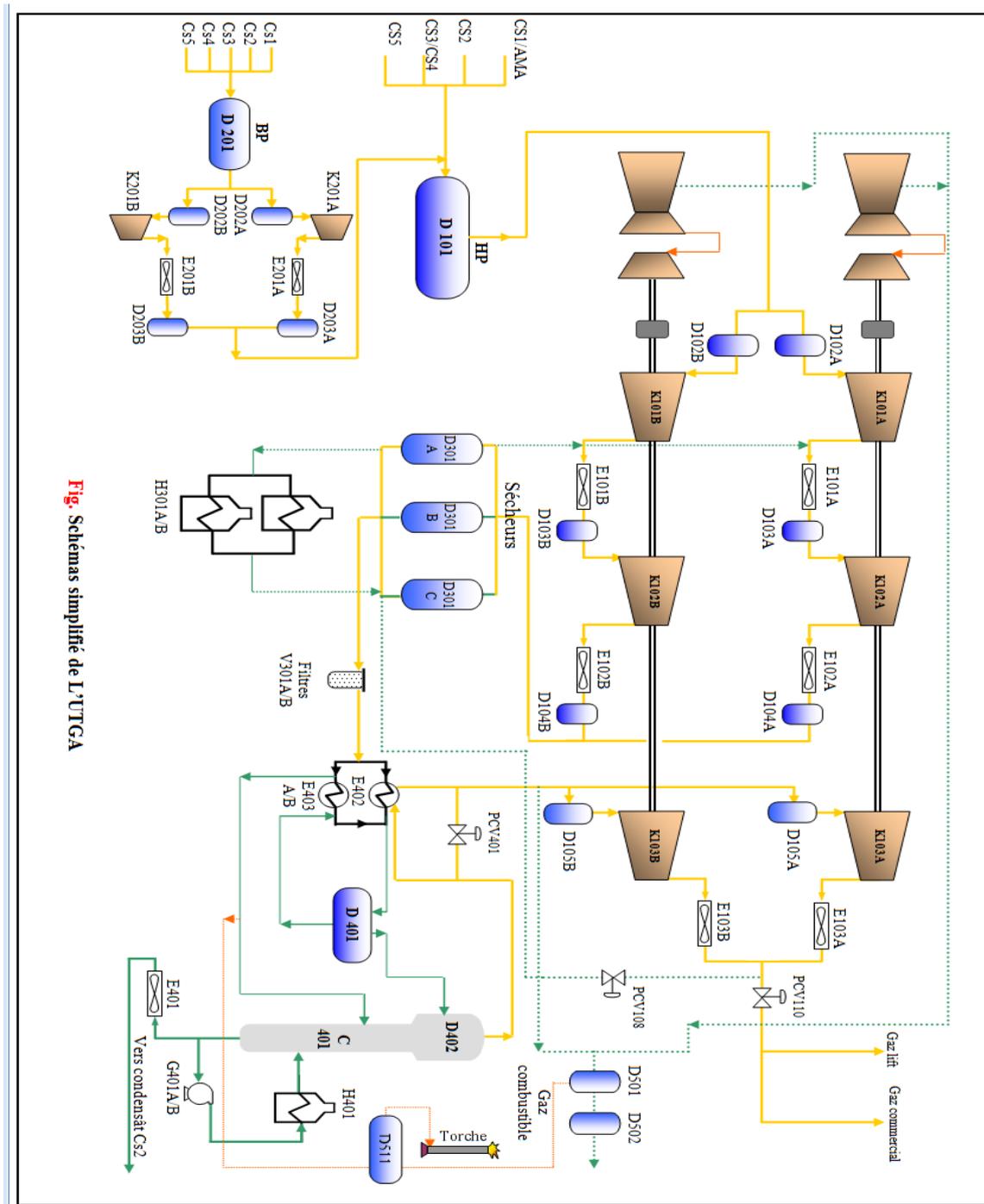


Fig. Schémas simplifié de L'UTGA

Figure III.9 : Schéma simplifié de l'UTGA [11]

### III.5 La sécurité dans l'UTGA [11]

Pour assurer la sécurité de nos travailleurs et installation contre l'incendie il y a un réseau antiincendie composé de :

-Moyens fixes.

-Moyens mobiles.

➤ **Les moyens fixes**

#### Réseau anti-incendie :

Le réseau d'eau d'incendie est composé d'un réservoir de stockage d'une capacité de 1500 m<sup>3</sup> suffisante pour fournir l'eau en cas d'incendie pendant 24 heures, le réseau de distribution est aménagé de manière boucle maillée qui permet l'intervention rapide, en cas de sinistre sur plusieurs points tout autour du réseau. Celui-ci est fourni à partir d'une installation d'alimentation constituée de :

- pompe jockey (18 bar), elle marche 24/24 h pour comprimer les réseaux.

- pompe électrique (12 bar) son débit est de 189.4m<sup>3</sup>/h.

- pompe diesel (12 bar) marche avec l'air le gasoil et batterie électrique, avec un débit de 189.4m<sup>3</sup>/h.

- 12 poteaux d'incendie installés sur les principales routes assurant l'intervention rapide

- 4 canaux moniteurs tractables.

- 3 canaux moniteurs fixe.

- 4 armoires d'incendie.

#### Réseau d'extinction fixe :

Système d'extinction à CO<sub>2</sub> automatique : Ce système est installé au niveau :

- Des sous-stations électriques.

- Unités compression et réinjection (pour la protection des turbines).

- Sous-sol de la salle de contrôle.

➤ **Les moyens mobiles**

**Les extincteurs :**

Les extincteurs existants au niveau de complexe en quatre catégories entre portatifs et extincteurs sur roues :

- Extincteurs sur roues à poudre sèche (50Kg).
- Extincteurs portatifs à poudre (9Kg).
- Extincteurs portatifs à CO2

**Les équipements d'intervention mobile :**

- Un camion d'incendie spécialisé en feu de gaz.
- Deux camions d'incendie 4500 kg.
- Une ambulance pour évacuer les victimes (Toyota)

➤ **Les moyens de détection**

Il existe deux types de détection à savoir :

**Détection portable (Explosimètre) :**

Celui-ci est destiné pour le contrôle du pourcentage de gaz vapeur combustible dans l'air

**Détection fixe :**

- Capteur de température.
- Capteur de niveau.
- Capteur de pression.
- Capteur de vibration.
- Capteur de vitesse.
- Détecteur UV/IR.
- Détection de fumé.

➤ **Le moyen de communication**

-Moyens de communication : Qui sont la radio et l'interphone

-Moyens d'alerte : qui sont les sirènes.

-Les autorisation de travail.

-La note de sensibilisation.

-Les conférences et les réunions.

### **III.6 Description du déshydrateur D301 [11]**

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

Il comporte (voir figure **III.10**)

- ◆ 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-dessus du lit du tamis moléculaire
- ◆ 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 150 mm de billes en céramique de 1/4"
- ◆ Une couche de 3200 mm de tamis moléculaire de type 4A UOP 94
- ◆ Une couche de 200 mm de bille en céramique de 1/2"

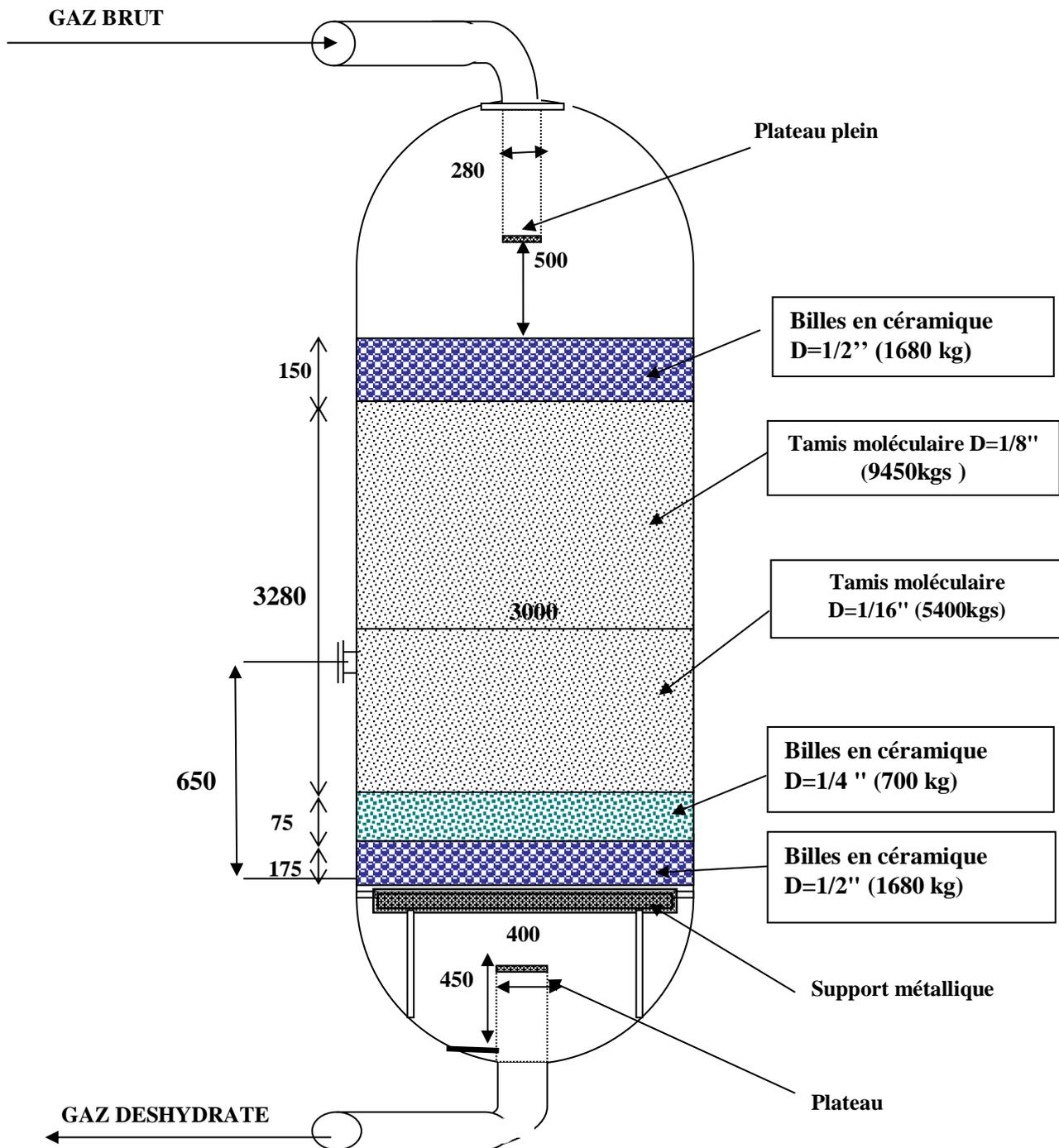


Figure III.10 : Schéma de déshydrateur gaz D301

# Chapitre IV

## Vérification de l'unité de déshydratation

## Introduction

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

Le gaz qui contient les traces d'eau implique un changement des paramètres de fonctionnement des équipements

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

## Méthode de calcul

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

On établit une vérification du design pour les deux périodes :

- Période d'hiver
- Période d'été

Pour effectuer une vérification du design on doit déterminer :

- Le diamètre de la colonne.
- La hauteur de lit.
- La masse de 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 de temps de cycle du cas actuel et le débit de régénération correspondant.

### IV.1.1 Calcul du facteur de compressibilité Z [12]

#### IV.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 de 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( $T_r, P_r$ ), on trouve Z.

### IV.1.2 Calcul de la densité relative de gaz [13]

$M_g$  : masse moléculaire du gaz.

$d_G$  : densité relative du gaz.

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

Avec :

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

#### IV.1.3 Calcul de la masse volumique du gaz [12]

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

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

#### IV.1.4 Calcul de vitesse superficielle de gaz [14]

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

$$v_g = \frac{G}{\rho_g} \quad \text{IV.7}$$

G : vitesse massique admise ; est donnée par l'équation empirique de IEBOUX : [14]

$$G = 3600[1,06 \cdot \rho_g \cdot \rho_B \cdot D_P]^{0,5} \quad \text{IV.8}$$

$\rho_g$  : Masse volumique du gaz, (lb/ft<sup>3</sup>).

$\rho_B$  : masse volumique de tamis tassé (lb/ft<sup>3</sup>).

$D_P$  : diamètre de particule de tamis (pied).

#### IV.1.5 Diamètre de lit [12]

$$d = \left( \frac{C.Z.T.Q}{P.V_g} \right)^{0,5} \quad \text{IV.9}$$

$V_g$  : la vitesse superficielle de gaz.

#### IV.1.6 Quantité d'eau absorbée pendant la durée de cycle de 4 heures [12]

$$m_w = \frac{Q.Y_w.4}{24} \quad \text{IV.10}$$

Q : débit de gaz (MMScF/D)

$Y_w$  : la teneur en eau, déduite à partir de l'annexe E.

Puis on calcule la quantité d'eau ou le flux (q) dans le gaz par unité de surface du déshydrateur [lb /hr.ft<sup>2</sup>] [12]

$$q = \frac{4m_w}{\pi.d^2} \quad \text{IV.11}$$

#### IV.1.7 Hauteur de la zone de transfert de masse [12]

$$Hz = A. \left[ \frac{q^{0,7895}}{Rh^{0,646} \cdot Vg^{0,5506}} \right] \quad \text{IV.12}$$

A : constante= 225.

Rh : humidité relative (100%).

#### IV.1.9 Hauteur de lit [12]

$$h_B = \frac{400.m_w}{\pi.\rho_B.X.d^2} \quad \text{IV.13}$$

$m_w$  : 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 [12]

$$M = \frac{\pi.d^2.\rho_B.h_B}{4} \quad \text{IV.14}$$

#### IV.1.11 Calcul de l'épaisseur du déshydrateur [15]

$$e = \frac{p.\left(\frac{d}{2}\right)}{S.E-0,6p} \quad \text{IV.15}$$

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

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

Le design prévoit une surépaisseur de corrosion de 3.2 mm donne  $e=e+3.2\text{mm}$

#### IV.1.12 Calcul de la perte de charge [12]

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

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

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 :

$$\frac{dp}{dz} \cdot \frac{g_c \cdot \varepsilon^3 \cdot dp_0 \cdot \rho_g}{(1-\varepsilon)G^2} = 150 \frac{(1-\varepsilon)}{Re} + 1.75 \quad \text{IV.16}$$

Ou :

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

$Dp_0$  : diamètre effectif des grains et des billes de céramique, (ft)

$\varepsilon$  : fraction de vide externe.

$G$  : vitesse massique de gaz.

$\rho_B$  : masse volumique du tamis tassé.

$Dp$  : diamètre du grain.

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

$\rho_g$  : masse volumique de 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 céramique (1/2", 1/4") le diamètre effectif ( $dp_0$ ) est donné par l'équation suivante :

$$Dp_0 = \frac{6(1-\varepsilon)}{a_p} \quad \text{IV.17}$$

ou :

$\varepsilon$  : Fraction du vide externe des billes en céramique.

$a_p$  : la surface spécifique des billes en céramique.

#### IV.1.12.b calcul des pertes de charge dus aux effets d'expansion et de contraction

##### 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 :

$$\frac{\Delta P}{\rho_g} = \frac{U^2}{2g_c} \cdot \left[1 - \frac{A_1}{A_2}\right]^2 \quad \text{IV.18}$$

$\Delta P$  : pertes 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'entrée de diamètre  $D_1$ .

$A_2$  : surface du déshydrateur de diamètre  $D_2$ .

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

La vitesse moyenne dans  $A_1$  et  $U_1$  : 
$$U_1 = \frac{Q}{A_1} \quad \text{IV.19}$$

### B) perte de charge à la sortie du déshydrateur

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

$$\frac{\Delta P}{\rho_g} = \frac{U^2}{2g_c} 0,45 \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad \text{IV.20}$$

#### IV. 1.12.c perte de charge totale à travers le déshydrateur

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

#### IV.1.13 Calcul du débit de gaz de régénération [13]

##### IV.1.13.a phase chauffage

La quantité de chaleur fournie pour la régénération est égale à la chaleur nécessaire pour le chauffage du deshydrateurs plein, et à 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 l'annexe F.

**A) Quantité de chaleur nécessaire pour le lit du tamis moléculaire**

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

$M_T$  : masse de 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**

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

$M_C$  : masse totale de céramique, (lb).

$C_{pC}$  : chaleur spécifique de la céramique.

**C) Quantité de chaleur pour le chauffage du déshydrateur vide**

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

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

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

**D) Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et désorber l'eau**

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

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

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

$\Delta H_e$  : chaleur latente de désorption de l'eau.

**C) Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et désorber les hydrocarbures**

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

$M_h = 0,1M_e$ .

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

$M_h$  : quantité d'hydrocarbure adsorbé 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**

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

**G) débit de gaz de régénération en phase chauffage**

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

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

$T_1, T_2, T_3, T_4$  sont prise à partir de l'annexe F.

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

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

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

$C_{pGR}$  : chaleur spécifique du gaz de régénération, (Btu/lb°F).

$\theta_{ch}$  : temps de régénération (hr).

**IV.1.13.b phase de refroidissement**

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),  $Q_{rd}$ .

**Donc :**

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

**A) débit de gaz de refroidissement**

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

$\theta_r$  : temps de refroidissement

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

$T_4, T_5$  : sont prise à partir de l'annexe F.

**IV.2 Calcul la dimension du déshydrateur dans les conditions de travail**

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.

Dans cette partie nous allons dimensionner la déshydrateur opérant dans les conditions actuelles (températures, pression, charge, débit), et cela en 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 effectué une comparaison entre les résultats obtenus dans le cas actuel et ceux du design, les résultats sont représenté dans la partie résultats.

**IV.4 Optimisation de temps de cycle [12]****IV.4.1 Détermination de temps de rupture**

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.

$\rho_B$  : densité de tamis.

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

$h_B$  : hauteur totale de tamis

$h_Z$  : hauteur totale de la zone de Transfer de masse

$X_S$  : la capacité à la saturation = 22  $\text{lbH}_2\text{O}/100\text{lb}$  de tamis

# Chapitre V

## Résultats et discussion

## V 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 sécheur : 3 identique (1 en adsorption, 1 en chauffage, et 1 en refroidissement).

Diamètre intérieur de la colonne : 3000 mm

Hauteur totale du lit : 3280 mm

Temps de cycle : 12 heures

- Adsorption : 4 heures
- Chauffage : 3 heures 47 minutes
- Refroidissement : 3 heures 47 minutes
- Temps d'attente : 26 minutes

### B) Conditions opératoires

#### B.1 Condition opératoires du design

##### B.1.a période d'hiver [1]

Pression : 80 bars

Température : 50°C

Débit de gaz associé : 4877400 Sm<sup>3</sup>/J

Débit d'eau : 338 kg/h

La composition du gaz alimentant les sécheurs est donnée dans le tableau V.1

**B.1.b période d'été [1]**

Pression : 80 bars

Température : 55°C

Débit de gaz associé : 4870100 Sm<sup>3</sup>/J

Débit d'eau : 430 kg/h.

La composition du gaz qui alimente les sécheurs est donnée dans le tableau V.2

**Tableau V.1** : composition de la charge

(cas été) [1]

Composition	% Molaire
N <sub>2</sub>	2,46
CO <sub>2</sub>	1,0
CH <sub>4</sub>	76,52
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	10,69
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	6,1
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,62
nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1,63
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,28
nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,35
nC <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,20
nC <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0,1
nC <sub>8</sub> H <sub>20</sub>	0,00
TOTAL	100

**Tableau V.2** : composition de la charge

(cas hiver) [1]

Composition	% Molaire
N <sub>2</sub>	1,71
CO <sub>2</sub>	1,00
CH <sub>4</sub>	73,68
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	11,25
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	6,68
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,75
nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2,21
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,70
nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,99
nC <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,70
nC <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0,31
nC <sub>8</sub> H <sub>20</sub>	0,01
TOTAL	100

**b.1.c Conditions opératoires dans les conditions de travail**

Pression : 80 bars

Température : 50°C

Débit de gaz associé : 3645753.6 Sm<sup>3</sup>/j.

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

**Tableau V.3** : composition de la charge (cas actuel) [11]

Composition	%Molaire
N <sub>2</sub>	1,88
CO <sub>2</sub>	0,93
CH <sub>4</sub>	74,67
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	13,27
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	6,37
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,49
nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1,41
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,31
nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,35
nC <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,30
TOTAL	100

**C) données sur l'adsorbant [11]**

- ❖ Tamis moléculaire : "JK8-2031 3,2-1,6 UOP 4Å".
- ❖ Masse volumique du tamis tassé : 730,4 kg/m<sup>3</sup>.
- ❖ Diamètre moyen des particules :

$$1/8"=3,1 \text{ mm}$$

$$1/16"=1,58 \text{ mm}$$

**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.

**V.1 Vérification de design**➤ **Période d'hiver****V.1.1 Calcul du facteur de compressibilité Z**

Tableau V.4 : Propriétés critiques du gaz [12]

composition	Yi(mol)	Tci(°k)	Yi*Tci	Pci(psi)	Yi*Pci
N <sub>2</sub>	0,0246	126,2	3,1045	492,45	12,1143
CO <sub>2</sub>	0,0105	304,2	3,1941	1073,45	11,2731
CH <sub>4</sub>	0,7652	191,1	146,2297	673,26	515,1786
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,1069	305,5	32,6580	708,54	75,7429
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,061	370	22,5700	617,4	37,6614
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0062	408,1	2,5302	529,2	3,2810
nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0136	425,2	6,9308	551,25	8,9854
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0028	461	1,2908	483,63	1,3542
nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0035	469,8	1,6443	489,51	1,7133
nC <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,002	507,9	1,0158	439,53	0,8791
nC <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0,001	540,2	0,5402	396,9	0,3969
Total	1		221,7084		668,5802

### Calcul des températures, pression critique et réduites mélange :

D'après le tableau nous avons :

$$T_{cm} = 221,7084 \text{ K}$$

$$P_{cm} = 668,5802 \text{ psi}$$

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

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

$$T_{rm} = 1,45$$

$$P_{rm} = 1,73$$

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

A ( $T_{rm} = 1,45$  et  $P_{rm} = 1,73$ )

Nous trouvons  $Z = 0,83$

### V.1.2 Calcul de densité relative du gaz

En basant sur l'équation [IV.5] :

Avec  $M_g = 21.37 \text{ g/mol}$ .

Nous trouvons  $d_G = 0,7$

### V.1.3 Calcul la masse volumique du gaz

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

$$Z = 0,83$$

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

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

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

Nous obtenons  $\rho_g = 4,79 \text{ lb /ft}^3 (76,72 \text{ kg/m}^3)$

### V.1.4 Calcul la vitesse superficielle de gaz

En utilisant l'équation [IV.7]

Pour le calcul de cette vitesse en utilisant l'équation empirique [IV.8] est en calcul la vitesse massique pour chaque couche de tamis :

Pour tamis 1/8" :  $D_p = 3,2 \text{ mm} (0,01049 \text{ ft})$ .

Pour tamis 1/16" :  $D_p = 1.6 \text{ mm} (0,00524 \text{ ft})$ .

Masse volumique de tamis tassé  $\rho_B = 730,4 \text{ kg/m}^3 (45,49 \text{ lb/ft}^3)$ .

Donc : Pour le tamis 1/8" :  $G = 5579,53 \text{ lb/hr.ft}^2 = 27242,61 \text{ kg/h.m}^2$

Pour le tamis 1/16" :  $G = 3963,49 \text{ lb/hr.ft}^2 = 19352,13 \text{ kg/h.m}^2$

On prend le cas le plus défavorable, c'est-à-dire le plus grand pour tenir en compte des pertes de charge à travers ces derniers.

$G = 5579,53 \text{ lb/hr.ft}^2 = 27242,61 \text{ kg/h.m}^2$

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.

la vitesse calculé est :  $V_g = 19.41 \text{ ft/min} = 5,91 \text{ m/min}$

### V.1.5 Calcul du diamètre de lit

En utilisant l'équation [IV.9] donnant le diamètre de lit notée  $d$  :

Avec :  $C$  : constante,  $C = 25,05$  dans le système (A.S) et  $d$  en (ft)

On trouve le diamètre  $d = 9,61 \text{ ft} = 2,90 \text{ m}$

### V.1.6 Quantité d'eau adsorbée pendant la durée du cycle de 4 heures

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

Avec :  $Y_w = 105 \text{ lb H}_2\text{O/MMScF}$  (voir l'annexe E)

$$Q = 170.15 \text{ MMScF/D}$$

On aura :  $m_w = 2977,62 \text{ lb H}_2\text{O/cycle}$

$$= 1350,65 \text{ kg H}_2\text{O/ cycle}$$

$$m_w = 337,66 \text{ kg H}_2\text{O/h}$$

Puis on calcule la quantité d'eau ou le flux ( $q$ ) dans le gaz par unité de surface du déshydrateur ( $\text{lb/hr.ft}^3$ ) pour cela en utilisant l'équation [IV.11]

On aura :  $q = 10,26 \text{ lb/hr.ft}^2 = 51,14 \text{ kg/hr.m}^2$

### V.1.7 Hauteur de la zone de transfert de masse

En utilisant l'équation [IV.12] qui donne la hauteur de la ZMT notée  $h_z$  :

Avec :

$A$  : constante = 225

$V_g$  : la vitesse superficielle du gaz.

On trouve :  $h_z = 81,80 \text{ inch} = 6,81 \text{ ft} = 2,07 \text{ m}$

### V.1.8 Hauteur de lit

En appliquons l'équation [IV.13] donnant la hauteur du lit de tamis notée  $h_B$  :

Et avec :  $m_w = 1350,65 \text{ kg H}_2\text{O/cycle}$

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

$$d = 2,90 \text{ m}$$

$$\text{On trouve : } h_B = 8,42 \text{ ft} = 2,56 \text{ m}$$

### V.1.9 Masse de tamis

En se basant sur l'équation [IV.14] donnant la masse du tamis notée **M** :

Et avec  $h_B = 8,42 \text{ ft}$

$$\text{On trouve : } M = 27847,34 \text{ lb} = 12631,34 \text{ kg}$$

### V.1.10 Calcul de l'épaisseur du déshydrateur :

En utilisant l'équation [IV.15] qui donne l'épaisseur du déshydrateur :

Et avec :  $P = 1160,24 \text{ psia} = 80,6 \text{ bar}$

$$d = 115,32 \text{ inch} = 2,90 \text{ m}$$

$$\text{En aura : } e = 3,67 \text{ inch} = 93,21 \text{ mm}$$

Le design prévoit une surépaisseur de corrosion de 3,2 mm donc :  $e'' = 94,02 \text{ mm}$

### V.1.11 Calcul de la perte de charge

#### V.1.11.a Calcul de la perte de charge dans les grain 1/8"

D'après l'équation [IV.16] donnant la perte de charge dans les grains du tamis :

Et avec :  $dp_0 = 0.0122$  (fiche technique).

On calcule 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.8)

$$\text{Avec : } \rho_g = 4,79 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Nous trouvons : } G_{1/8''} = 5579,53 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$$

$$\text{Et avec : } G_{1/8''} = 5579,53 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$$

$$dp_0 = 0,0122 \text{ ft}$$

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

Le nombre de reynolds notée **Re** est donnée par :  $Re = (d_{p0} * G) / \mu$

$$\text{Donc : } Re = 2062,74$$

Calculons maintenant la perte de charge dans les grains 1/8", et cela en se servant de l'équation IV.16

Et avec :  $G_{1/8"} = 5579,53 \text{ lb/ft}^2$ .

$$Re = 2062,74$$

$$\varepsilon = 0,37$$

$$dp_0 = 0.0122 \text{ ft}$$

Donc calcul fait, on trouve  $\frac{dp}{dz} = 28,52 \text{ PsF/ft}$

Pour une longueur du lit de (7,64 ft) :  $\Delta P = 217,89 \text{ PsF} = 0,104 \text{ bar}$

#### V.1.11.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 :  $G_{1/16"} = 3963,49 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$

$$dp_0 = 0,0052 \text{ ft}$$

$$Re = 624,54$$

Donc nous obtenons :  $\frac{dp}{dz} = 35,74 \text{ Psf/ft}$

Pour une longueur du lit de (3,12 ft),  $\Delta P = 111,51 \text{ PsF} = 0,0532 \text{ bar}$

#### V.1.11.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  $dp_0$  est donnée par l'équations [IV.17]

$$\text{Avec : } \varepsilon = 0,63$$

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

Nous trouvons :  $dp_0 = 0,020$

En prenant  $G = 5579,53 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$

Nous obtenons :  $Re = 3381,51$

Et donc la perte de charge sera égale a :  $\frac{dp}{dz} = 2,03 \text{ Psf/ft}$

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

donc :  $\Delta_p = 0,99 \text{ PsF} = 0,000476 \text{ bar}$

#### V.1.11.d Calcul de la perte de charge dans les billes en céramique 1/4"

De la même façon nous obtenons :

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

$$dp_0 = 0,2025 \text{ ft}$$

$$G = 3963,49 \text{ lb/ ft}^2.\text{hr}$$

$$Re = 2432,14$$

Donc calcul fait on trouve :  $\frac{dp}{dz} = 0,43 \text{ Psf/ft}$

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

$$\Delta_p = 0,116 \text{ PsF} = 0,0000567 \text{ bar}$$

#### V.1.11.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 :

$$dp_0 = 0,020 \text{ ft} \quad / \quad G = 3963,49 \quad / \quad Re = 2402,11$$

Donc calcul fait on trouve :  $\frac{dp}{dz} = 1,03 \text{ Psf/ft}$

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

$$\Delta_p = 0,505 \text{ PsF} = 0,000242 \text{ bar}$$

#### V.1.11.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 précédent, on calcul la perte due à 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 donnée par l'équation [IV.19] donc  $U$  sera égale a :  $U = 34,94 \text{ ft/sec} = 10,63 \text{ m/sec}$

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 à la contraction :

La perte de charge due à la contraction est donnée par l'équation [IV.20] donc tout calcul fait on trouve :  $\Delta P = 39,96 \text{ PsF} = 0,0191 \text{ bar}$

#### V.1.11.g Perte de charge totale à travers le déshydrateur :

La perte de charge totale à travers le déshydrateur D301 est la somme de toutes les pertes de charge calculées précédemment.

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

Donc :  $\Delta P = 0,2195 \text{ bar}$

La perte de charge est dans le domaine permmissible car la perte de charge donnée par le design est inférieure à **0,5 bar**.

#### V.1.12 Calcul du débit de régénération

##### V.1.12.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 donnée par l'équation [IV.21] cité dans le chapitre précédent :

Avec :  $M_T = 2977,62 \text{ lb}$   
 $C_{pT} = 0,2 \text{ btu /lb.}^\circ\text{F}$   
 $T_F = 554 \text{ }^\circ\text{F}$ ,  $T_I = 122 \text{ }^\circ\text{F}$

On aura :  $Q_1 = 2406010,176 \text{ Btu} (6,03 \cdot 10^5 \text{ Kcal})$

**B) Quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique**

De même on calcul la quantité de chaleur absorbé par les billes de céramique notée  $Q_2$ , et cela en se basant sur l'équation [IV.22] du chapitre précédent.

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

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

Masse total de la céramique  $M_C = 8734,704$  lb

$C_{pC} = 0,25$  Btu /lb°

On aura :  $Q_2 = 943348,032$  Btu ( $2,37.10^5$  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 :  $M_{dv} = 51000$  kg = 112435,62 lb

$C_{p_{dv}} = 0,12$  Btu/lb.°F

On aura :  $Q_3 = 5828662,54$  Btu ( $1,46.10^6$  Kcal)

**D) Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et désorber l'eau**

La quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et désorber l'eau notée  $Q_4$  est donnée par l'équation [IV.24] :

Avec :  $M_e = 2977,62$

$C_{pe} = 1$  Btu /lb.°F

$\Delta H_e = 1800$  Btu/lb.°F

Donc le calcul fait on trouve :  $Q_4 = 6646047,84$ Btu ( $1,67.10^6$  Kcal)

**E) Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et désorber les hydrocarbures**

Pour désorber les hydrocarbures, il nous faut une quantité de chaleur  $Q_5$ , qui est donnée par l'équation [IV.25] :

Avec :  $M_h = 0,1M_e$  et  $M_e = 2977,62$  lb

$C_{ph} = 0,91$  Btu/lb.°F

$$H_h = 342 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

On aura :  $Q_5 = 218890,8014 \text{ Btu } (5,51.10^4 \text{ kcal})$

### F) Quantité de chaleur totale à fournir pour le chauffage

La quantité de chaleur totale nécessaire pour chauffage notée  $Q_{ch}$  est la somme des quantités de chaleur calculées précédentes, et elle donner par l'équation [IV.26] :

Avec :  $Q_1 = 2406010,176 \text{ Btu}$

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

$$Q_3 = 5828662,54 \text{ Btu}$$

$$Q_4 = 6646047,84 \text{ Btu}$$

$$Q_5 = 218890,801 \text{ Btu}$$

Donc tout calcul fait on trouve :  $Q_{ch} = 17647255,34 \text{ Btu } (4,44.10^6 \text{ Kcal})$

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

Pour calculer le débit de gaz de régénération en phase chauffage nous tout d'abord calculer la température moyenne du lit notée  $T_{moy}$  et cela a l'aide des équations [IV.27], [IV.28], [IV.29] du chapitre précédent :

Avec :  $T_1 = 50^\circ\text{C} = 122^\circ\text{F}$  ;  $T_2 = 120^\circ\text{C} = 248^\circ\text{F}$  ;  $T_3 = 220^\circ\text{C} = 428^\circ\text{F}$  ;  $T_4 = 260^\circ\text{C} = 500^\circ\text{F}$

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

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

Et avec :  $Q_{ch} = 17647255.34 \text{ Btu}$

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

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

$$C_{pGR} = 0,72 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$

On aura :  $M_{GR} = 30685,54 \text{ lb/h } (13918,71\text{kg/h})$

### V.1.12.b Phase de refroidissement

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

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

$Q_{rb} = 943348,032 \text{ Btu}$

$Q_{rd} = 5828662,54 \text{ Btu}$

Donc en utilisant l'équation [IV.31],  $Q_{ref} = 9600626,172 \text{ Btu}$  ( $2,41.10^6 \text{ Kcal}$ )

D'après l'annexe F on a :  $T_4 = 500^\circ\text{F}$  et  $T_5 = 122^\circ\text{F}$

Donc à partir de l'équation [IV.33],  $T_D$  est égale a :  $331^\circ\text{F}$

$T_H = 554^\circ\text{F}$ ,  $C_{pGR} = 0,56 \text{ Btu/lb } F^\circ$

Le temps de refroidissement est de 3,75 heures

Donc le calcul fait on trouve :  $M_{GR} = 20501,01 \text{ lb/h}$  ( $9299,09\text{kg/h}$ )

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

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

$$Q_T = 17647255,34 + 9600626,176$$

Donc on aura :  $Q_T = 27247881,52 \text{ Btu}$  ( $6,86.10^6 \text{ kcal}$ )

Le tableau V.5 regroupe tous les résultats obtenus lors du dimensionnement du déshydrateur dans les conditions opératoire du design de la période hiver et la période d'été

**Tableau V.5 : Résultats de calcul obtenus**

<b>Paramètres</b>	<b>Résultats (période d'hiver)</b>	<b>Résultats (période d'été)</b>
Facteur de compressibilité	<b>0,83</b>	<b>0,80</b>
Masse molaire, (g /mol)	<b>21,73</b>	<b>23,01</b>
Densité relative du gaz	<b>0,70</b>	<b>0,79</b>
Masse volumique du mélange, (kg/m <sup>3</sup> )	<b>76,72</b>	<b>84,09</b>
Vitesse superficielle admise, (m /min)	<b>5,91</b>	<b>4,00</b>
Diamètre, (m)	<b>2,90</b>	<b>2,85</b>
Epaisseur, (mm)	<b>93,21</b>	<b>93,2</b>
Hauteur de la zone de transfert, (m)	<b>2,07</b>	<b>2,4</b>
Hauteur totale du lit, (m)	<b>2,56</b>	<b>3</b>
Quantité d'eau adsorbée par cycle (kg /lit)	<b>1350,65</b>	<b>1479,25</b>
Quantité d'eau adsorbée (kg /h)	<b>337,66</b>	<b>369,81</b>
Pertes de charge totale, (bar /sécheur)	<b>0,2195</b>	<b>0,221</b>
Débit de gaz de régénération, (kg/h)	<b>13918</b>	<b>14641</b>
Masse totale du lit, (kg)	<b>12631,34</b>	<b>13971,44</b>
Teneur en eau, (lbH <sub>2</sub> O/MMScf de gaz)	<b>105</b>	<b>115</b>

## V.2 Comparaison des résultats avec ceux du design

Le tableau V.6 représente une comparaison entre les résultats calculés du design et ceux présenté réellement :

**Tableau V.6** : comparaison des résultats du design

Paramètres	Design		calcul	
			P. Hiver	P. été
Diamètre (m)	3		2,90	2,85
Epaisseur (mm)	98,5		93,21	93,20
Quantité d'eau absorbée (kg H <sub>2</sub> O /h)	P. Hiver	P. été	337,66	369,81
	338	430		
Hauteur du lit	3,280		2,56	3,00
Débit de gaz de régénération (kg /h)	15000		13918	14641
Perte de charge (bar/sécheur)	0,5 max		0,2195	0,22
Masse du lit (kg tamis /Déshydrateur)	14800		12631,34	13971,44

D'après les résultats regroupés dans le tableau IV.6, nous constatons qu'il n'y pas une grande différence entre les valeurs du design et les valeurs calculées, ceci nous a permis de dire que la méthode de dimensionnement est vérifiée. Les déshydrateur D301 A/B/C assurent leur rôle dans les conditions du design sans qu'il ait de risque.

## V.3 Calcul du déshydrateur dans les conditions actuelles

La composition du gaz brut a changé depuis le démarrage de l'unité (1987), la quantité des hydrocarbures lourds a légèrement changé. La teneur en eau à l'entrée du sécheur aussi, d'où le nouveau dimensionnement.

### V.3.1 Résultats de calcul obtenus

Un calcul similaire au précédent (vérification du design) a été effectué dans le cas actuel, les résultats sont résumés dans le tableau V.7 :

**Tableau V.7** : Résultats de calcul (cas actuelle)

Paramètres	Résultats
Facteur de compressibilité	<b>0,83</b>
Masse moléculaire (g /mol)	<b>21,41</b>
Densité relative du gaz	<b>0,738</b>
Masse volumique du mélange (kg /m <sup>3</sup> )	<b>62,40</b>
Vitesse superficielle admise (m /min)	<b>6,55</b>
Diamètre (m)	<b>2,58</b>
Epaisseur de déshydrateur (mm)	<b>66,24</b>
Hauteur de la zone de transfert (m)	<b>1,43</b>
Hauteur totale du lit (m)	<b>2,45</b>
Quantité d'eau adsorbée par cycle (kg /lit)	<b>1028,85</b>
Quantité d'eau adsorbée par heure (kg /h)	<b>257,14</b>
Perte de charge totale (bar /Sécheur)	<b>0,25</b>
Débit de gaz de régénération (kg /h)	<b>14323,12</b>
Masse totale du lit (kg)	<b>10423,52</b>
Teneur en eau (lbH <sub>2</sub> O/MMScf gaz)	<b>100</b>

### V.3.2 Comparaison entre les résultats obtenus (actuels) et ceux du design

Le tableau **V.8** représente une comparaison entre les résultats de dimensionnement obtenus dans le cas actuel et ceux du design.

Tableau V.9 : comparaison des résultats actuelle et du design

Paramètres	Design		Actuel
	P. hiver	P. été	
Facteur de compressibilité	0,83	0,80	0,83
Masse volumique du mélange (kg /m <sup>3</sup> )	76,72	84,09	62,40
Masse molaire (g /mol)	21,37	23,01	21,41
Vitesse superficielle admise (m /min)	5,91	4,00	6,55
Densité relative du gaz	0,70	0,79	0,738
Diamètre (m)	2,90	2,85	2,58
Hauteur de la zone de transfert (m)	2,07	2,40	1,43
Hauteur totale de lit (m)	2,56	3,00	2,45
L'Épaisseur de déshydrateur (mm)	93,21	93,20	66,24
Quantité d'eau adsorbée par cycle (kg /lit)	1350,65	1479,25	1028,85
Quantité d'eau adsorbée (kg /h)	337,66	369,81	257,14
Perte de charge totale (bar /sécheur)	0,2195	0,221	0,25
Masse du lit (kg tamis/déshydrateur)	12631,31	13971,44	9423,52
Débit de gaz de régénération (kg/h)	13918	14641	12323,12
Teneur en eau (lbH <sub>2</sub> O/MMScf de gaz)	105	115	100

D'après les résultats obtenus dans le cas actuel on remarque que pour le déshydrateur du gaz associé, il faut un déshydrateur de hauteur de lit totale de 2,45 m et de diamètre de 2,58 m et d'une charge de tamis moléculaire de 9423,52 kg (au minimum), donc dans ces conditions, les déshydrateurs assurant la déshydrations du gaz sans qu'il y'ait de risque.

#### V.4 Optimisation du temps de cycle :

##### V.4.1 Détermination du temps de rupteur (break trough) :

En utilisant l'équation [IV.34] donnant le temps de rupture noté  $T_B$  :

$$\text{Et avec : } \rho_B = 45,62 \text{ lb/ft}^3$$

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

$$h_z = 7,54 \text{ ft.}$$

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

$$q = 10,99 \text{ lbH}_2\text{O}/\text{hr.ft}^2$$

Le temps de rupture sera égal :  **$T_B = 5,78 \text{ h}$**

D'après le résultat obtenu, nous prévoyons un temps de cycle d'adsorption de 6 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.

Conclusion  
Générale  
et  
Recommandations

L'étude de la section du 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 et la charge de tamis moléculaire utilisé, après le dernier changement de tamis (aout 2017), le problème est résolu, mais il reste la question de la durée de vie de la nouvelle charge de l'adsorbant.

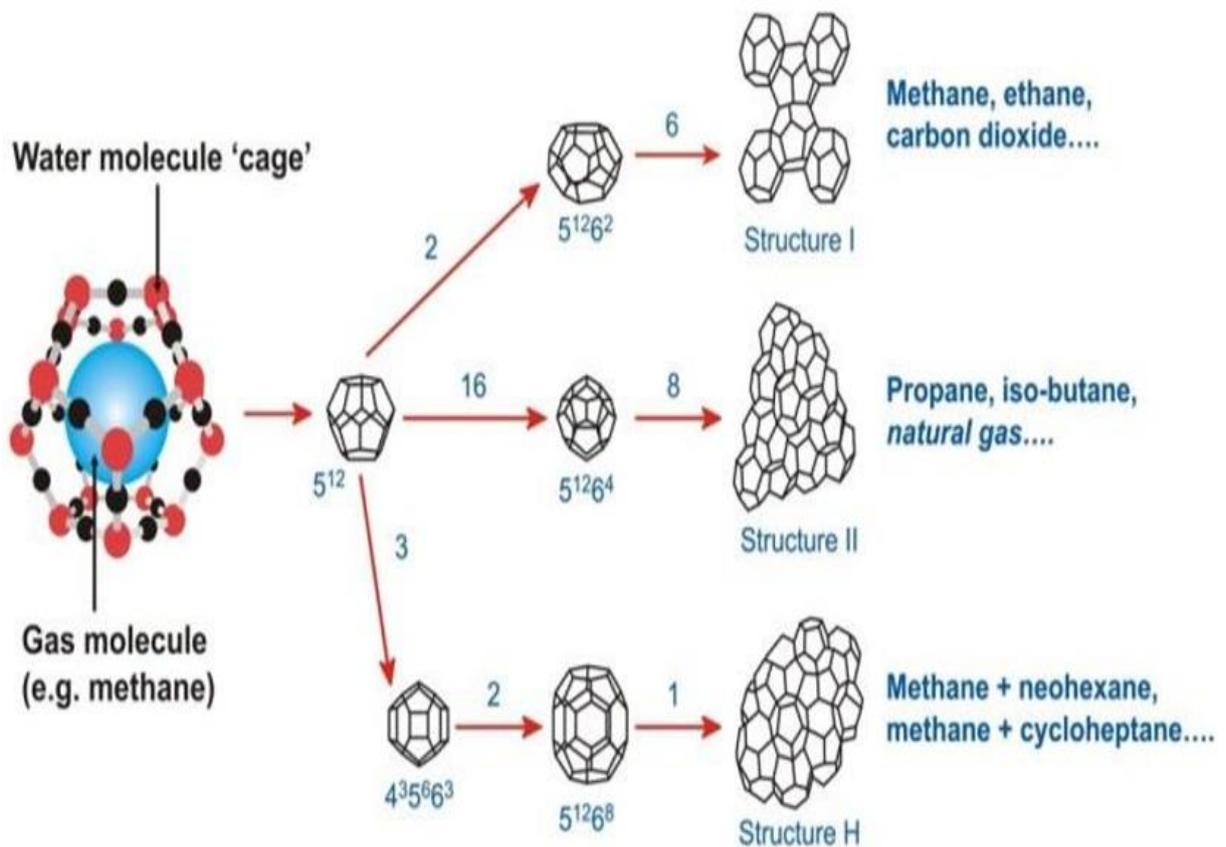
D'après cette étude, pour une meilleure exploitation de tamis moléculaire, il est nécessaire de travailler à une durée de cycle plus longue (cas optimum) afin d'augmenter la durée d'utilisation des tamis, abaisser la température d'alimentation du déshydrateur par l'utilisation de l'aéroréfrigérant, remettre 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.

- [1] : E. Dendy Sloan, C. A. Koh, Clathrate hydrates of Natural Gases, Third Edition, Taylor and Francis Group (2008).p.644-669.
- [2] : Exploration et Production Le Process TOTAL .p.7.
- [3] : 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.
- [4] : F. E. Anderson, and J. M. Prausnitz, Inhibition of Gas Hydrate by Methanol, J. AIChE, Vol. 32, N° 8, p. 1321-1333, 1986.
- [5] : A. Rojey, Le Gas Naturel, Production, Traitement et Transport, Editions Technip, Paris, France (1994). p.70-80.
- [6] : W. P. Maining, H. S. Wood, Guidelines for glycol dehydrator design: partie 1, Hydrocarbon processing, Vol. 72, N° 1, p. 106-114, January, 1993a.
- [7] : Emilion Koller. Aide-mémoire génie chimique.2004.p.363-375.
- [8] : Ralph T. Yang. Adsorbants : Fundamentals And Applications. ISBN 0-471-29741-0 2003.
- [9] : Combell.M. Gaz conditioning and processing ,VOL 2,The equipment modules. p.373-408.
- [10] : Bouazzabia. M, les adsorbants dans l'industrie pétrolière et gazière. IAP : 2004. p-12-15.
- [11] : Manuel opératoire de l'unité U.T.G.A.p20.D-10-1225-116-B.
- [12] : Ambrose. D.Critical properties .Hand book of chrmistry and physics.76th édition.CRC Press, .p.08-18.1996.
- [13] : Gas Processors Suppliers Association. ENGINEERING DATA BOOK. Twelfth Edition – FPS 2004. SECTION 20. 2004
- [14] : Pierre WUITHIER ; « le raffinage et génie chimique » ; tome 2 ; Institut Française du Pétrole ; 1972.

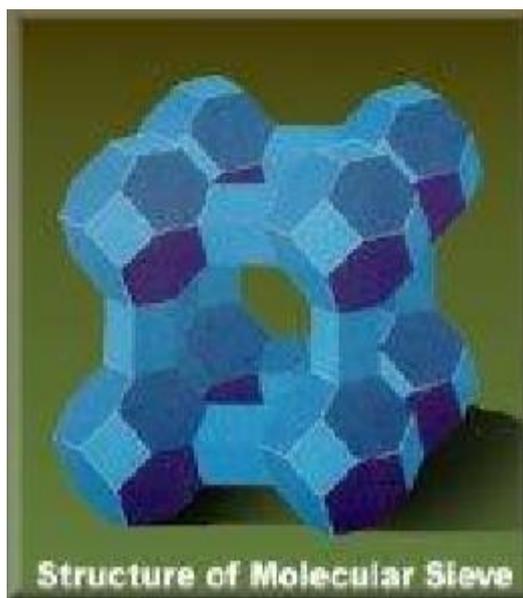
## Annexe



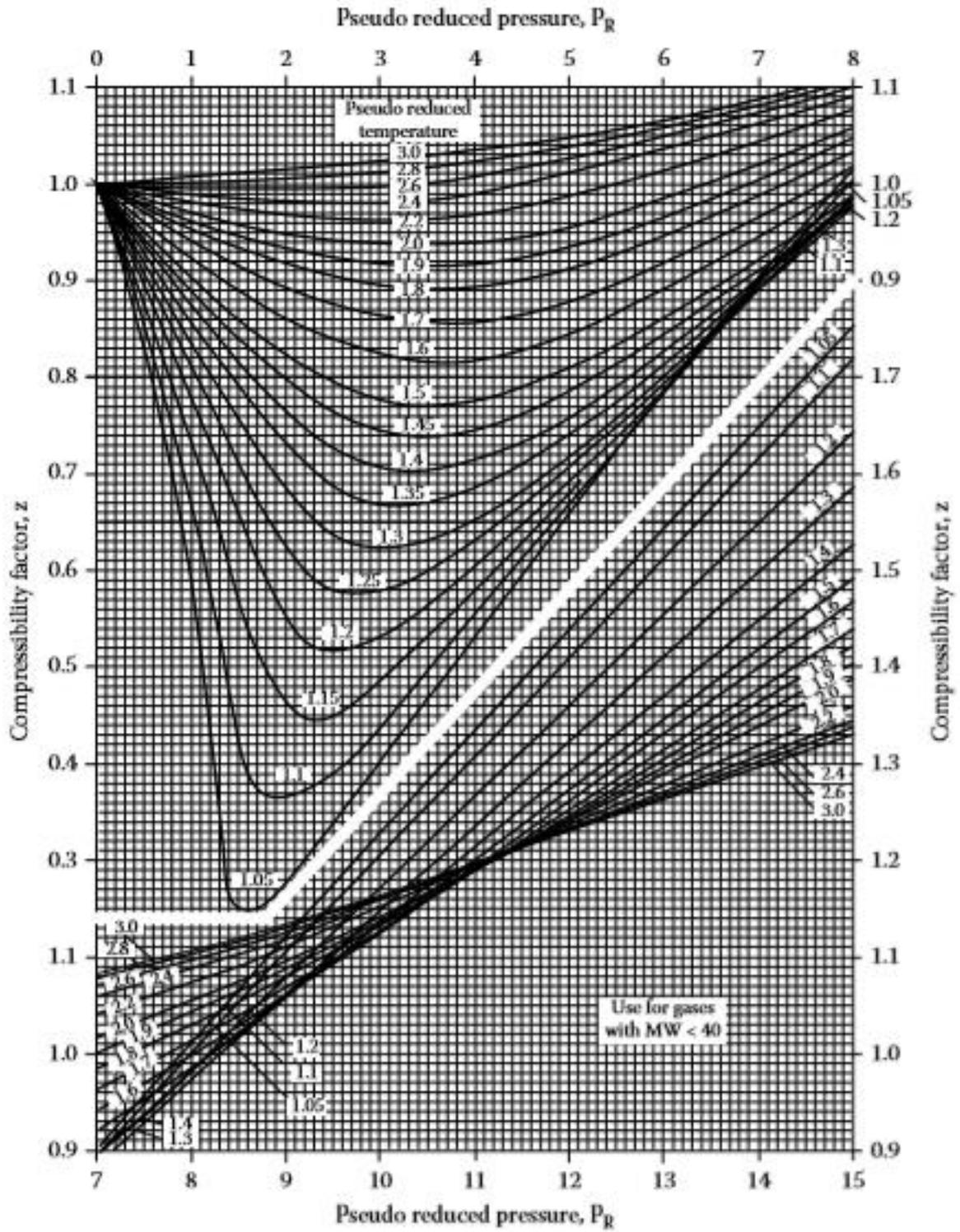
Annexe A [3]



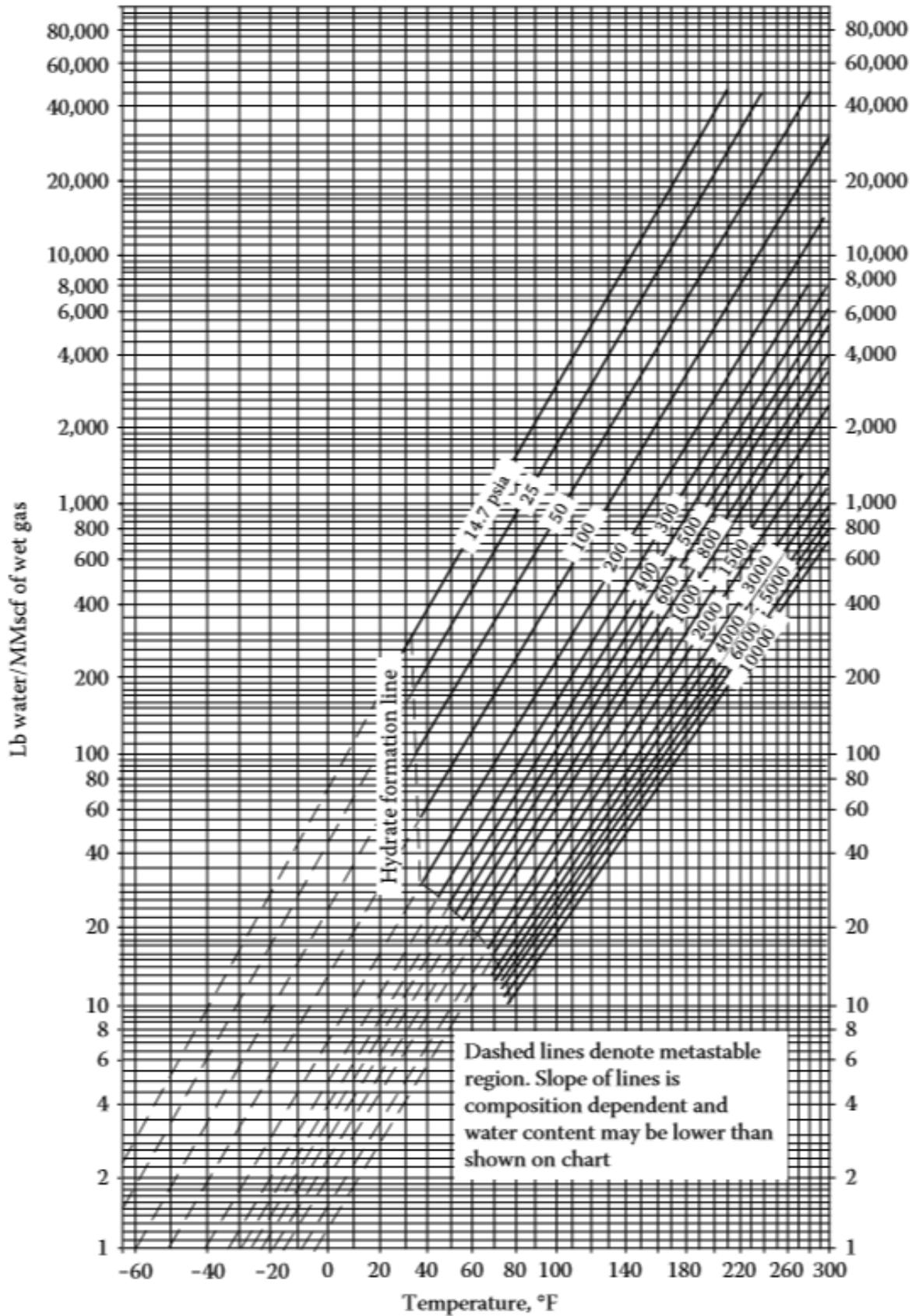
Annexe B [4]



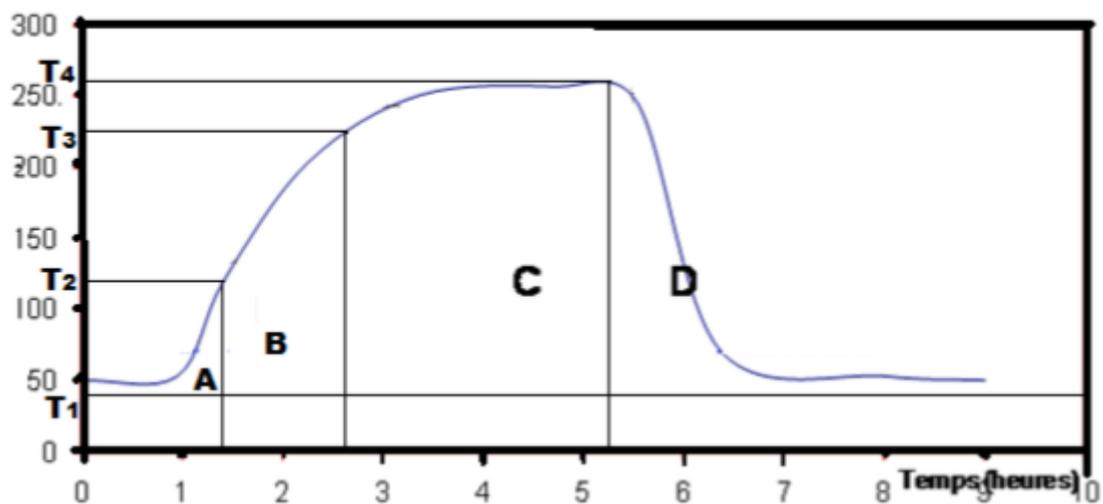
Annexe C [15]



Annexe D [12]



Annexe E [12]



Annexe F [10]

Tableau de conversion

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

Annexe J [12]