

N° d'org :

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Université Kasdi Merbah - Ouargla
Faculté des Sciences Appliquée
Département de Génie des Procédés



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : **Génie des procédés**

Spécialité : **Génie chimique**

Rédigé par : **Aouadi Housseem Eddine**

Thème :

Optimisation de Cycle des Sécheurs

D-301A/B/C de TFT

Soutenu publiquement le : 04 /06/2017

Devant le jury :

SEGNI Ladjel	Professeur	Président	UKM-Ouargla
Mr.SELLAMI Med Hassen	Maitre de Conférences 'A'	Examineur	UKM-Ouargla
Mr. ARBAOUI Nacereddine	Cadre Supérieur à SH	Encadreur	Associé UKM-Ouargla

Année Universitaire : 2016-2017

Remerciements

Premièrement je tiens à remercier notre dieu notre créateur de nous avoir donné la volonté, la santé et la patience pour accomplir ce travail.

Je souhaite encore dire un très grand merci à mon encadreur :

*M. **ARBAOI NASEREDDINE** pour sa participation et ses conseils pratiques et théoriques pour réaliser ce travail.*

Je Tiens A Remercier Les Membres De Jury qui ont Acceptés De Juger Ce Modeste Travail.

JE Tiens Aussi A Remercier Nos Enseignants De Département De Génie Des Procédés Et Tous Les Enseignants De l'université d'Ouargla.

Tout Au Long De Ce Stage, J'ai reçu un Précieux Aide De l'ensemble des Agents et collègues, Et je tiens A Les Remercier.

Merci A l'ensemble Des Travailleurs De l'usine UTGA du TFT Pour leurs Accueil et Gentillesse.

*Je Tiens A Remercier Particulièrement Le Chef Département Exploitation M. **M.BAHLLOL** et l'ensemble des travailleurs du département XP en Particulier M. **FRIFER** et **ABED** et **TAMI** et **HAMAIDI** et **AOUADI** de Leurs Aide pour accomplir ce travail.*

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail A ma très chère maman,
à mon cher père qui n'ont jamais cessé de me soutenir et
de m'encourager, A ma grand-mère que dieu me la
garde, Ainsi à mes frères : Abd el raouf, A ma
sœur Rania, A toute ma famille.*

*A tous mes amis, en particulier, Oussama,
Abdelhadi, Ahmed, Djilali, Omar, Seif Eddine
et Khaled. A toute la promotion de Génie
Chimique 2017 de l'université d' Ouargla*

Houssam Eddine

Sommaire

titre	page
Remerciement	--
Dédicace	--
Liste d'abréviation	--
Liste des figures	--
Liste des tableaux	--
sommaire	--
Introduction générale	02
Chapitre I : Présentation de la région	
I.1 Présentation de la région	13
I.2. Présentation de l'UTGA de TFT	14
I.3. Description de la section de déshydratation du gaz	18
I.4. Cycles de séchage des déshydrateurs de TFT	18
I.5. Schéma de la section de déshydratation	20
Chapitre II : les hydrates et la déshydratation	
II.1. Les hydrates	24
II.2. Formation des hydrates	24
II.3. Structure des hydrates	25
II.4. Facteur favorisant la formation d'hydrate	27
II.5. Conditions de formation des hydrates	27
II.6. Prévention contre la formation d'hydrate	28
II.7. Déshydratation	28
II.8. Types de déshydratation	29
II.9. Procédés de déshydratation	29
II.10. Déshydratation par membrane	29
II.11. Déshydratation par absorption	30
II.12. Déshydratation par adsorption	31
II.13. Les différents types de tamis moléculaires	35
II.14. Adsorption sur les tamis moléculaires	36
II.15. Caractéristiques d'un bon adsorbant	36
II.16. Le choix de l'adsorbant est dicté par	37
II.17. Caractéristiques du procédé d'adsorption	37
II.18. Evolution de la capacité d'adsorption en fonction des paramètres suivants	40
II.19. Avantages et inconvénients des tamis moléculaires	41
II.20. Déshydratation par inhibition	42
Chapitre III : Partie Calcul	
III.1. Vérification du design	44
III.2. Comparaison entre les résultats obtenus et ceux du design	44
III.3. Optimisation du temps de cycle du cas actuel	44

Sommaire

III.4. Période d'hiver	54
III.5. Période d'été	67
III.6. Comparaison entre les résultats obtenus dans les deux cas de fonctionnement (hiver, été) et le design	75
III.7. Recommandations afin d'optimiser les conditions de fonctionnement des sécheurs	85
III.8. Effets de changement des tamis moléculaires 1/16'' par 1/8'' sur le fonctionnement actuel des sécheurs D301A/B/C	87
Conclusion général	92
Bibliographie	
Résumé	

Liste d'abréviation

BP : Basse pression.

HP : Haute pression.

P : Pression de gaz en (psi).

UTGA : Unité de traitement de gaz associé.

A /B : Train de compression

D : Ballon d'aspiration et refoulement

E : Refroidisseur (aéroréfrigérant)

K : Compresseur

KT : Turbine à gaz

H : Réchauffeur (four)

C : Stripper

G : Pompe de drainage

E402 : Echangeur de chaleur gaz /gaz

E403 : Echangeur de chaleur gaz/liquide

D301 A.B.C : Sécheurs de gaz

100 : Section haute pression

200 : Section basse pression

300 : Section déshydratation

400 : Section traitement

Liste des figures

figures	pages
Figure 1 : Schéma simplifié de la production naturelle	04
Figure 2 : Moyens d'activation (récupération secondaire)	05
Figure 3 : Complétion conventionnelle du gaz lift	06
Figure 4 : Evolution de la pression statique en fonction de la profondeur	07
Figure 5 : Schéma synoptique du gaz lift	08
Figure I.1 : Schéma synoptique de l'unité de traitement du gaz associé (UTGA)	14
Figure I.2 : Schéma simplifié de l'unité de traitement du gaz associé (UTGA)	15
Figure I.3 : Cycle complet (Adsorption + Régénération) du déshydrateur D301A/B/C	19
Figure I.4 : Cycle de régénération du déshydrateur D301A/B/C	20
Figure I.5 : Présentation d'une charge du déshydrateur D301	20
Figure I.6 : Schéma interne d'un déshydrateur D301A/B/C	21
Figure II.1 : La forme des hydrates de gaz naturel	25
Figure II.2 : Structures des hydrates (Sloan, 2003)	26
Figure II.3 : Représentation schématique de la déshydratation par membrane	30
Figure II.4 : Evolution de la zone de transfert de matière au cours du temps	36
Figure II.5 : Evolution de la zone de transfert de matière au cours du temps	40
Figure II.6 : Evolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption	40
Figure II.7 : Représentation d'une courbe de perçage	41
Figure III.1 : Evolution de la température du lit du tamis en fonction du temps de régénération	51
Figure III.2 : Schéma du déshydrateur D301A/B/C	60
Figure III.3 : Représentation de la masse utilisée du tamis après le cycle d'adsorption	86
Figure III.4 : Représentation de la masse du tamis en fonction du temps d'adsorption	86
Figure III.5 : Représentation du cycle d'adsorption	87
Figure III.6 : Schéma des tamis avant et après le changement des tamis moléculaires	88

Liste des tableaux

Tableau	Pages
Tableau I.1 : Abréviations et désignations Schéma simplifié UTGA	16
Tableau II.1 : Données cristallographiques sur les hydrates	27
Tableau II.2 : Comparaison entre l'adsorption physique et chimique	32
Tableau II.3 : Caractéristiques générales du Charbon actif	33
Tableau II.4 : Caractéristiques générales Alumine activée	33
Tableau II.5 : Caractéristiques générales Silica-gel	34
Tableau II.6 : Composition chimique du tamis UOP UI 94	34
Tableau II.7 : Caractéristiques de base des tamis moléculaires	35
Tableau III.1 : Composition gaz de la charge "cas hiver"	55
Tableau III.2 : Propriétés critiques du gaz	56
Tableau III.3 : Résultats de calcul (cas hiver)	66
Tableau III.4 : Composition gaz de la charge "cas été"	67
Tableau III.5 : Propriétés critiques du gaz	68
Tableau III.6 : Résultats de calcul (cas été)	74
Tableau III.7 : Comparaison des résultats de dimensionnement avec le design	75
Tableau III.7 bis : Comparaison des résultats cas hiver avec le design	76
Tableau III.8 : Comparaison des résultats de dimensionnement cas été avec le design	76
Tableau III.8 bis : Comparaison des résultats cas été avec le design	76
Tableau III.9 : Comparaison des résultats des temps d'adsorption avec le design	77
Tableau III.10 : Composition gaz de la charge "cas actuel"	77
Tableau III.11 : Propriétés critiques du gaz	78
Tableau III.12 : Résultats de calcul cas actuel	84-85
Tableau III.13 : Comparaison des résultats cas été avec le design	85

L'humanité connaît le pétrole depuis les temps reculés. Est utilisé comme matière de calfeutrage (bouchage) depuis la plus haute antiquité et comme matière calmant à partir du 7^{ème} siècle.

Dès le XVIII^{ème} (18) siècle, « le pétrole lampant » est utilisé pour éclairer les maisons et les rues. Enfin, avec l'apparition à la fin du XIX^{ème} (21) siècle du moteur à explosion, le pétrole devient source de carburants et de lubrifiants pour les divers transports.

A l'heure actuelle, le pétrole est la principale source d'énergie dans la plupart des pays du monde. Les combustibles et les huiles lubrifiantes tirés du pétrole animent les transports sur terre, sur mer et dans l'air.

Le pétrole est aussi utilisé comme matière première dans l'industrie pétrochimique pour aboutir à des dérivés très utilisés dans la vie courante tels que les plastiques, les caoutchoucs, les résines, les fibres artificielles, les bitumes, etc.

Le pétrole est indispensable à notre civilisation, c'est pourquoi il fait l'objet d'une concurrence acharnée entre les plus grands pays producteurs de pétrole.

L'industrie de pétrole s'est donc développée à un rythme très rapide, s'imposant par le fait que le pétrole est une énergie relativement peu coûteuse et sécurisante comparativement aux autres énergies tel que le nucléaire, mais on doit assurer une bonne maintenance des puits et des réservoirs afin d'avoir une production stable.

Au début de la vie du réservoir, le gradient de pression entre la roche réservoir et le sommet du puits est, en général, suffisant pour acheminer via le puits, le pétrole jusqu'à la surface. Par cette technique de récupération est dite récupération primaire on peut extraire 15 à 20 % du pétrole en place (réserve en place ou la réserve prouvée appelée P1 ou P90).

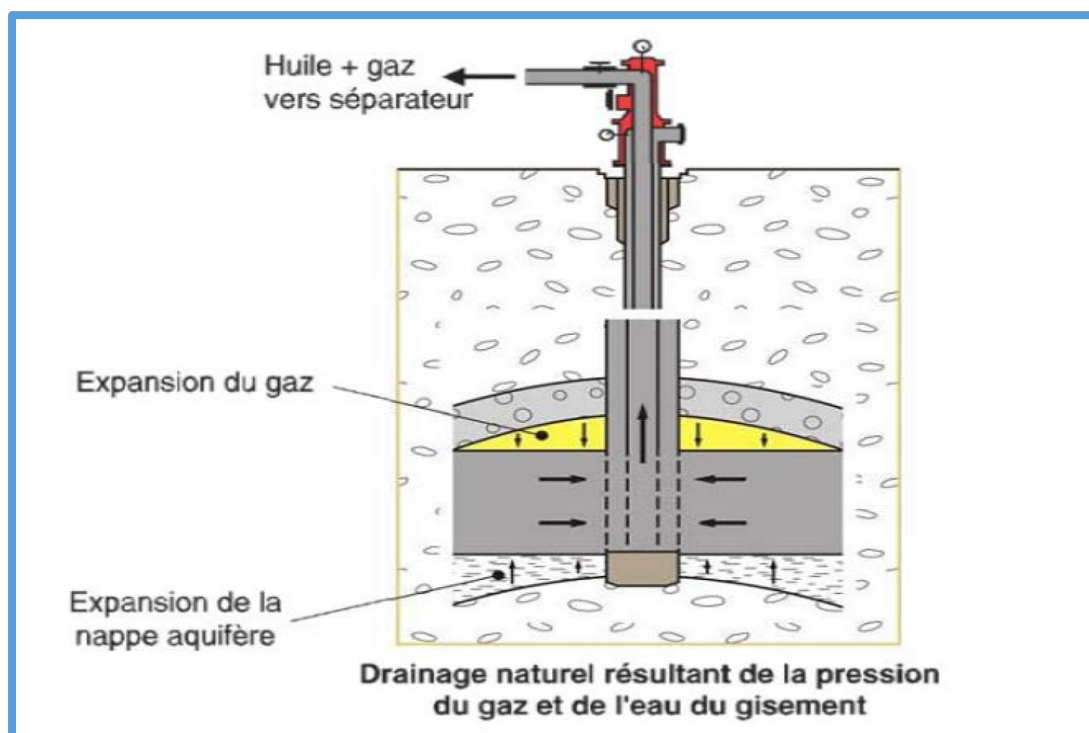


Figure 1 : Schéma simplifié de la production naturelle

Pour assurer une bonne production de pétrole ou maintenir le palier de production, et vaincre la diminution de pression progressive en fonction des années de production, nous sommes obligés de procéder à la récupération secondaire qui s'explique comme suit :

Un puits peut être activé pour produire plus, mais surtout lorsque l'effluent n'a plus suffisamment d'énergie pour accéder à la surface dans les conditions standards de fonctionnement d'un puits qui est de 15°C et 0 bars.

Les causes de la baisse ou parfois l'arrêt de la production d'un puits sont multiples mais on retiendra principalement :

- ☞ La baisse de la pression statique du réservoir,
- ☞ l'augmentation du BSW (pourcentage d'eau dans l'effluent) de manière importante par venue d'eau de formation ou d'eau d'injection.

Dans ces conditions la pression au fond de puits est faible devant la pression de tête, le puits devient inactif.

Pour pallier à cette contre pression au niveau de la colonne de production, nous allons recourir à des moyens afin de baisser cette contre pression par l'injection d'un gaz au

niveau de la colonne de production d'où la récupération secondaire par injection de gaz ou gaz lift

Et ce, pour atteindre le palier de 30 à 35% de pétrole contenue dans le réservoir ou le pétrole en place.

Les principaux moyens d'activation sont présentés ci-après :

- ☞ **Extraction par pompage à l'aide des tiges (SRP).**
- ☞ **Extraction par pompage à l'aide des pompes immergées et électrique.**
- ☞ **Extraction par injection du gaz « gas lift »**

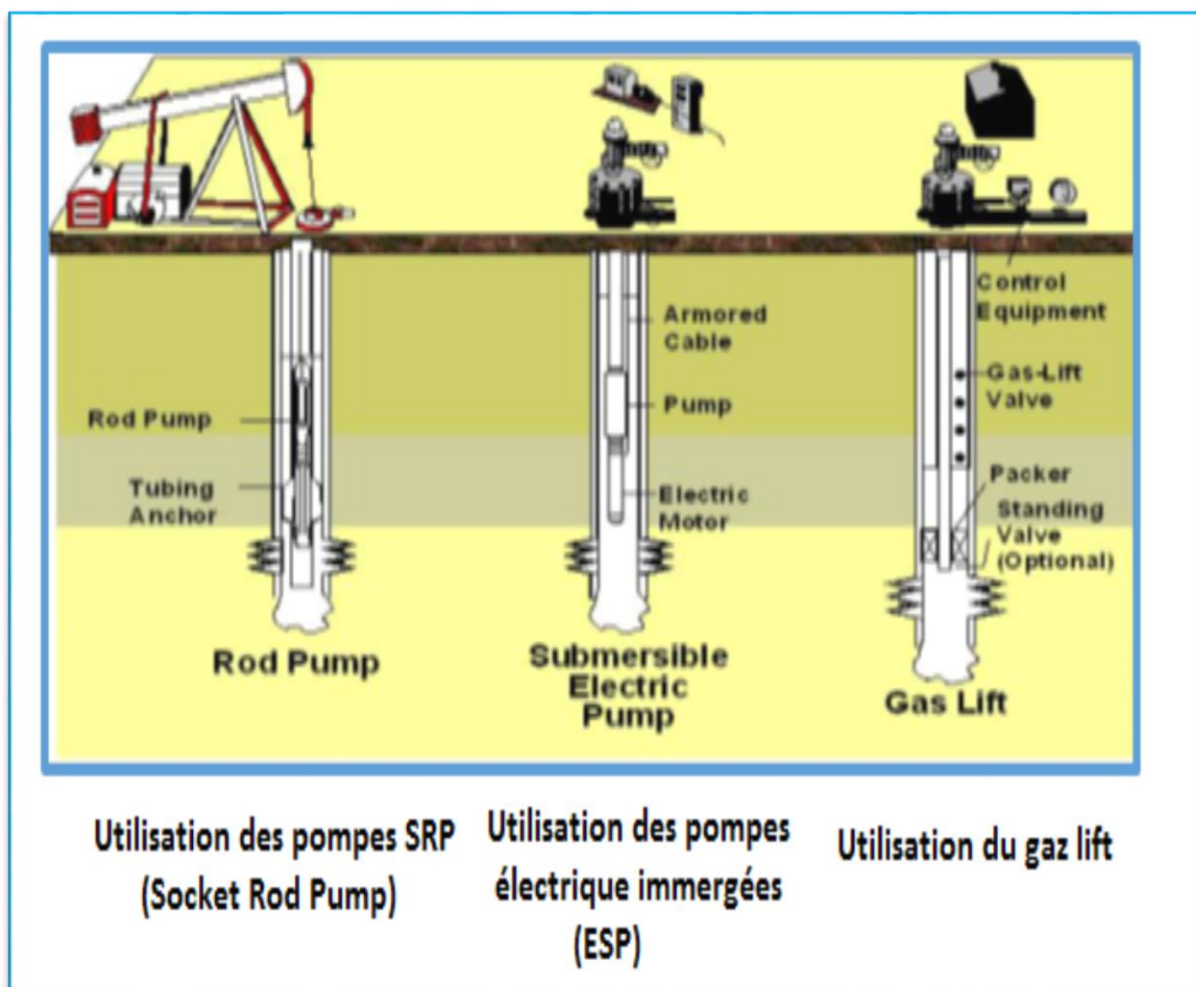


Figure 2 : Moyens d'activation (récupération secondaire)

Parmi les moyens d'activation utilisés à la direction régionale de TFT, on trouve l'utilisation du gaz lift en complétion conventionnel avec injection en continue, cette méthode est appelé extraction par injection de gaz « Gaz lift » comme montré dans la figure suivante.

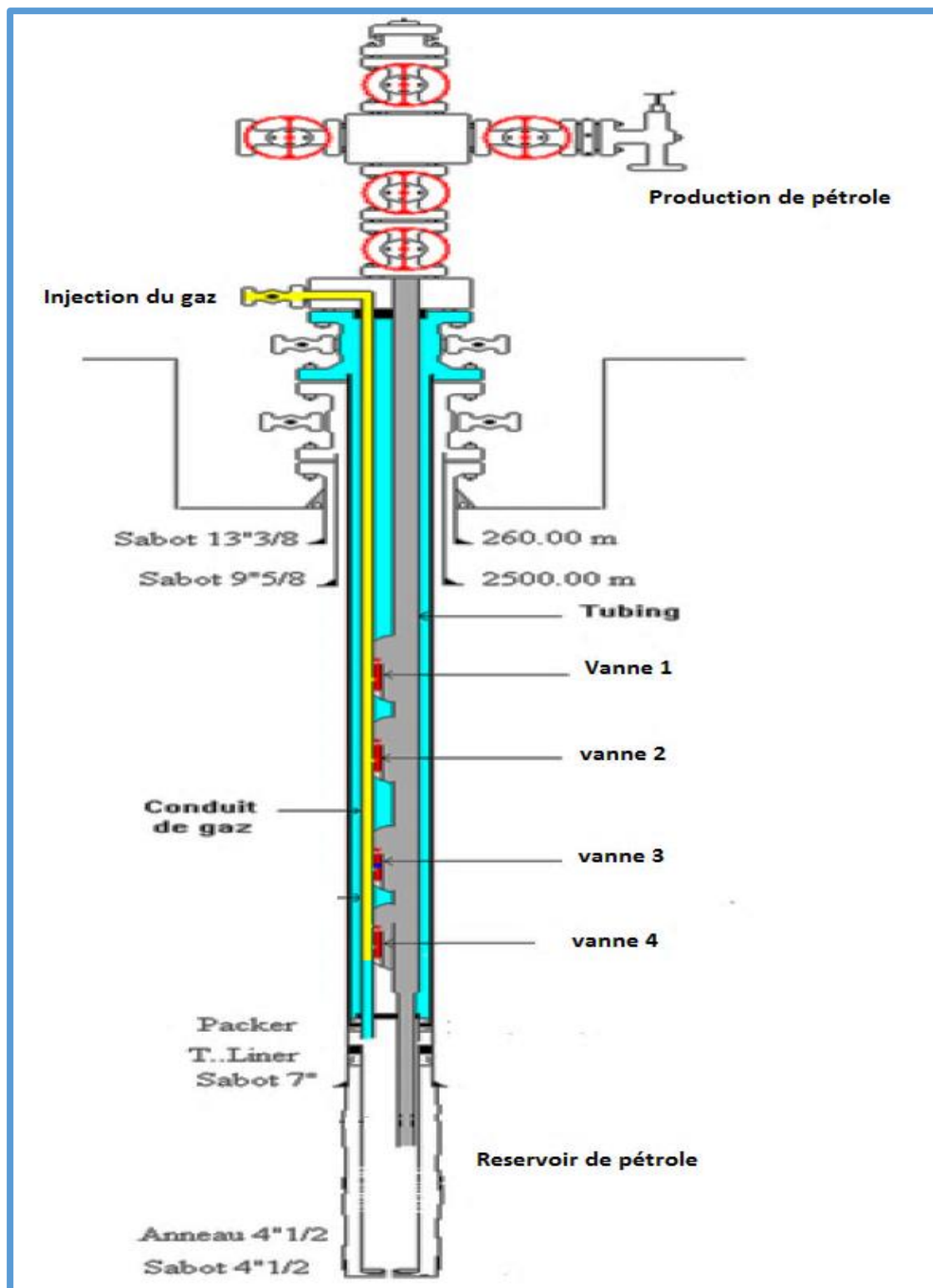


Figure 3 : Complétion conventionnelle du gaz lift

Le principe du gaz lift est l'allègement du poids de la colonne de production par injection du gaz vers le point le plus bas du puits afin d'assurer un bon barbotage interne de la colonne de production.

La figure suivante montre l'évolution du gradient de pression après l'injection du gaz lift.

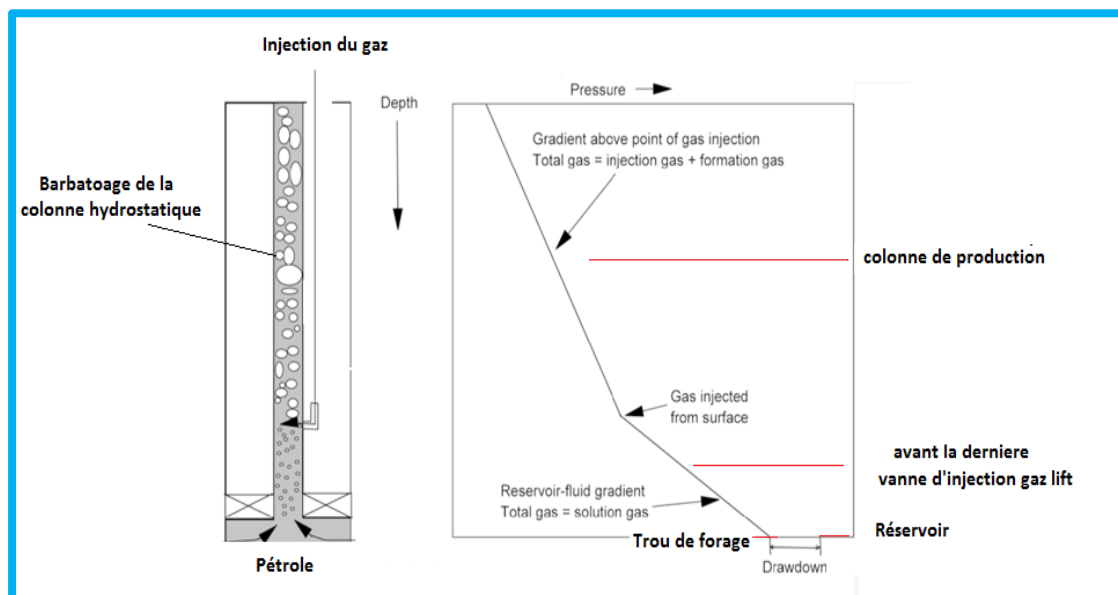


Figure 4 : Evolution de la pression statique en fonction de la profondeur

Le débit injecté est contrôlé en continu et plus précisément au fond du puits à travers les vannes d'injection du gaz lift à l'intérieur de tubing de production.

Le gaz injecté provient soit du gaz de formation du gisement d'huile considéré (gaz associé), soit de puits à gaz voisin.

A la direction régionale de TFT on trouve le gaz qui a servi au gaz lift est récupéré à la sortie des séparateurs après le passage par des phases de traitement, re-comprimé par une batterie de compresseurs et réinjecté dans les puits, comme montré dans le schéma synoptique suivant.

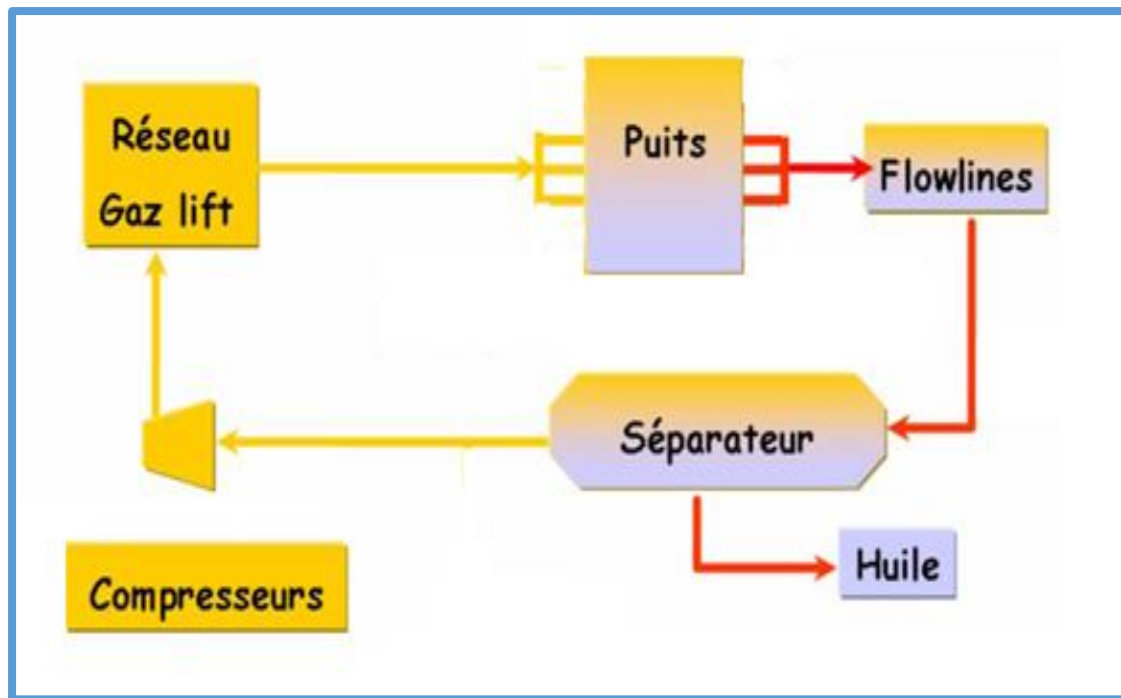


Figure 5 : Schéma synoptique du gaz lift

Donc pour plus de détail nous allons présenter les avantages et inconvénients du gaz lift :

Avantage :

- Flexibilité,
- Investissement faible pour l'équipement du puits,
- Matériel réduit sur le puits en surface,
- Possibilité de traitement du gaz,
- Utilisation possible du gaz produit sur place.

Inconvénients :

- Nécessité d'une source de gaz,
- Problèmes de redémarrage (régimes transitoires),
- Importance des installations de surface (compresseurs destiné au gaz lift),
- Sensibilité du procédé à la pression en tête de puits,
- Problèmes d'hydrates qui nécessitent un traitement spécifique par déshydratation du gaz,
- Installation fonctionne à très haute pression.

A la direction régionale de TFT, le choix du gaz lift comme moyen d'activation des puits a été effectué pour les raisons suivantes (compromis entre les avantages et les inconvénients) :

- ☞ Nature de réservoir de TFT.
- ☞ Disponibilité du gaz associé,
- ☞ Possibilité de traitement du gaz,

La disponibilité du gaz destiné au gaz lift doit répondre aux exigences en termes de teneur en eau, d'où le traitement du gaz associé adéquat avec le procédé de déshydratation par tamis moléculaire est indispensable pour produire un gaz avec une teneur en eau sortie déshydrateur est inférieure à 50 ppm (cas design ou constructeur).

Après la mise en service de l'unité de traitement des gaz associés (UTGA), a été constaté qu'avec les paramètres de fonctionnement des déshydrateurs D301A/B/C actuels favorisent les problèmes suivants :

- ✓ La présence d'eau dans le gaz à la sortie des déshydrateurs.
- ✓ La dégradation du tamis moléculaires 1/16" qui se détruit et se transforme en poussière qui fait boucher les filtres qui se trouvent après la colonne d'adsorption.
- ✓ Nettoyage des filtres parfois chaque deux semaines

Tous ces problèmes ont pour conséquences :

- Chute de production suite à la réduction ou parfois l'arrêt du système du gaz lift.
- Arrêts des puits de production suite au givrage dans le système de gaz lift par la présence d'eau.
- Production gaz de vente hors spécifications en teneur en eau avec un point de rosée très bas suite à la dégradation des tamis moléculaires 1/16"
- Présence d'eau au niveau des lignes d'où on favorise la corrosion des conduites de transport du gaz de vente et gaz lift.
- Augmentation de la fréquence de changement des tamis moléculaires (design prévoit 3 ans).

Cette problématique va engendrer un problème majeur de fonctionnement de l'unité de traitement des gaz associés (UTGA), qui est la perturbation du cycle d'adsorption design.

Le cycle d'adsorption design prévoit un temps de cycle de 12 heures pour produire un gaz sorti des déshydrateurs inférieur à 50 ppm. Le Cycle d'adsorption se compose comme suit :

- ➔ Adsorption : 4heures
- ➔ Chauffage : 3heures 45min
- ➔ Refroidissement : 3heures 45min
- ➔ Stand-by : 30 minutes

Donc pour palier à cette situation dangereuse en termes de sécurité des équipements (suite présence d'eau) et chute de production (pression de gisement < à la pression hydrostatique de la colonne de production), nous allons contribuer à résoudre le problème de la façon suivante :

- ✚ L'optimisation des paramètres de fonctionnement de la section de déshydratation du gaz de TFT, afin d'avoir une meilleure exploitation des tamis moléculaires.
- ✚ De voir la possibilité de changement des tamis moléculaire de 1/16'' par 1/8'', afin d'arrêter le problème de dégradation des tamis 1/16'' et de réduire la fréquence de changement des filtres V301A/B.

Ce travail va représenter une contribution à la problématique actuelle de la direction régionale de TFT, afin :

- ☞ D'avoir une meilleure exploitation de tamis moléculaire,
- ☞ D'augmenter la durée d'utilisation des tamis moléculaires, c'est-à-dire réduire la fréquence de changement des tamis moléculaire et la fréquence de nettoyage des filtres V301A/B/C en aval des déshydrateurs D301A/BC.
- ☞ D'avoir une production très stable en huile suite au fonctionnement continu de l'UTGA.

Donc notre étude qui a pour thème « Optimisation des paramètres de service de la section de déshydratation du gaz de TFT ». Cette étude représente une contribution à la solution de la problématique de TFT.

Notre étude consiste à :

- 1- Une recherche bibliographique des tamis utilisés à TFT.
- 2- Vérification de design des déshydrateurs pour les deux périodes de fonctionnement (été & hiver).

- 3- Comparaison des résultats avec le design donnée par le constructeur.
- 4- Calculs des sécheurs avec les conditions de fonctionnement actuelles de fonctionnement.
- 5- Calcul des temps de cycle des sécheurs D301A/B/C.
- 6- Discussion des résultats.
- 7- Effet de changement des tamis moléculaires 1/16'' par 1/8'' sur le fonctionnement actuel des sécheurs D301A/B/C, afin d'éviter la dégradation des tamis 1/16'' et réduire la fréquence de changement des filtres V301A/B.
- 8- A la fin on termine avec des recommandations et conclusion afin d'assurer la continuité de service des installations de l'unité de traitement des gaz associés dont le but d'avoir une production stable en pétrole.

Donc notre méthode de travail englobe un calcul de vérification du dimensionnement des sécheurs avec les conditions actuels de service avec utilisation des méthodes analytiques appliquées pour le calcul des sécheurs.

Chapitre I

Présentation de la Région TFT

I.1. Présentation de la région :

La région de Tin Fouyé Tabenkort (TFT) se situe à 1400 km au sud-est d'Alger et 540 km du Chef-lieu de la wilaya d'Illizi. La région de TFT se trouve sur la partie Ouest du plateau de Tin-Hert, dans la Commune de Bordj Omar Driss, sur la route nationale N°3 reliant Hassi- Messaoud et In Amenas.

Le réservoir de TFT ordovicien (2000m) produit la plus grande partie de la production de la région de TFT. Son exploitation a commencé en novembre 1968.

En raison de la diminution de la pression de gisement conduisant à l'épuisement de l'énergie du réservoir, le projet de maintien de pression a été introduit en 1980 sur TFT ordovicien les résultats ont commencé à se manifester à partir de 1984.

Après la mise en service de l'injection d'eau à TFT, les puits d'huile proche des injecteurs d'eau sont envahis par l'eau, au fur à mesure que le front d'eau avance.

Dans le but d'augmenter du 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.

Plusieurs techniques de récupération d'huile ont été utilisées dans la région de TFT : récupération primaire (puits éruptif), et récupération secondaire (gaz-lift, maintien de pression par injection d'eau et pompage électrique).

Donc le maintien de pression de la région est assuré par une injection d'eau et une activation des puits par le gaz lift.

La production de la région est traitée par cinq (5) centres satellites (CS) de séparation (eau, huile, gaz) dénommés CS (1, 2,3,4 et5), ainsi que les centres de Tamendjelt, Amassak, Djoua, et un centre de stockage principale et d'expédition d'huile vers Haoud el Hamra via Tin- Fouyé.

La région de TFT se compose de plusieurs centres satellites et un centre principal présenté par une unité de récupération et traitement du gaz associés qui est en service depuis 1986.

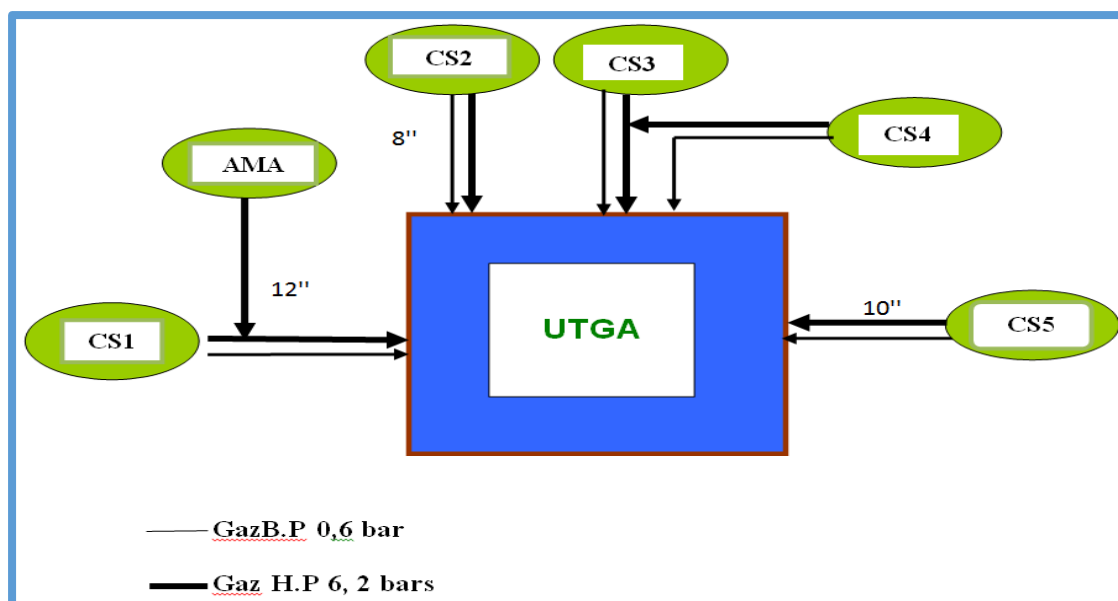


Figure I.1 : Schéma synoptique de l'unité de traitement du gaz associé (UTGA)

I.2. Présentation de l'UTGA de TFT :

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

La figure 2 représente un schéma simplifié du process de l'unité (UTGA).

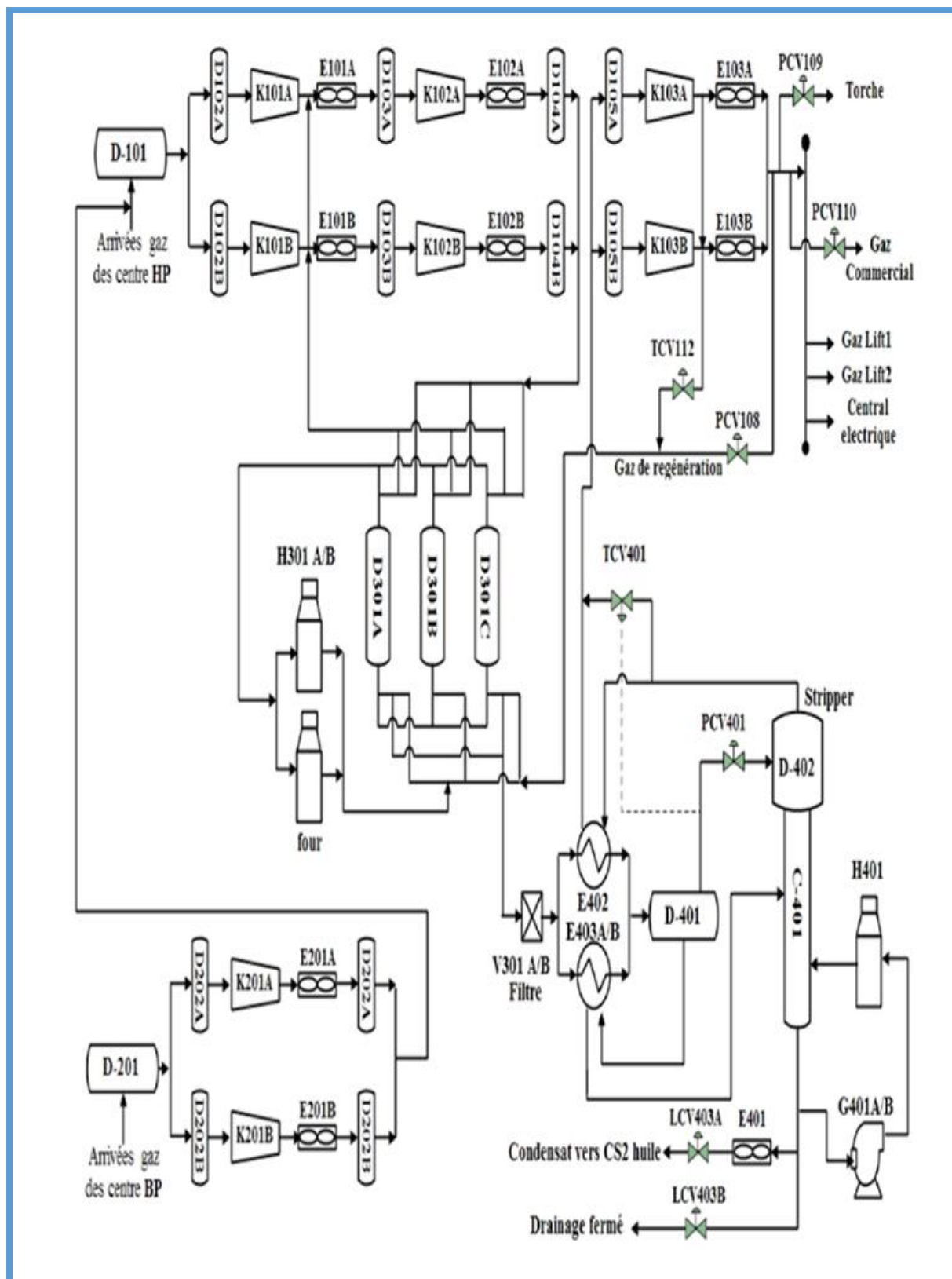


Figure I.2 : Schéma simplifié de l'unité de traitement du gaz associé (UTGA) [4]

Abrévi- -ation	Désignation	Abrévi- ation	Désignation
A/B	Train de compression	H	Réchauffeur (four)
D	Ballon d'aspiration et refoulement	C	Stripper
E	Refroidisseur (aéroréfrigérant)	G	Pompe de drainage
K	Compresseur	E402 et E403	Echangeur gaz /gaz et gaz liquide
KT	Turbine à gaz	D301A/B/C	Sécheurs de gaz
100	Section haute pression	300	Section basse pression
200	Section basse pression	400	Section traitement

Tableau I.1 : Abréviations et désignations Schéma simplifié UTGA. [4]

L'unité de TFT (UTGA) est composée de deux trains de traitement et conçue pour le traitement du gaz associé avec une alimentation en gaz HP de pression 6 kg/cm².

Et un gaz BP de 0,6 kg/cm²

La capacité design de traitement de l'UTG est de 4.4 millions Sm³/j Soit 2,2 millions Sm³/j par train, afin de produire :

- 3 millions Sm³ /j avec une pression de 80 kg/cm² du gaz de vente ou gaz commercial destiné à l'expédition dans le gazoduc 48'' reliant Alrar et Hassi R'mel.
- 1,4 millions Sm³ /j du gaz destiné au gaz lift de la région,
- Hiver : 170 tonnes/j - Eté : 500 tonnes/j. du condensat (C₅⁺)

L'unité de traitement du gaz associé se compose des sections suivantes :

- ☞ Une section de réception des gaz HP et BP,
- ☞ Une section de compression HP (section 100),
- ☞ Une section de compression du gaz BP (section 200),
- ☞ Une section de déshydratation (section 300),
- ☞ Une section de traitement du gaz (section 400).

I.2.1. Section réception gaz :

Les gaz haute pression et basse pression arrivent respectivement dans les ballons D101 et D201 aux pressions de 6,2 kg/cm² et 0,8kg/cm², afin d'extraire le maximum de condensat pour produire un gaz destiné au gaz lift. [4]

I.2.2. Section compression basse pression :

Elle comprend 2 unités de compression BP comportant chacune un compresseur centrifuge, un aéroréfrigérant et un ballon de récupération d'eau. Elle a pour fonction comprimer le gaz de la pression de 0,6 kg/cm² à 6,2 kg /cm², afin de prévoir son mélange avec le circuit du gaz haute pression HP. [4]

I.2.3. Section compression haute pression :

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

- Assurer une compression adéquate dans le 1^{er} et le 2^{eme} étage de la compression de la pression de 6.2 kg/cm² à 81.6 kg/cm² du gaz HP pour passer vers la section de déshydratation du gaz.
- Assurer une compression parfaite du gaz issu de l'unité de traitement du gaz au niveau du 3^{eme} étage de compression de la pression de 22 kg/cm² à 82 kg/cm² afin de prévoir son utilisation comme gaz lift et une partie du gaz qui sera destinée à la régénération des sécheurs du gaz et le débit excédentaire du gaz sera envoyé vers le gazoduc Alrar-Hassi R'mel. [4]

I.2.4. Section de déshydratation :

La section de déshydratation est de réduire la teneur en eau jusqu'à un ordre inférieur à 1ppm, elle se compose de 3 sécheurs á tamis moléculaire type 4 A°. [4]

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

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

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

I.2.5. Section de traitement du gaz :

La section de traitement du gaz est conçue pour le traitement du gaz à travers le stripper qui doit assurer une extraction parfaite et adéquate des condensats (C5+) et assure la stabilisation des condensats pour prévoir le mélange du condensat produite avec le pétrole brut produit localement à TFT au CS2.

Le gaz traité est envoyé vers le compresseur 3^{ème} étage où il est dispatché en plusieurs utilisations (gaz lift, gaz régénération et gaz de vente). [4]

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

La déshydratation se fait à travers le sécheur au niveau de la zone de séchage composée par deux lits à tamis moléculaire type 4Å, afin de fournir un gaz à moins de 1ppm de concentration en eau pour prévenir toute congélation dans la section froide et éviter la formation d'hydrate aux niveaux des lignes et des puits en complétion gaz lift et plus précisément à travers les vannes de détente de gaz lift.

L'opération de séchage se fait d'une manière automatique sous le contrôle des analyseurs en ligne qui contrôlent la teneur en eau à la sortie de la section de déshydratation.

L'automatisme des sécheurs est assuré par une séquentielle électronique (automate programmable) qui agit sur un système de vannes programmées pour permettre aux vannes d'intervenir durant le cycle de séchage et d'utiliser la vanne la plus adéquate à ce cycle d'adsorption ou de régénération.

Le gaz de régénération provenant de la section de compression 3^{ème} étage passe à travers les sécheurs pour restitué la capacité d'adsorption des tamis moléculaires 4 Å, puis recyclé vers le refoulement du 1^{ère} étage de la compression en amont des aéroréfrigérants E101A/B, afin d'éliminer l'eau extrait des tamis au niveau des ballons D103A/B. [4]

I.4. Cycles de séchage des déshydrateurs de TFT :

Le cycle de séchage se compose de :



Le cycle de séchage est comme suit :



Figure I.3 : Cycle complet (Adsorption + Régénération) du déshydrateur D301A/B/C

I.4.1. Adsorption :

Une opération qui dure 4 heures, elle est réalisée en haute pression 80.6 kg/cm^2 . Le gaz provenant de la compression 2^{ème} étage (k102A/B) est dirigé par l'intermédiaire des vannes d'adsorption sur le sécheur en question (ex : XV302/303 A. Sécheur D-301A). Une fois le gaz débarrassé de son eau, il est envoyé vers la section traitement en transitant par les filtres V301A/B. [4]

I.4.2. Chauffage :

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

I.4.3. Refroidissement :

Elle se déroule en 3 heures et 45 minutes, le gaz utilisé provient du gaz traité de la commercialisation où il est détendu à une pression de 32 kg/cm^2 , par la vanne automatique PCV101. Un piquage de gaz est réalisé en amont de l'aéroréfrigérant E-103A/B et en aval de la PCV101 pour maintenir la température du fluide de refroidissement à 50°C grâce à la TCV102. [4]

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

NB :

☞ **Système de pressurisation /dépressurisation sécheurs :**

A chaque fin de cycle et pour permettre aux sécheurs de travailler dans leurs conditions (adsorption : 80.6 kg/cm^2 , refroidissement /régénération : 30 et $28,5 \text{ kg/cm}^2$.), un système de vannes est prévu dans ce sens. [4]

Le cycle de régénération des déshydrateurs D301A/B/C est comme suit :

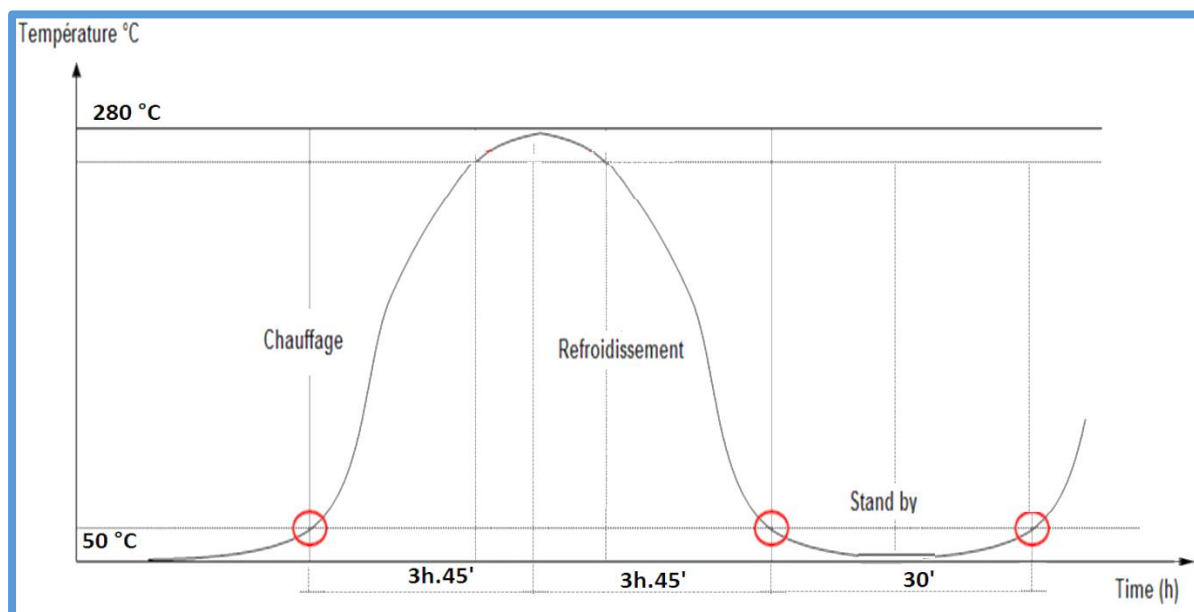


Figure I.4 : Cycle de régénération du déshydrateur D301A/B/C

I.5. Schéma de la section de déshydratation :

La figure 5 représente les différents types de tamis et billes en céramique utilisés à la section de séchage (300) de TFT et plus précisément au niveau de l'unité de traitement du gaz associé (UTGA).

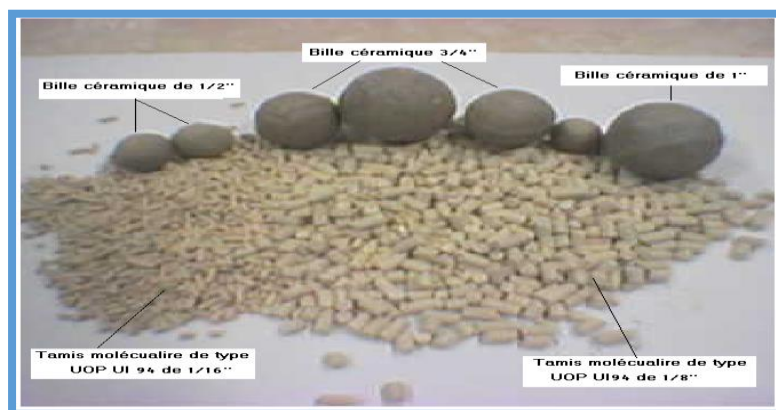


Figure I.5 : Présentation d'une charge du déshydrateur D301

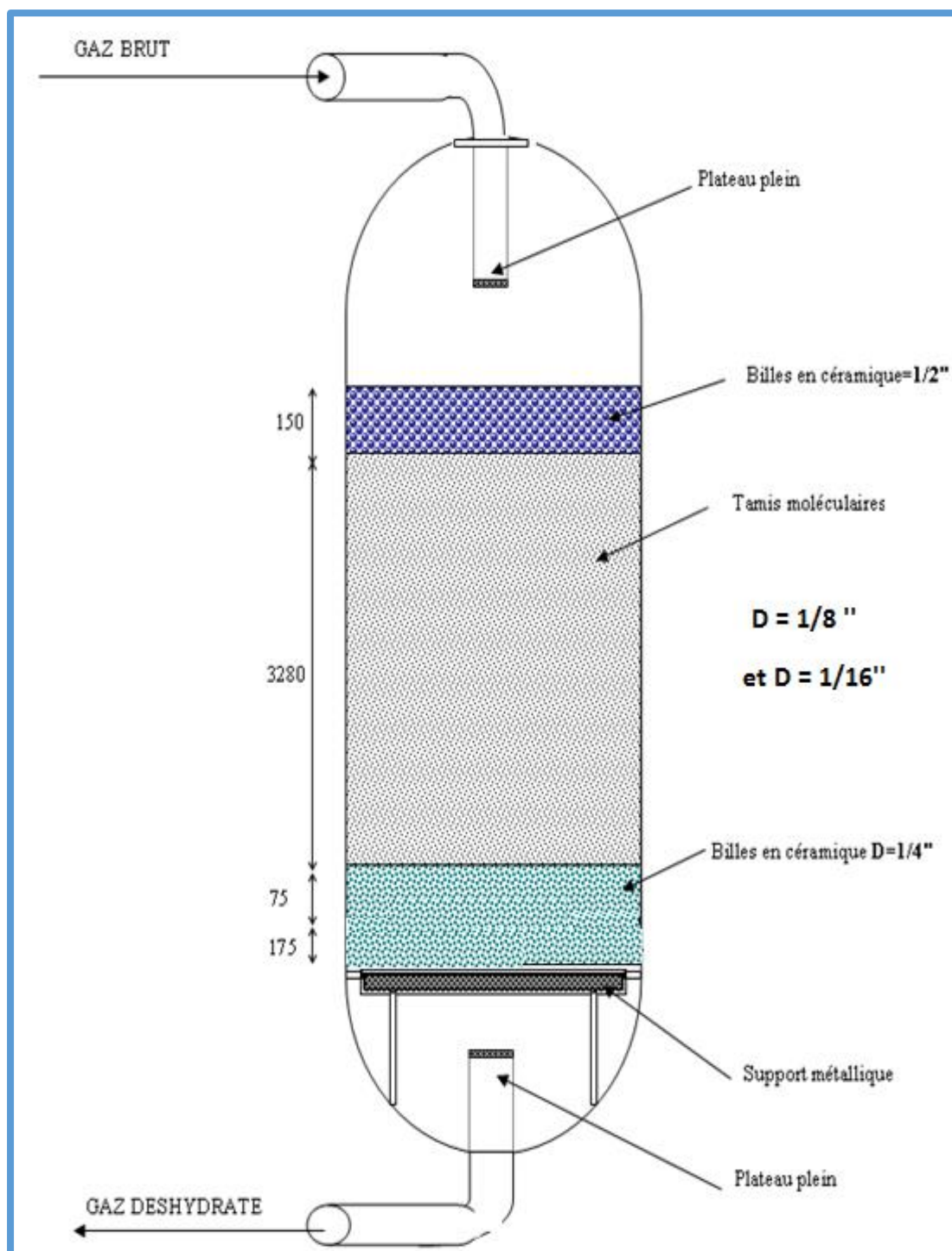


Figure I.6 : Schéma interne d'un déshydrateur D301A/B/C

I.5.1. Rôle des billes céramiques :

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

I.5.2. Rôle des billes céramiques de la Partie basse du sécheur :

Les billes céramiques ($\frac{1}{4}$) constituant un support du tamis moléculaire et lui évite son passage à travers les grilles lors de l'adsorption. L'adsorption et l'acier ont des coefficients différents ce qui engendrera un broyage et une formation des poussières durant le cycle de régénération. La poudre des tamis ainsi formée colmatra les ouvertures des grilles d'où il va en résulter une diminution du débit et création de tuyères à gaz qui vont créer un passage préférentiel du gaz érodant gravement le tamis. Avec une régénération ascendante, cette couche de billes céramique réalise avec une amélioration de la distribution gazeuse surtout si la pression différentielle du tamis est importante.

I.5.3. Rôle des billes céramique de la partie haute de sécheur :

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

Les billes céramiques jouent un rôle de supports, de protecteur, de diffuseur de gaz et n'interviennent pas dans le phénomène d'adsorption qui est assuré par les tamis moléculaire (de diamètre $\frac{1}{16}$ et $\frac{1}{8}$ ”).

Chapitre II

Les Hydrates et la Déshydratation

Dès le début de siècle, l'exploitation du gaz associé s'est heurtée à des difficultés liées au bouchage des canalisations par les dépôts de cristaux surtout lors de la très basse température issue d'un refroidissement très poussée ou par des détentes du gaz à travers des vannes. Après analyse de la situation les cristaux sont constitués par des molécules d'eau et des molécules de gaz en formant l'hydrate qui à une forme solide mais toujours amorphe.

Lors des opérations de traitement ou de transport du gaz naturel, la présence d'eau (sous forme liquide ou en phase vapeur), même en très faible quantités (quelques dizaines de ppm molaire), peut entraîner la formation d'hydrates provoquant le colmatage des conduites de gaz. Notons que les conditions de transport du gaz pour différents usages, sont favorables pour la formation d'hydrates. Une déshydratation du gaz naturel est donc nécessaire avant son utilisation comme le cas de gaz lift ou son transport pour un éventuel traitement.

II.1. Les hydrates :

Un hydrate est une combinaison physique de l'eau et d'autres molécules de gaz produisant un solide qui a une apparence semblable à celle de la glace ou de la neige, mais de structure différente de celle-ci, il flotte sur l'eau et sa masse volumique est comprise entre 880 et 900 kg/m³.

II.2. Formation des hydrates :

En présence d'un gaz léger, les molécules d'eau peuvent former une structure cristalline régulière comprenant des cavités ou cages dans lesquelles 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 Van-Der-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. [1]

Les hydrates de gaz se forment à des températures supérieures à 0°C et à des pressions élevées.

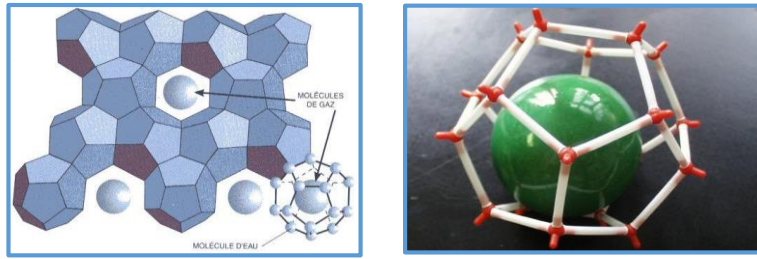


Figure II.1 : La forme des hydrates de gaz naturel.

II.3. Structure des hydrates :

Structures cristallines qui composent des cavités ou des cages, dans lesquelles pénètrent des Molécules de gaz (molécules piégées).

Les hydrates se présentent sous formes cristallines différentes, où le réseau Cristallin est dû aux liaisons hydrogène et il est stabilisé par les molécules de gaz, qui sont elles-mêmes retenues dans les cages par des forces de Van Der Waals.

Trois structures différentes du réseau cristallin, appelées structure **I**, Structure **II** et Structure **H** ont été mis en évidence par diffraction des rayons x sur les hydrates à l'université de Bonn.

L'interprétation des expériences de diffraction de Von Stackelberg (1949, 1954 et 1956), Von Stackelberg et Mueller (1951a et 1951b), Claussen (1951a et 1951b) et Pauling et Marsh (1952) a conduit à la détermination de deux structures d'hydrates. La structure cubique I (SI) et la structure cubique II (SII). Une troisième structure d'hydrates, la structure hexagonale H (SH), a été récemment découverte par Ripmeester et al. (1987). Les répulsions des formateurs d'hydrates vis-à-vis des molécules d'eau expliquent ces trois formes cristallines différentes. L'ensemble des structures est représentées à la figure 2 suivante. [1]

II.3.1. Structure I (sI) :

La maille élémentaire de la structure sI est un cube de 12Å de paramètre, composé de 2 petites cavités à 12 faces pentagonales (5^{12}) et 6 grandes cavités à 12 faces pentagonales et 2 faces hexagonales ($5^{12}6^2$).

La maille élémentaire de la structure sI est composée de 46 molécules d'eau d'où la nomenclature suivante : **2M1 6M2 46H₂O**

- **M1** désigne une molécule occupant les cavités 5¹²
- **M2** désigne une molécule occupant les cavités 5¹² 6² .[1]

II.3.2. Structure II :

Le cristal unitaire de cette structure est composé de 136 molécules d'eau mélangée avec les hydrocarbures : propane, isobutane, n-butane.

Structure II : 16M₁ 8M₃ 136H₂O.

Ou : M₃ représente les huit grandes cavités (polyèdres constitués de 12 faces pentagonales et de hexagonales et référencées (5¹² 6⁴))

II.3.3. Structure H (sH) :

La maille élémentaire de la structure sH est composée de :

- 3 cavités à 12 faces pentagonales (5¹²).
- 2 cavités à 3 faces carrées, 6 faces pentagonales et 3 faces hexagonales (4³ 5⁶ 6³).
- 1 cavité à 12 faces pentagonales et 8 faces hexagonales (5¹² 6⁸).

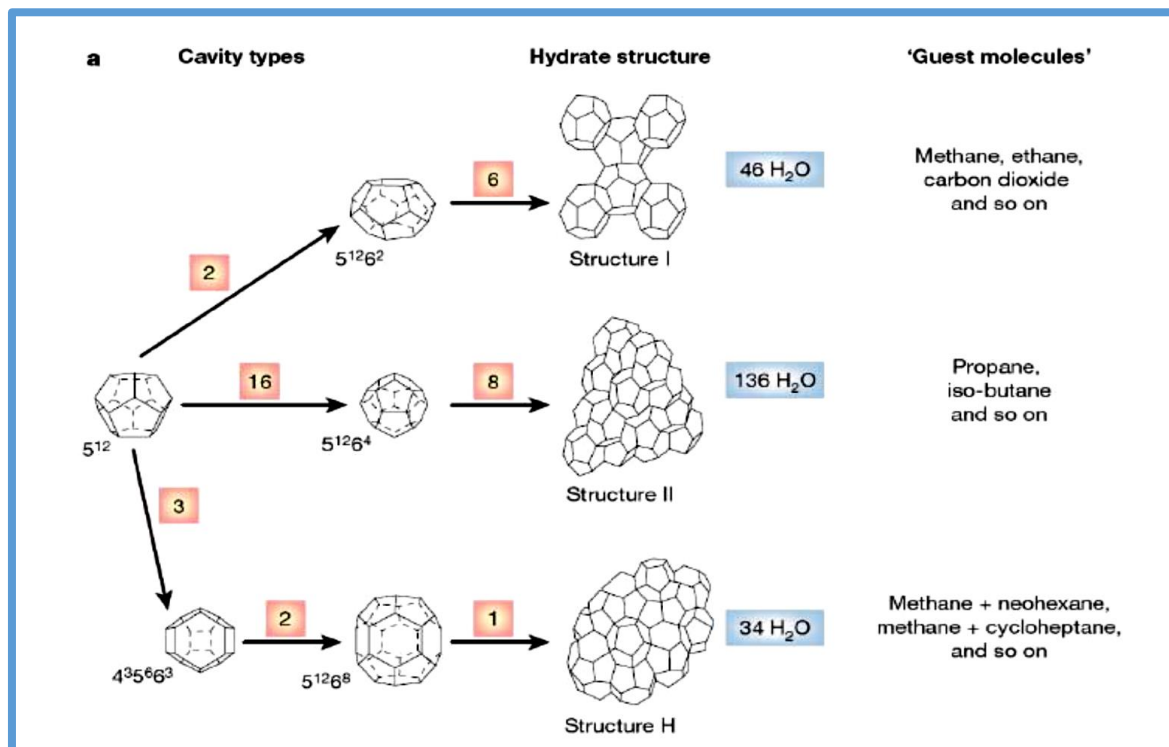


Figure II.2 : Structures des hydrates (Sloan, 2003)

Le tableau suivant résume les données cristallographiques des trois structures.

Structure d'hydrate	SI		SII		SH		
Type de cavité	5^{12}	$5^{12}6^2$	5^{12}	$5^{12}6^4$	5^{12}	$4^35^66^3$	$5^{12}6^8$
Nombre de coordinations totales (Z)	20	24	20	28	20	20	36
Nombre de cavités/unités d'hydrates	2	6	16	8	3	2	2
Nombre de cavités/nombre de molécules d'eau (v_m)	1/23	3/23	2/17	1/17	3/34	2/34	1/34
Nombre de molécules d'eau/unités d'hydrates	46		136		34		
Type du cristal	Cubique		Cubique		Hexagonale		
Taille du réseau (A)	12		17,2		a = 12,26 c = 10,17		

Tableau II.1 : Données cristallographiques sur les hydrates

II.4. Facteur favorisant la formation d'hydrate : [1]

- Les basses températures.
- Les hautes pressions.
- La turbulence d'écoulement.

II.5. Conditions de formation des hydrates : [1]

Il y a formation d'hydrates lorsque les conditions suivantes sont simultanément réalisées :

II.5.1. Présence d'eau liquide :

Un gaz naturel saturé ou non en eau ne donne pas lieu à la formation d'hydrates. Celle-ci ne peut intervenir qu'en présence d'eau liquide par exemple libérée par le gaz au cours d'un changement des conditions de pression ou de température

II.5.2. Présence d'hydrocarbures légers :

Seuls les quatre premiers hydrocarbures (méthane, éthane, propane, butane) sont susceptibles de former des hydrates en présence d'eau liquide. A ce jour, on n'a jamais

mis en évidence la formation d'hydrates de Pentane et d'homologues supérieurs. D'autres corps tels que le gaz carbonique ou l'hydrogène sulfuré peuvent également former des hydrates avec l'eau.

NB : Réalisation de certaines conditions de température et de pression :

En plus des conditions précédentes, pour que les hydrates puissent se former, il faut pour un gaz donné que la pression soit suffisamment élevée et la température suffisamment basse.

II.6. Prévention contre la formation d'hydrate : [1]

- Réduction de la pression de service, ceci n'est pas possible car au cours de sa détente, sa température chute en favorisant la formation des hydrate ceci nécessite l'injection des inhibiteur.
- Augmentation de la température au-dessus de celle du début de formation d'hydrates.
- Injection d'inhibiteur de formation d'hydrate : ce sont des produits chimiques abaissant le point de formation d'hydrate tel que le méthanol et les glycols.
- Déshydratation du gaz à un point de rosée plus faible, ceci est possible par des adsorbants qui éliminent le maximum d'eau.

II.7. Déshydratation :

La déshydratation est l'action d'enlever d'un composé défini, la quantité ou la teneur d'eau qu'il renferme. En d'autres termes ; la déshydratation est synonyme de séchage. Cette opération s'effectue dans l'industrie du pétrole et du gaz en vue de :

- Améliorer la qualité du produit fini,
- Préparer le gaz pour subir en aval une transformation de baisse de pression à l'étape finale de traitement. [1]

II.8. Types de déshydratation :

Quelle que soit son origine, le gaz naturel contient toujours de l'eau, qu'elle provienne directement du réservoir ou qu'elle soit introduite lors des différentes opérations de traitement comme l'acidification des puits par exemple.

La présence d'eau entraîne différents problèmes pour les exploitants, suivant les conditions de température et de pression qui règnent dans une installation. La vapeur d'eau contenue dans le gaz peut provoquer la formation d'hydrates, se solidifier ou se condenser et favoriser la corrosion ou entraîner des problèmes d'opérabilité.

Pour éviter ces phénomènes, il est nécessaire de réduire la teneur en eau du gaz par une technique de traitement ou de déshydratation appropriée.

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

- ☞ Déshydratation par membrane.
- ☞ Déshydratation par absorption.
- ☞ Déshydratation par Adsorption.
- ☞ Déshydratation par inhibition. [1]

II.9. Procédés de déshydratation :

Les procédés utilisés pour la déshydratation totale ou partielle du gaz peuvent être classés en quatre catégories :

- Condensation par compression/détente ou refroidissement.
- Inhibition par injection d'inhibiteurs d'hydrates.
- Absorption par les liquides hygroscopiques.
- Adsorption par les corps solides.

Dans les usines de traitement du gaz on utilise l'un ou l'autre de ces procédés, très souvent la combinaison des deux. Exp : inhibition suivie de l'adsorption ou l'absorption.

Le choix des différents procédés dépend des besoins auquel le gaz est destiné et à la fréquence de formation d'hydrate, si elle est partielle on fait recours à l'inhibition par injection d'un composé (méthanol) pour suspendre la formation des hydrates.

II.10. Déshydratation par membrane :

La déshydratation par membrane permet de séparer des mélanges gazeux par transfert sélectif, sous l'effet de différences de pression, à travers une couche mince et continue d'un polymère sélectif.

Par définition, la membrane est une barrière perméable qui va réduire le transfert d'un

Soluté par rapport à un autre (le plus souvent d'un ou des solutés par rapport à l'eau). Dans le cas de la filtration membranaire, la membrane est une structure poreuse avec des pores de l'ordre de 0,1 à 10 μm pour la microfiltration, 10 nm à 1 μm pour l'ultrafiltration, quelques nm pour la nanofiltration et une structure dense pour l'osmose inverse. Le seuil de coupure est défini par la masse molaire du soluté le plus petit retenu à 90 %.

Dans la plupart des cas, le module membranaire ou le perméateur est constitué d'une entrée (l'alimentation) et deux sorties, la partie du fluide étant passé à travers la membrane (le perméat) et la partie ayant été retenue (le rétentat) comme montré dans la figure suivante.

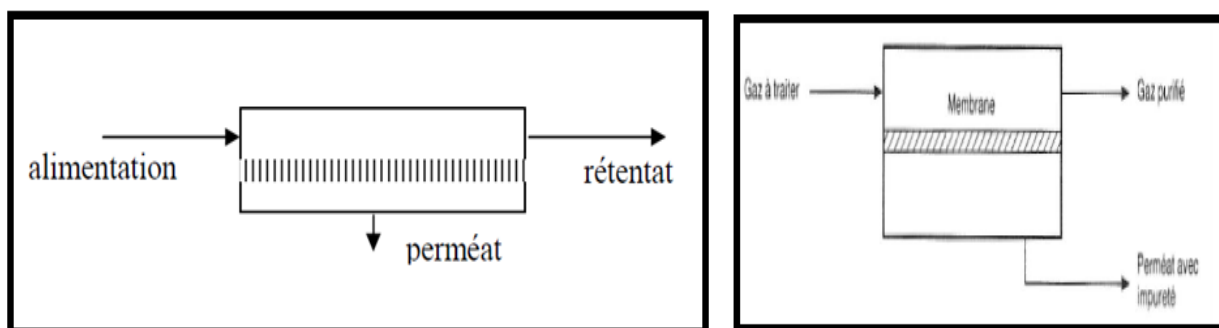


Figure II.3 : Représentation schématique de la déshydratation par membrane

Le perméateur est donc alimenté par le mélange gazeux à séparer sous haute pression. Le rétentat est récupéré à une pression égale (aux pertes de charge près) à celle de l'alimentation, le perméat est lui récupéré à une pression très inférieure à celle de l'alimentation, ce transfert basé sur la théorie de la diffusion. [1]

II.11. Déshydratation par absorption :

C'est une technique très utilisée dans l'industrie du pétrole et du gaz, et qui donne des résultats satisfaisants.

L'absorption est un procédé de séparation des mélanges gazeux, utilisant un liquide (solvant) qui dissout un (ou quelques) composant du mélange et ne dissout pas l'autre (ou les autres) composant. Le solvant liquide s'appelle dans ce cas **absorbant**.

Le procédé de régénération de l'absorbant s'appelle la **désorption**.

L'absorbant est dit riche ou pauvre. Avant l'absorption on dit qu'il est pauvre, après l'absorption on dit qu'il est riche et après la désorption il redevient pauvre.

La solubilité d'un gaz dépend de la température et de la pression. Avec l'augmentation de la pression et la diminution de la température le procédé d'absorption est favorisé et inversement pour le procédé de désorption. [2]

II.11.1. Caractéristiques d'un solvant :

Les solvants utilisés dans les procédés de traitement et de transformation des gaz ou des fractions pétrolières doivent non seulement permettre la séparation des produits, mais aussi être utilisables aisément dans les colonnes de séparation et leur emploi doit être aussi économique que possible. Dans ce cas il est nécessaire que le solvant réponde à un certain nombre de spécifications parfois difficilement compatibles.

Deux composés organiques répondent de manière satisfaisante à ces exigences :

Le diéthylène glycol (D.E.G) et le triéthylène glycol (T.E.G). Ces deux solvants sont utilisés le plus fréquemment pour la déshydratation du gaz naturel expédié par pipes et permettent d'obtenir des points de rosée du gaz sec compris entre -20°C (1000 ppmv) et -50°C (40 ppmv).

Le T.E.G est le solvant le plus utilisé parce qu'il présente moins de pertes à l'évaporation durant la phase de régénération ou de restitution de l'absorbant. [2]

II.12. Déshydratation par adsorption :

Lorsqu'on veut obtenir des points de rosée inférieurs à ceux offerts par le procédé d'absorption on doit utiliser le procédé de déshydratation du gaz par adsorption, au lieu par absorption.

Ce genre de déshydratation est très utilisé dans le domaine industriel de traitement du gaz associé destiné pour la réinjection ou pour le gaz lift.

L'adsorption est le phénomène par lequel un corps solide fixe les molécules d'un corps gazeux ou liquide sur sa surface ; on entend par surface la surface externe, mais surtout la surface interne des pores de ce solide.

Pour ce procédé on distingue deux types d'adsorption. [2]

II.12.1. L'adsorption physique :

Pour ce type d'adsorption on trouve la liaison entre l'adsorbant et l'adsorbat est due aux liaisons de Van Der Waal et ou l'énergie mise en jeu n'est pas très grande ce qui fait de l'adsorption physique une réaction réversible qui nous permet de récupérer l'adsorbant et le fluide adsorbe à leur état initial.

II.12.2. L'adsorption chimique :

Appelée encore chimisorption, très peu utilisée parce qu'elle met en jeu une énergie de liaison très élevée et qui rend la réaction généralement irréversible donc une désorption très difficile.

Le tableau suivant représente une comparaison entre l'adsorption physique et chimique :

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Type de liaison	Liaison de Van Der Waals	Liaison chimique
Température de processus	Relativement faible comparée à la température d'ébullition de l'adsorbat	Plus élevé que la température d'ébullition de l'adsorbat
Individualité des molécules	L'individualité des molécules est conservée	Destruction de l'individualité des molécules
Désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide, indépendante de la température	Très lente
Energies mises en jeu	Faible	Elevés
Type de formation	Multicouches et monocouche	Formation en monocouche

Tableau II.2 : Comparaison entre l'adsorption physique et chimique.

II.12.3. Adsorbants utilisés :

Les solides les plus utilisés ont la possibilité pour adsorber les molécules d'eau et de produire un gaz légèrement à 100 % sec avec une teneur en eau acceptable exigée par les utilisateurs comme le cas du gaz lift pour restituer la production du puits d'huile.

Les adsorbants les plus fréquemment utilisés sont :

- ❖ Le charbon actif (traitement d'air)
- ❖ L'alumine activée : (Al_2O_3) pure extrait de la bauxite,
- ❖ Le silica-gel : SiO_2 ,
- ❖ Les aluminosilicates : $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$,
- ❖ Les tamis moléculaires : à base de **la zéolithe** composée de calcium/sodium/alumine. [2]

II.12.4. Le charbon actif :

Ce type d'adsorbant est réservé pour l'adsorption de l'eau contenu dans l'air et non utilisé pour le traitement du gaz est plus précisément la déshydratation car il possède peu d'affinité pour l'eau contenu dans le gaz et une capacité d'adsorption très basse comme montre le tableau suivant. [2]

Adsorbant	Surface spécifique (m^2/g)	Volume des pores ($\text{cm}^3/100\text{g}$)	Diamètre moyen des pores, (Å°)	Principales applications
Charbon actif	300 - 500	50 - 60	10 - 30	Organiques/air Organiques/eau, CH_4 , CO/H_2

Tableau II.3 : Caractéristiques générales du Charbon actif

II.12.5. L'alumine activée : (Al_2O_3)

Obtenue par activation de la bauxite par traitement thermique pour produire un oxyde d'alumine amorphe et fortement poreux. Les Caractéristiques générales Alumine activée sont représentées dans le tableau suivant.

Adsorbant	Surface spécifique (m^2/g)	Volume des pores ($\text{cm}^3/100\text{g}$)	Diamètre moyen des pores, (Å°)	Principales applications
Alumine activée	250-350	20-35	10-80	$\text{H}_2\text{O}/\text{gaz}$ et liquide

Tableau II.4 : Caractéristiques générales Alumine activée. [2]

II.12.6. Le silica-gel : SiO_2

Les adsorbants au gel de silice sont obtenus à partir d'une solution colloïdale d'acide salicylique. Après calcination, ils deviennent des solides amorphes fortement poreux.

Sont utilisés pour le séchage de l'air et non pour le traitement du gaz naturel contre la formation d'hydrate.

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

Tableau II.5 : Caractéristiques générales Silica-gel. [2]

II.12.7. Les tamis moléculaires :

Les tamis moléculaires sont des zéolites synthétiques, ou silico-aluminates métalliques, à structure cristalline tridimensionnelle poreuse, ils présentent un réseau de pores de dimension uniforme qui suivant les types de produits fabriqués, sont dit de 3, 4,5 ou 10 Å°, bien que les ouvertures effectives de pores soient légèrement inférieure à ces valeurs.

Par activation qui consiste à désorber l'eau zéolitique qui se trouve dans les pores, on obtient un produit adsorbant extrêmement actif.

La combinaison de la structure poreuse uniforme et de la haute capacité d'adsorption permet la rétention sélective des molécules suivant leurs dimensions.

Le terme tamis moléculaires est issu de cette propriété de permettre un tamisage à l'échelle moléculaire, les tamis moléculaires se distinguent des autres produits adsorbants, tels que gel de silice et alumine activée, qui eux sont dotés d'un spectre de pores très étendu. [2]

Les tamis moléculaire se compose de :

Composition(% mass)	UOP UI 94 1/8"
Al ₂ O ₃	35 - 36
SiO ₂	46 - 47
Na ₂ O	15 - 16
K ₂ O	<1
CaO	<1
MgO	<0,5
Fe ₂ O	<1
TiO ₂	<0,5
P ₂ O ₅	<0,5

Tableau II.6 : Composition chimique du tamis UOP UI 94 [2]

Les caractéristiques de base des tamis moléculaires sont présentées dans le tableau suivant :

type de base	diamètre minimal des pores (Å)	Forme commune	Capacité d'adsorption H ₂ O, % mass	Capacité d'adsorption H ₂ O, % mass	Molécules adsorbées
3A°	3	▪ Poudre	23	Molécules avec un diamètre effectif < 3Å, y compris H ₂ O et NH ₃	Séchage des gaz craqués (séchage d'oléfines) Séchage des liquides organiques
		▪ 1/16" bâtonné	20		
		▪ 1/8 "bâtonné	20		
		▪ 8 x 12 granulé	20		
		▪ 4 x 8 granulé	20		
4A°	4	▪ Poudre	28,5	Molécules avec un diamètre effectif < 4 angströms, y compris éthanol, H ₂ S, C ₂ H ₄ , et C ₃ H ₆	<ul style="list-style-type: none"> • Séchage de l'hydrogène • Séchage de gaz d'hydrocraquage • Séchage d'air à basse pression • Séchage de gaz naturel • Elimination de H₂S, CO₂ du gaz naturel • Séchage des liquides
		▪ 1/16" bâtonné	22		
		▪ 1/8" bâtonné	22		
		▪ 8 x 12 granulé	22		
		▪ 4 x 8 granulé	22		
		▪ 14 x 30 Mesh	22		
5A°	5	▪ Poudre	28	Molécules avec un diamètre effectif < 5 Å, y compris n-C ₄ H ₉ OH De C ₃ H ₈ à C ₂₂ H ₄₆	• Séparation des n-paraffines des iso-paraffines et les hydrocarbures cycliques
		▪ 1/16in granulé	21,5		
		▪ 1/8in granulé	21,5		
10X	8	▪ Poudre	36	Molécules avec un diamètre effectif < 8 angströms, y compris les iso-paraffines et les oléfines	• Séparation des hydrocarbures aromatiques
		▪ 1/16in bâtonné	28		
		▪ 1/8in bâtonné	28		
13X	10	▪ Poudre	36	Molécules avec un diamètre effectif < 10 angströms	• Séchage et purification de l'air (élimination simultanément de H ₂ O et CO ₂)
		▪ 1/16in bâtonné	28,5		
		▪ 1/8in bâtonné	28,5		
		▪ 8 x 12 granulé	28,5		
		▪ 4 x 8 granulé	28,5		

Tableau II.7 : Caractéristiques de base des tamis moléculaires. [2]

II.13. Les différents types de tamis moléculaires :

Le tamis moléculaire de type 4 A est un tamis de base obtenu dans la synthèse de la zéolite de type A. En remplaçant partiellement les cations sodium du tamis 4A par des cations potassium, on obtient le type de 3 A.

Si le cation de substitution est le calcium et non le potassium, On obtient le type de 5A. [2]



Figure II.4 : structure de tamis moléculaire

Le type de 10 A est le tamis moléculaire de base obtenu dans

La synthèse de la zéolite de type X.

Composition chimique des tamis moléculaire est la suivante :

- ✓ $3A^\circ : 0.6 K_2O : 0.40 Na_2O : 1 Al_2O_3 : 2.0 \pm 0.1 SiO_2 : x H_2O$
- ✓ $4A^\circ : 1 Na_2O : 1 Al_2O_3 : 2.0 \pm 0.1 SiO_2 : x H_2O$
- ✓ $5A^\circ : 0.80 CaO : 0.20 Na_2O : 1 Al_2O_3 : 2.0 \pm 0.1 SiO_2 : x H_2O$
- ✓ $13X : 1 Na_2O : 1 Al_2O_3 : 2.8 \pm 0.2 SiO_2 : x H_2O$

II.14. Adsorption sur les tamis moléculaires :

L'adsorption est un phénomène de surface qui correspond à la fixation des molécules d'un fluide à la surface d'un solide.

Les solides poreux, qui présentent une grande porosité interne et dont la surface développée des pores est de l'ordre de plusieurs centaines de m^2/g , sont appelés adsorbants.

Les tamis moléculaires zéolitiques sont des adsorbants qui, de par leur structure cristalline à pores de dimensions bien déterminées, ont en outre une sélectivité d'adsorption maximale.

Les tamis moléculaires présentent également une autre particularité importante : la diminution de leur capacité d'adsorption avec l'augmentation de la température est considérablement moins prononcée que pour d'autres adsorbants. [2]

II.15. Caractéristiques d'un bon adsorbant :

- Une surface importante par unité de poids
- Une densité élevée
- Facilement régénérable
- Une bonne vitesse de transfert de masse
- Une faible résistance à l'écoulement des gaz
- Une bonne résistance mécanique à l'écrasement/effritement
- Pas de changement appréciable de volume durant le cycle
- Résiste à l'humidité
- Chimiquement inerte
- Pas toxique ; pas corrosif

- Conserve une bonne capacité d'adsorption avec le temps

Donc on peut dire que les adsorbants industriels doivent avoir les qualités suivantes :

- une haute capacité d'adsorption,
- une grande efficacité pour adsorber des substances de faibles concentrations,
- une sélectivité élevée,
- une aptitude à être facilement régénéré et utilisé de nouveau.
- une grande inertie chimique,
- un prix peu élevé.

En pratique il est très difficile de trouver un adsorbant qui répond à toutes ses qualités. [2]

II.16. Le choix de l'adsorbant est dicté par :

- 1- Le prix de revient des équipements.
- 2- La durée de vie de l'adsorbant et les exigences du procès.

II.17. Caractéristiques du procédé d'adsorption :

Le procédé d'adsorption peut s'effectuer soit en phase gazeuse soit en phase liquide.

L'adsorption est caractérisée principalement par les facteurs suivants :

II.17.1. Intensité d'adsorption :

Qui caractérise la force avec laquelle l'adsorbat est fixé sur l'adsorbant. Si un corps **a** présente vis à vis d'un adsorbant une intensité d'adsorption plus grande que le corps **b** alors **a** sera capable de déplacer **b**. Si tous les deux ils ont la même intensité il n'y aura pas de déplacement.

II.17.2. Capacité d'adsorption :

Qui correspond à la quantité maximale de produit que l'adsorbant peut fixer dans les conditions déterminées (température/pression/concentration). Elle s'exprime en grammes absorbés par 100 grammes d'adsorbant.

II.17.3. Isotherme d'adsorption :

Courbe élaborée à la température ambiante donnant la capacité d'adsorption en fonction de l'humidité relative.

II.17.4. Chaleur nette d'adsorption :

Représente la variation de l'énergie d'adsorption. Elle est exprimée en kcal/mole d'adsorbat et elle est spécifique au système adsorbant/adsorbat.

II.17.5. Temps de séjour :

Rapport entre le volume de l'adsorbent vide et le volume réel du fluide l'ayant traversé. Il est exprimé en secondes pour les gaz et en minutes pour les liquides. (C'est l'inverse de la vitesse spatiale).

II.17.6. Durée du cycle :

Durée de l'étape adsorption / désorption pour chaque tour. Elle est exprimée en heures

II.17.7. Point de saturation (breakthrough) :

Le temps quand la ZMT a atteint la sortie du lit d'adsorption.

II.17.8. Influence de quelques paramètres sur une unité d'adsorption :

Les performances d'une unité d'adsorption sont influencées par un certain nombre de facteurs, certains de ces facteurs dépendant du système dans lequel évolue l'adsorbat, d'autres sont fonction de l'adsorbant lui-même, cependant, ils exercent tous sans exception, une influence sur le phénomène de transfert de masse. [3]

II.17.9. Zone de transfert de masse « ZMT » :

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.

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

La zone de transfert de masse est influencée par :

- La vitesse superficielle du fluide à traiter.
- La concentration de l'adsorbat dans la charge.
- Pureté attendue de la charge (présence de molécules concurrentes). [3]

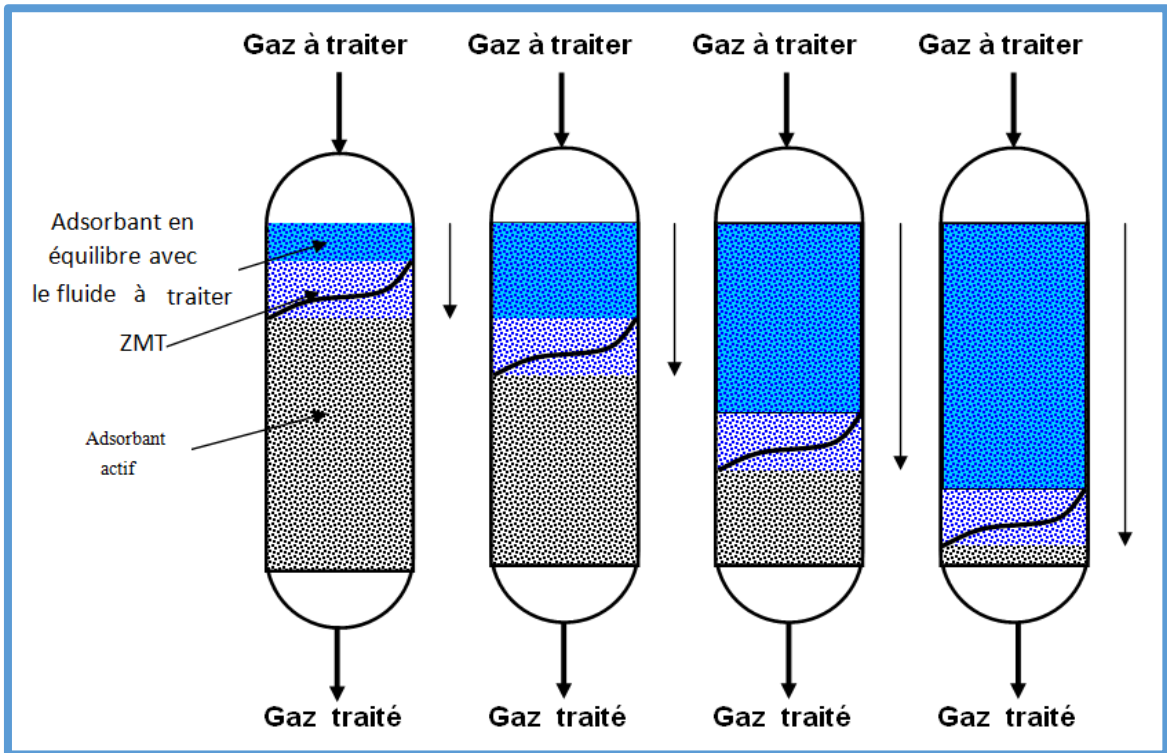


Figure II.5 : Evolution de la zone de transfert de matière au cours du temps [3]

II.17.10. Evolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption :

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.

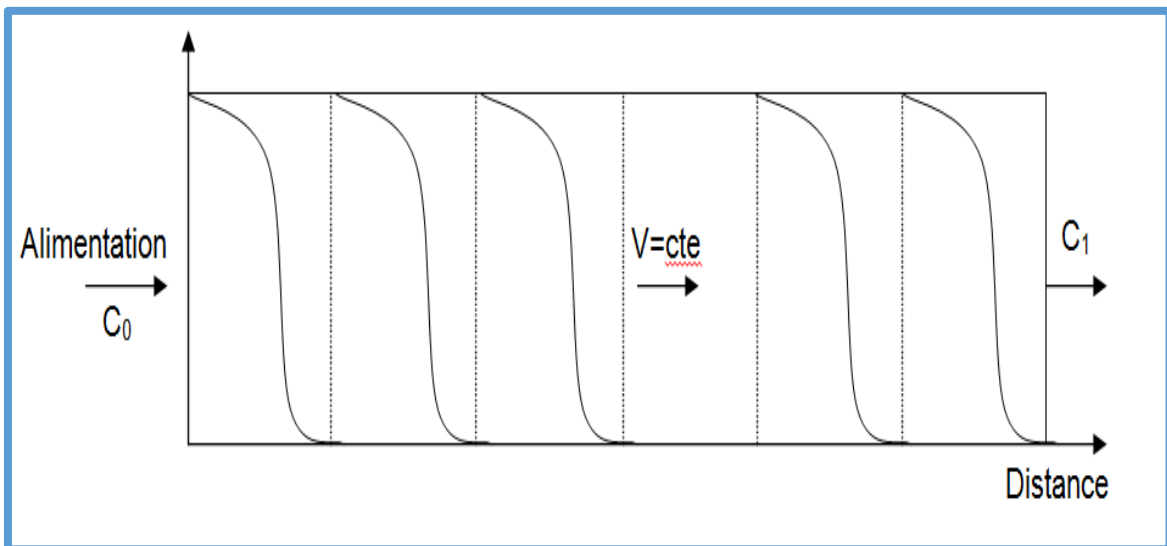


Figure II.6 : Evolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption. [3]

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

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

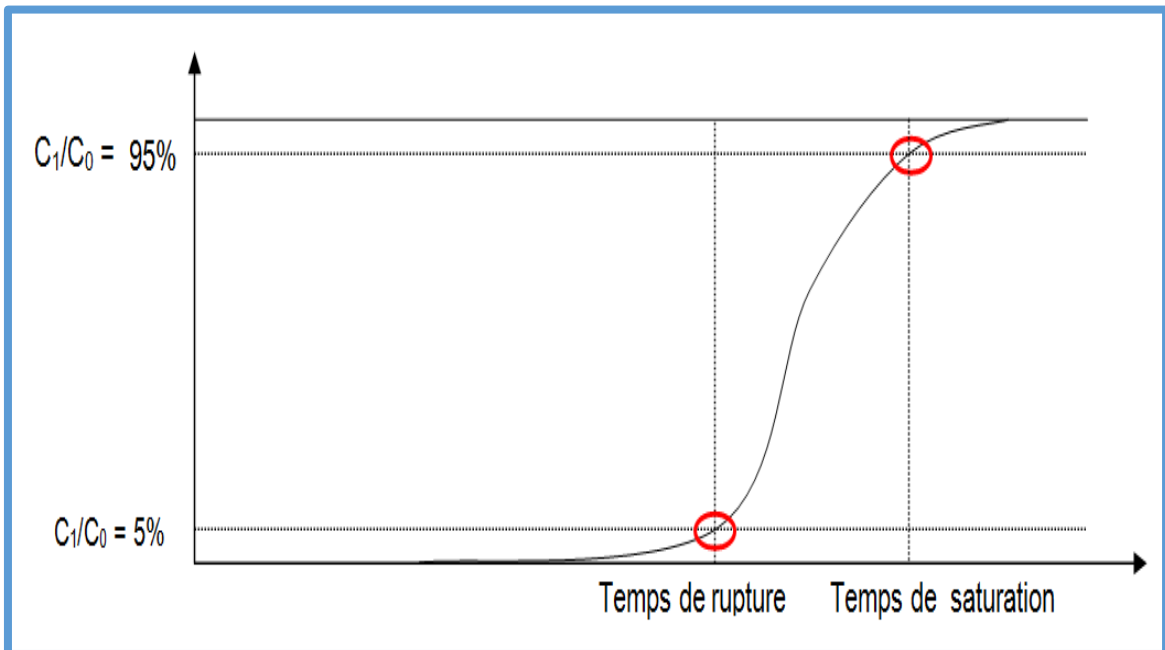


Figure II.7 : Représentation d'une courbe de perçage. [3]

II.18. Evolution de la capacité d'adsorption en fonction des paramètres suivants : [3]

II.18.1. Température de service :

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.

II.18.2. Pression de service :

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.

II.18.3. Concentration de l'adsorbant :

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 la satisfaction de ce critère.

II.18.4. 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.

II.18.5. 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.

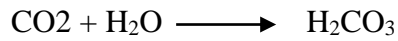
Une vitesse de passage trop faible pourrait soulever des problèmes de distribution. En phase gazeuse, les vitesses superficielles les plus favorables varient entre 5 et 15 mètres par minute. Par ailleurs, on ne doit pas descendre en dessous de limite correspondant au régime turbulent, car au régime laminaire,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

II.19. Avantages et inconvénients des tamis moléculaires : [3]

Les tamis moléculaires sont disponibles dans le domaine de traitement du gaz avec une large utilisation pour :

- Eviter la formation des hydrates et le bouchage des canalisations.

- Eliminer la vapeur d'eau du gaz pour éviter la corrosion des équipements surtout si le gaz de séparation contient du CO₂ afin d'éviter la formation de l'acide carbonique comme montre la réaction suivante :



- Supprimer le risque d'arrivées de gouttelettes dans les rotors des compresseurs centrifuges.
- Diminuer les pertes de charges dans les pipelines & l'accumulation d'eau libre dans les points bas.
- Permettre les traitements en aval tel que dégazolinage & récupération des GPL.
- Diminuer la charge de travail des sécheurs à tamis moléculaires en amont des turbo-expandeurs.
- Pour éviter les problèmes de corrosion des réseaux de gaz lift ou gaz d'injection.

II.19.1. Avantage :

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

II.19.2. Inconvénients :

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

II.20. Déshydratation par inhibition :

La formation d'hydrates pendant le refroidissement du gaz naturel peut être évité par l'injection d'inhibiteurs liquides qui absorbent l'eau.

Parmi les inhibiteurs utilisés citons : le méthanol.

Les inhibiteurs les plus employés sont le diéthylène glycol (D.E.G C₄H₁₀O₃) et le méthanol (CH₃OH).

Le D.E.G est actuellement le glycol le plus utilise parce qu'il représente un bon compromis entre la pression de vapeur et la solubilité des hydrocarbures.

Le méthanol est un inhibiteur bien moins cher que le D.E.G, mais il n'est pas aussi facilement récupérable car il présente avec l'eau une solution azéotrope c'est-à-dire ils ont le même point d'ébullition. C'est pour cette raison qu'il est injecte occasionnellement ou par intermittences pour empêcher la formation d'hydrates. [3]

Chapitre III



Partie Calcul

La partie calcul, va tenir en compte des points suivants :

- 1- Les deux périodes d'exploitations (été et hiver) pour la vérification design.
- 2- Le calcul des sécheurs avec les paramètres actuels de fonctionnement de TFT.

III.1. Vérification et calcul du design :

La vérification du design consiste à déterminer :

- Diamètre de la colonne
- Hauteur du lit
- Masse du tamis
- Débit de gaz de régénération
- Pertes de charge
- temps d'adsorption, rupture et saturation

III.2. Comparaison entre les résultats obtenus dans les deux cas de fonctionnement (hiver, été) et le design :

III.2.1. Calcul des déshydrateurs dans les conditions actuelles (débit et composition de la charge) :

Le calcul consiste à déterminer :

- Diamètre de la colonne
- Hauteur du lit
- Masse du tamis
- Débit de gaz de régénération
- Pertes de charge
- temps d'adsorption, rupture et saturation

III.2.2. Recommandations afin d'optimiser les conditions de fonctionnement des sécheurs :

III.3. Vérification et Calcul Design : [5]

Le calcul sera fait de la façon suivante :

III.3.1. Calcul du facteur de compressibilité Z : [5]

III.3.1.1. Calcul des températures et pressions critiques et réduites du mélange :

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

$$T_{cm} = \sum y_i \times T_{ci}$$

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

$$P_{cm} = \sum y_i \times P_{ci}$$

Avec :

T_{ci} : température critique du constituant i

P_{ci} : pression critique du constituant i

Y_i : fraction molaire du constituant i

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

$$T_{rm} = \frac{T}{T_{ci}} \quad \text{Eq : I.1}$$

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

$$P_{rm} = \frac{P}{P_{ci}} \quad \text{Eq : I.2}$$

Avec :

T : température de service (°K)

P : pression de service (PSI)

III.3.1.1. En utilisant l'abaque universel de l'annexe A :

A (T_{rm} , P_{rm}), pour déterminé Z.

III.3.2. Calcul de la densité relative du gaz : [5]

$$d_G = \frac{Mw}{Mw_{air}} \quad \text{Eq : I.3}$$

Avec :

Mw : masse moléculaire du gaz et Mw air = 29 g /mole

d_G : densité relative du gaz.

III.3.3. Calcul de la masse volumique du gaz :

$$\rho_G = \frac{P \times M_w}{Z \times R \times T} \quad \text{Eq : I.4}$$

Avec : $R = 8,314 \text{ j/mole } ^\circ\text{K}$

III.3.4. Calcul de la vitesse superficielle admise : [5]

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

$$v_g = \frac{G \times Z \times T}{162 \times P \times d_g} \quad \text{Eq : I.5}$$

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

$$G = 3600 \times (1.06 \times \rho_G \times \rho_B \times D_p)^{0.5} \quad \text{Eq : I.6}$$

Avec :

ρ_G : masse volumique du gaz, (lb/ft³)

ρ_B : masse volumique du tamis tassé. (lb/ft³)

D_p : diamètre des particules de tamis en ft.

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

III.3.5. Calcul du diamètre minimum de la colonne du lit :

$$d = \left(\frac{C \times Q \times Z \times T}{P \times v_g} \right)^{0.5} \quad \text{Eq : I.7}$$

Avec : C : constante, $C = 25,05$ et d en ft.

III.3.6. Calcul du flux d'adsorption d'eau : [5]

La quantité d'eau absorbée pour un cycle est :

$$m_w = \frac{4 \times Q \times Y_w}{24} \quad \text{Eq : I.8}$$

Avec :

Q : débit de gaz (MMScF/j)

Y_w : teneur en eau dans l'alimentation, (lb H₂O/MMScF de gaz), en utilisant l'abaque donnant la teneur d'eau dans le gaz en fonction de la température et de la pression (Diagramme en annexe B) :

Puis on calcul la quantité d'eau ou le flux (q) dans le gaz par unité de surface du déshydrateur [lb / hr. ft²]

$$q = \frac{m_w}{\Pi \times d^2} \quad \text{Eq : I.9}$$

III.3.7. Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse Z.T.M : [5]

Pour calculer la hauteur de la zone de transfert de masse, on utilise la relation de SIPON et GUMING, qui ont estimé cette hauteur pour les tamis moléculaires par :

$$h_z = A \left(\frac{q^{0.7895}}{v_g^{0.5506} \times Rh^{0.2646}} \right) \quad \text{Eq : I.10}$$

Avec :

h_z en inches

A : constante = 225.

Rh : humidité relative (100%) le cas le plus défavorable, c'est à dire que le gaz est saturée en eau.

III.3.8. Calcul de la capacité d'adsorption :

$X_{s0} = 22$ lb H₂O/100lb de tamis (Annexe C)

X_{s0} : est la capacité d'adsorption de l'adsorbant neuf

On prévoit 5 ans de service (cas extrême), donc une chute d'efficacité du tamis de 70%.

Donc :

$$X_s = X_s^{\text{neuf}} \cdot 0,7 = 15.40 \%$$

X_s : est la capacité d'adsorption de l'adsorbant à la saturation totale du lit.

L'UOP prévoit une capacité d'adsorption de $X = 10,9\%$ pour tenir en compte des saturations durant les phases de chauffage et des spécifications des constructeurs.

Le temps d'adsorption du design est de $\theta_B = 4$ heures (temps de cycle total est 12 heures).

III.3.9. Hauteur d'équilibre de lit : [5]

$$h_{\text{éq}} = \frac{127.4 \times m_w}{\rho_B \times X \times d^2} \quad \text{Eq : I.11}$$

Avec :

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 durant son utilisation. ρ_B : masse volumique du tamis.

III.3.10. Calcul de la hauteur minimale de lit :

$$h_B = \frac{400 \times m_w}{\Pi \times \rho_B \times X \times d^2} \quad \text{Eq : I.11 bis}$$

III.3.11. Calcul de masse du tamis :

$$M = \frac{\Pi \times d^2 \times \rho_B \times h_B}{4} \quad \text{Eq : I.12}$$

III.3.12. Calcul de l'épaisseur du déshydrateur : [5]

$$e = \frac{P \times d}{2 \times (S \times E - 0.6 \times P)} \quad \text{Eq : I.13}$$

Avec

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

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

Le design prévoit sur épaisseur de corrosion de 3 mm qui donne l'épaisseur en mm de déshydrateur $e' = e + 3$

III.3.13. Calcul de la perte de charge : [5]

III.3.13.1. 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 déshydrateur. Lorsque le gaz s'écoule à travers un lit d'adsorbant il remplit les espaces vides et la perte

de charge à travers les grains de tamis ainsi que les billes en céramiques est donnée par l'équation suivante :

$$\frac{dp \times g_c \times \varepsilon^3 \times dp_0 \times \rho_G}{dz \times (1 - \varepsilon) \times G^2} = 150 \times \frac{(1 - \varepsilon)}{\text{Re}} + 1.75 \quad \text{Eq : I.14}$$

Avec :

$\frac{dp}{dz}$: Pertede charge par de longueur du lit, (PsF/ft).

dp_0 : Diamètre effectif des grains et des billes céramiques. :

ε : Fraction de vide externe.

G : vitesse massique de gaz.

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

ρ_g : masse volumique du tamis tassé.

ρ_b (billes céramiques) = $37,34 \text{ lb/ft}^3$.

Re : nombre de Reynolds $\text{Re} = \frac{dp_0 \times G}{\mu}$

Remarque : on à deux types de tamis, 1/8" et 1/16" donc on a deux vitesses massiques pour chaque couche du tamis.

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

$$dp_0 = \frac{6 \times (1 - \varepsilon)}{a_p} \quad \text{Eq : I.15}$$

Avec :

ε : fraction du vide externe des billes en céramique.

a_p : la surface spécifique des billes en céramique.

III.3.13.2. Calcul des pertes de charge due aux effets d'expansion et de contraction :

III.3.13.2.1. 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 :

$$\frac{\Delta P}{\rho_g} = \left(\frac{U^2}{2 \times g_c} \right) \times \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \quad \text{Eq : I.16}$$

Avec :

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

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

A_1 : surface du courant gazeux à travers la tubulure d'entrée de diamètre D_1

A_2 : surface du déshydrateur de diamètre D_2

ρ_G : masse volumique du gaz.21

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

La vitesse moyenne dans A_1 est U_1 : $U_1 = \frac{Q}{A_1}$ Eq : I.17

III.3.13.2.2. la 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 :

$$\frac{\Delta P}{\rho_g} = \left(\frac{U^2}{2 \times g_c^{0.45}} \right) \times \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \quad \text{Eq : I.18}$$

III.3.13.2.3. Perte de charge totale à travers le déshydrateur : [5]

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

III.3.14. Calcul du débit de gaz de régénération : [5]

III.3.14.1. Phase de chauffage :

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

- Chauffage du lit du tamis.
- Chauffage des billes céramiques.
- Chauffage de la colonne vide.
- Chauffage et désorption de l'eau.

- Chauffage et désorption des hydrocarbures liquides entraînent, sans oublier les pertes vers l'extérieur.

La variation de la température du lit du tamis à la sortie du déshydrateur en fonction du temps de régénération est représentée dans la figure suivante [5].

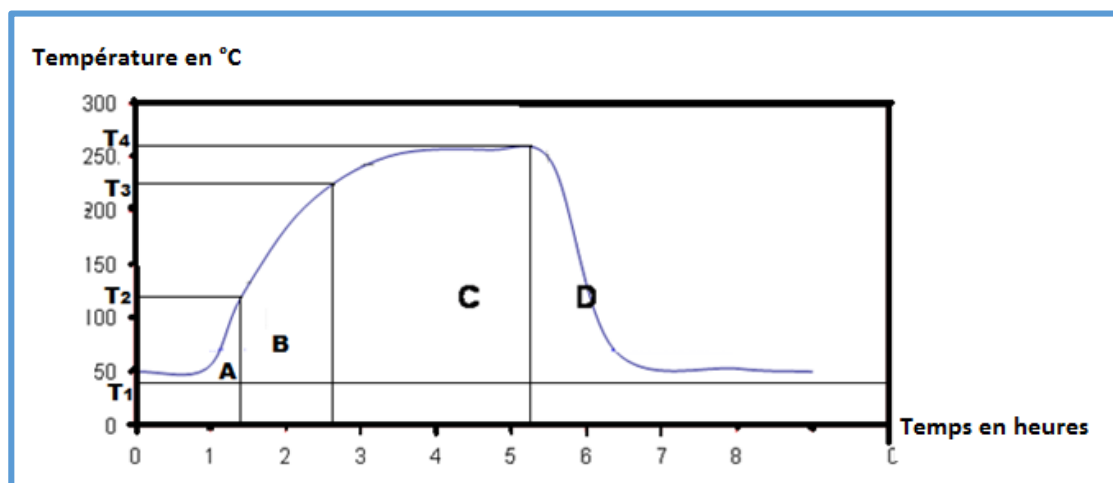


Figure III. 1 : Evolution de la température du lit du tamis en fonction du temps de régénération [6]

III.3.14.1.1. Quantité de chaleur nécessaire pour le lit du tamis moléculaire :

$$Q_1 = M_T \times Cp_T \times (T_F - T_I) \quad \text{Eq : I.19}$$

M_T : masse du tamis moléculaire, (lb)

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

T_F : température final (de régénération) = (°F)

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

III.3.14.1.2. Quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique :

$$Q_2 = M_C \times Cp_C \times (T_F - T_I) \quad \text{Eq : I.20}$$

M_C : masse total de céramique, (lb)

Cp_C : chaleur spécifique de la céramique.(Btu / lb. °F)

III.3.14.1.3. Quantité de chaleur pour le chauffage du déshydrateur vide :

$$Q_3 = M_{dy} \times Cp_{dy} \times (T_F - T_I) \quad \text{Eq : I.21}$$

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

Cp_{dv} : chaleur spécifique du métal. (Btu / lb. °F).

III.3.14.1.4. Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et désorber l'eau :

$$Q_4 = M_e \times Cp_e \times (T_F - T_I) + (M_e \times \Delta H_e) \quad \text{Eq : I.22}$$

M_e : quantité d'eau absorbée par cycle (lb)

Cp_e : chaleur spécifique de l'eau. (Btu / lb. °F).

ΔH_e : chaleur latente de désorption de l'eau.

III.3.14.1.5. Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et désorber les hydrocarbures :

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

$$Q_5 = M_h \times Cp_h \times (T_F - T_I) + (M_h \times H_h) \quad \text{Eq : I.23}$$

M_h : quantité d'hydrocarbure absorbé par cycle , $M_h = 0,1M_e$.

Cp_h : chaleur spécifique du gaz

H_h : chaleur spécifique de désorption d'hydrocarbure

III.3.14.1.6. Quantité de chaleur totale à fournir pour le chauffage :

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

$$Q_{ch} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) \times 1,1$$

III.3.14.1.7. Débit de gaz de régénération en phase de chauffage : [5]

$$T_A = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$T_B = \frac{T_2 + T_3}{2}$$

T_1, T_2, T_3, T_4 sont déterminés à partir de l'annexe.

$$T_{moy} = \frac{T_A + T_B + T_4}{3} \quad \text{Eq : I.24}$$

D'où :

$$M_{GR} = \frac{Q_{Ch}}{\Theta_{Ch} \times (T_F - T_{moy}) \times Cp_{GR}} \quad \text{Eq : I.25}$$

M_{GR} : débit de gaz de régénération en phase chauffage, (lb/hr)

C_p : chaleur spécifique du gaz de régénération, (Btu /lb°F)

θ_{GR} : temps de régénération (hr)

III.3.14.2. Phase de refroidissement : [5]

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 céramiques ; Q_{rb} .
- Quantité de chaleur à enlever du déshydrateur (métal) ; Q_{rd} .

Donc : $Q_r = Q_{rt} + Q_{rb} + Q_{rd}$ Eq : I.26

III.3.14.2.1. Débit de gaz de refroidissement :

$$M'_{GR} = \frac{Q_r}{\Theta_r \times (T_H - T_D) \times Cp_{GR}} \quad \text{Eq : I.27}$$

Θ_r : Le taux de refroidissement.

T_5, T_4 sont déterminés à partir de la figure qui se trouve dans la partie annexe.

$$T_D = \frac{T_H + T_1}{2}$$

III.3.14.2.2. Calcul du temps de service : [5]

La Quantité d'eau adsorbée par la surface du lit par heure

$$Q' = \frac{4 \times Q}{\Pi \times d^2} \quad \text{Eq : I.28}$$

Q : Le débit massique d'eau à l'entrée du sécheur (lb/h).

$$t_s = \frac{0.01 \times \rho_B \times X_s}{Q'} \times h_{\text{éq}} \quad \text{Eq : I.29}$$

Ou :

t_s : Le temps de service en heure.

ρ_B : La densité du tamis.

Q' : la quantité d'eau adsorbée par la surface du lit par heure (lb H₂O/hr.ft²).

$h_{\text{éq}}$: La hauteur d'équilibre en ft.

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

III.3.14.2.3. Calcul du temps de rupture (breaktrought) : [5]

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

$$t_B = \frac{0.01 \times \rho_B \times X_S}{Q'} \times (h_B - 0.5h_Z) \quad \text{Eq : I.30}$$

Ou :

t_B : Le temps de rupture en heure.

ρ_B : La densité du tamis.

Q' : la quantité d'eau adsorbée par la surface du lit par heure (lb H₂O/hr.ft²).

h_B : La hauteur total du tamis.

h_Z : La hauteur total de la zone de transfert de masse.

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

III.3.14.2.4. Calcul du temps de saturation : [5]

$$t_{Sat} = \frac{0.01 \times \rho_B \times X_S}{Q'} \times h_B \quad \text{Eq : I.31}$$

Ou

t_{Sat} : Le temps de saturation en heure.

h_B : La hauteur totale du lit en ft

III.4. Période d'hiver :

➤ **Données sur la régénération au niveau de D301 A/B/C**

▶ **Charge : Gaz associé**

▶ **Fiche technique déshydrateurs (sècheurs) D301A/B/C : [3]**

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

Diamètre intérieur de la colonne : 3000 mm

Hauteur total du lit : 3280 mm

Temps de cycle : 12 heures

- Adsorption : 4 heures
- Chauffage : 3 heures45min

- Refroidissement : 3 heures 45min
- Stand-by : 30 minutes

► **Données sur l'absorbant : [4]**

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

Masse volumique du tamis tasse : 45 lb/ft³

Diamètre moyen des particules : 1/8" = 3,17mm = 0.0104 ft

1/16" = 1,58 mm = 0.0052 ft

► **Gaz de régénération : [4]**

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

Température de régénération : 280 à 290°C

Débit de gaz de régénération : 16000 m³/h.

Pression de gaz de de régénération : 30 bars.

► **Conditions opératoires design : [4]**

Pression : 80 bars = 1160.29 psia

Température : 50°C = 323°K= 543.47 °R

Débit de gaz associé : 4 877400 Sm³/j = 172.24 MMScf/d

Débit d'eau : 338 kg/h = 745.15 lb/h (entrée de sécheur).

La composition du gaz alimentant les sécheurs est donnée par le tableau suivant.

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

Tableau III.1 : Composition gaz de la charge "cas hiver" [4]

III.4.1. Calcul du facteur de compressibilité Z :**III.4.1.1. Calcul des températures, pressions critiques de la charge gaz :**

Composition	Yi (mol)	Tci (°k)	Yi x Tci	Pci (psi)	Yi x Pci
N2	0,0246	126,2	3,1045	492,45	12,1143
CO2	0,0105	304,2	3,1941	1073,45	11,2731
CH4	0,7652	191,1	146,2297	673,26	515,1786
C2H6	0,1069	305,5	32,6580	708,54	75,7429
C3H8	0,061	370	22,5700	617,4	37,6614
IC4H10	0,0062	408,1	2,5302	529,2	3,2810
Nc4h10	0,0163	425,2	6,9308	551,25	8,9854
IC5H12	0,0028	461	1,2908	483,63	1,3542
nC5H14	0,0035	469,8	1,6443	489,51	1,7133
nC6H14	0,002	507,9	1,0158	439,53	0,8791
nC7H16	0,001	540,2	0,5402	396,9	0,3969
Total	1		221,7084		668,5801

Tableau III.2 : Propriétés critiques du gaz [7]

On trouve :

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

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

III.4.1.2. Calcul des températures et pressions réduites de la charge :

Avec $T = 323,15 \text{ K}$, et $P = 1160,24 \text{ pisa}$, appliquons Eq : I.1 & I.2

$$\Rightarrow T_{rm} = \frac{323,15}{221,71} = 1,46$$

$$\Rightarrow P_{rm} = \frac{1160,29}{668,58} = 1,74$$

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

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

En utilisant l'abaque universel de l'annexe A, pour le point A (1,46 ; 1,74), on trouve $Z = 0,83$

III.4.1.3. Calcul de densité relative du gaz :

Appliquons Eq : I.3 avec $MW = 21,37 \text{ g/mol}$ on trouve

$$\Rightarrow d_G = \frac{21.37}{29} = 0.7$$

$$d_G = 0.7$$

III.4.1.4. Calcul de la masse volumique du gaz :

Appliquons Eq : I.4 avec les valeurs suivantes :

$$Z = 0.83$$

$$P = 1160.24 \text{ psia}$$

$$MW = 21.37 \text{ g/mole}$$

$$T = 543.47 \text{ }^\circ\text{R} \quad \text{et} \quad R = 10.73 \text{ psia ft}^3/\text{lb.}^\circ\text{R}$$

Nous obtenons :

$$\rho_G = \frac{1160.29 \times 21.37}{0.83 \times 10.73 \times 543.47} = 5.12$$

$$\rho_G = 5.12 \text{ lb/ft}^3 \text{ (82.00 kg/m}^3\text{)}.$$

III.4.1.5. Calcul de la vitesse superficielle du gaz :

Appliquons Eq : I.5 & I.6 on trouve pour l'équation Eq : I.6 pour chaque tamis moléculaire :

$$\text{Pour tamis } 1/8'' : G = 3600 \times (1.06 \times 5.12 \times 45 \times 0.0104)^{0.5} = 5737.37 \text{ lb gaz/h.ft}^2.$$

$$G = 5737.37 \text{ lb gaz/h.ft}^2.$$

$$\text{Pour tamis } 1/16'' : G = 3600 \times (1.06 \times 5.12 \times 45 \times 0.0052)^{0.5} = 4082.55 \text{ lb gaz/h.ft}^2.$$

$$G = 4056.93 \text{ lb gaz/h.ft}^2.$$

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, Puis par Eq : I.5, on trouve

$$v_g = \frac{5737.37 \times 0.83 \times 543.47}{162 \times 1160.29 \times 0.7} = 19.67 \text{ lb gaz/h.ft}^2$$

$$V_g = 19.67 \text{ lb gaz/h.ft}^2 = 5.99 \text{ m/min}$$

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

III.4.2. Calcul de Diamètre minimum de la colonne du lit :

En utilisant Eq : I.7, avec : $V_g = 19.67 \text{ ft/min}$ et $Q = 174.24 \text{ ScF/d}$

On aura :

$$d = \left(\frac{25.05 \times 172.24 \times 0.83 \times 543.47}{1160.29 \times 19.67} \right)^{0.5} = 9.23 \text{ ft.}$$

$$d = 9.23 \text{ ft} = 2.81 \text{ m.}$$

III.4.3. Calcul de la quantité d'eau absorbée pendant la durée de cycle de 4h :

Appliquons Eq : I.8, avec $Y_w = 92 \text{ lbH}_2\text{O/MMScF}$ (voir annexe en fonction de P et T) et $Q = 172.24 \text{ MMScF/j.}$

On trouve

$$m_w = \frac{4 \times 172.24 \times 92}{24} = 2671.68 \text{ lb H}_2\text{O/cycle}$$

$m_w = 2671.68 \text{ lb H}_2\text{O/cycle} = 1211.87 \text{ kg H}_2\text{O/cycle} = 302.96 \text{ kg H}_2\text{O/h}$, puis on utilise l'équation Eq : I.9 pour déterminer q.

$$q = \frac{2671.68}{\pi \times 9.23^2} = 9.98 \text{ lb/h.ft}^2$$

III.4.4. Hauteur de la zone de transfert de masse :

En utilisant Eq : I.10, Avec : $q = 9.98 \text{ lb/h.ft}^2$, $V_g = 19.67 \text{ ft/min}$ et $R_h = 100\%$.

On trouve

$$h_z = 225 \left(\frac{9.98^{0.7895}}{19.67^{0.5506} \times 100^{0.2646}} \right) = 79.33 \text{ inch}$$

$$h_z = 79.31 \text{ inch} = 2.01 \text{ m} = 6.61 \text{ ft.}$$

III.4.5. Hauteur d'équilibre :

Appliquons l'équation Eq : I.11 bis, Avec : $m_w = 2671.68 \text{ lb H}_2\text{O/cycle}$, $\rho_B = 45 \text{ lb/cft}$, $d = 9.23 \text{ ft}$ et $X = \text{La capacité à la saturation} = 22 \text{ lbH}_2\text{O}/100 \text{ lb tamis}$

On trouve :

$$h_{\text{éq}} = \frac{127.4 \times 2671.68}{45 \times 22 \times 9.23^2} = 4.03 \text{ ft.}$$

$$h_{\text{éq}} = 4.03 \text{ ft} = 1.23 \text{ m}$$

III.4.6. Hauteur minimale de lit :

En appliquons Eq : I.11 bis, On trouve

$$h_B = \frac{400 \times 2671.68}{\pi \times 45 \times 10.9 \times 9.23^2} = 8.14 \text{ ft.}$$

$$h_B = 8.14 \text{ ft} = 2.48 \text{ m}$$

III.4.7. Calcul de la masse du tamis :

Appliquons l'Eq : I.12, avec $h_B = 8.14 \text{ ft}$, $\rho_B = 45 \text{ lb/ft}^3$ et $d = 9.23 \text{ ft}$

On trouve

$$M = \frac{\pi \times 9.23^2 \times 45 \times 8.14}{4} = 24509.26 \text{ lb}$$

$$M = 24509.26 \text{ lb} = 11117.21 \text{ Kg}$$

III.4.8. Calcul de l'épaisseur du déshydrateur :

Appliquons l'Eq : I.13 avec $P = 1160.29 \text{ psia}$ et $d = 9.21 = 110.52 \text{ inch}$

On trouve

$$e = \frac{1160.29 \times 110.52}{2 \times (18900 \times 1 - 0.6 \times 1160.29)} = 3.52 \text{ inch,}$$

$$e = 89.46 \text{ mm}$$

$$e' = 89.46 + 3.0 = 92.46 \text{ mm}$$

$$e' = 92.46 \text{ mm}$$

III.4.8. Calcul de la perte de charge :

Le calcul de la perte de charge à travers les lits constituant le déshydrateur D301A/B/C se fait comme suit.

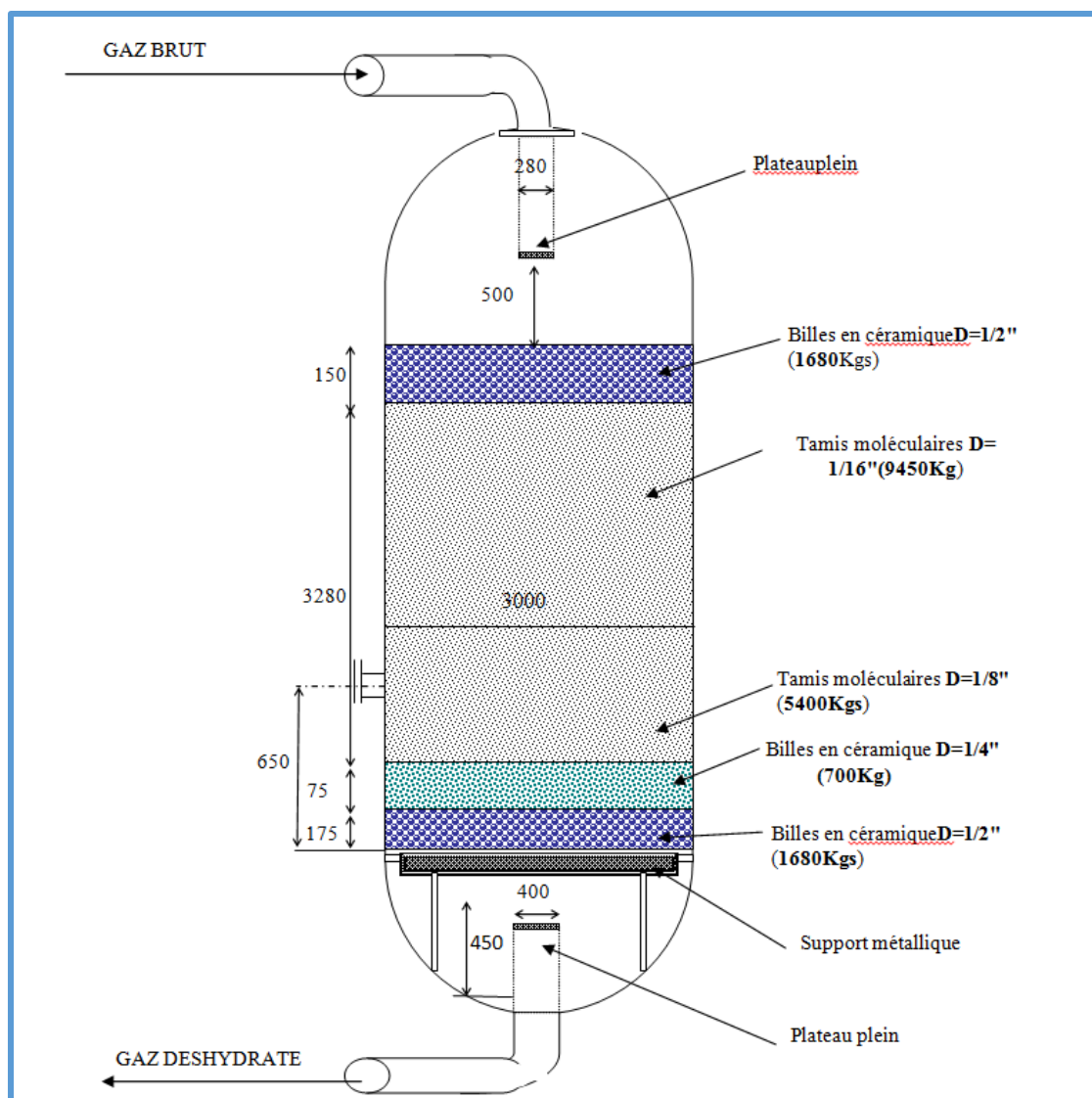


Figure III. 2 : Schéma du déshydrateur D301A/B/C [7]

III.4.8.1. Calcul de la perte de charge dans les grains 1/8" :

D'après l'Eq : I.14 avec $dp_0 = 0,0104$ (fiche technique).

Calculons d'abord la vitesse massique notée $G_{1/8''}$ de la charge (Gaz associé) dans les grains 1/8" qui donnée par l'équation d'IEBOUX Eq : I.6,

Avec $\rho_G = 5.12 \text{ lb/ft}^3$, $\rho_B = 45 \text{ lb. /ft}^3$

On trouve $G_{1/8''} = 5737.37 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$.

On calcule Le nombre de Reynolds note Re est donné $Re = \frac{dp_0 \times G}{\mu}$

Pour le dp_0 est le diamètre effectif des grains cylindriques et est donné par l'équation suivante.

$$dp_0 = \frac{dp}{\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \frac{dp}{L}}$$

dp : diamètre moyen des grains 1/8 " : dp = 0,0104 ft

L : longueur moyenne des grains : L = 0,016 ft

$$dp_0 = \frac{0.0104}{\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \times \frac{0.0104}{0.016}} = 0.0118$$

dp₀ = 0.0118 ft.

μ = 0.033 lb/ft.hr

On trouve

$$Re = \frac{0.0118 \times 5737.37}{0.033} = 2051.54$$

Re = 2051.54.

Puis on calcul la perte de charge dans les grains 1/8" par Eq : I.14, avec $G_{1/8"} = 5737.37 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$, Re = 2051.54, ε = 0.37, dp₀ = 0.0118 ft et ρ_G = 5.12 lb/ft³.

$$\frac{dp \times 4,17 \times 10^8 \times 0,37^3 \times 0,0118 \times 5,12}{dz \times (1 - 0,37) \times 5737,37^2} = 150 \times \frac{(1 - 0,37)}{2051,54} + 1,75, \frac{dp}{dz} \times 0,06168 = 1,7960$$

$$\frac{dp}{dz} = 29.12 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur du lit de (7.64 ft = 2.33 m) : ΔP = 222.47 PsF

III.4.8.2. 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 :

dp₀ = 0.0067 ft.

G_{1/16"} = 4056.93 lb/ft².hr.

$$Re = \frac{0.0067 \times 4056.93}{0.033} \quad Re = 823.67$$

Puis on calcul la perte de charge dans les grains 1/16" par Eq : I.14,

Avec G_{1/16"} = 4056.93 lb/ft².hr, Re = 823.67, ε = 0.37, dp₀ = 0.0067 ft et ρ_G = 5.12 lb/ft³.

$$\frac{dp \times 4,17 \times 10^8 \times 0,37^3 \times 0,0067 \times 5,12}{dz \times (1 - 0,37) \times 4056,93^2} = 150 \times \frac{(1 - 0,37)}{823,67} + 1,75, \frac{dp}{dz} \times 0,0699 = 1,8647$$

$$\frac{dp}{dz} = 26.6771 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur du lit de (3.12 ft) : $\Delta P = 83.23 \text{ PsF}$

III.4.8.3. Calcul de la perte de charge dans les billes en céramique de 1/2" (Parte haute du sécheur) :

En suivant les mêmes étapes que précédemment, mais on applique l'équation Eq : I.15, avec $\varepsilon = 0.63$, $a_p = 111 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$.

On trouve $dp_0 = 0.020 \text{ ft}$ et avec $G = 5586.27 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$.

On obtient $Re = 3345$ donc la perte de charge est

$$\frac{dp}{dz} = 2.04 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur du lit des billes céramiques de 1/2" est

1- En haut : 0,492 ft (150 mm), on trouve $\Delta P = 1.0036 \text{ PsF}$

2- En bas : 0.574 ft (175 mm), on trouve $\Delta P = 1.1709 \text{ PsF}$

La perte de charge totale à travers le 1/2" est de $\Delta P = 2.1745 \text{ PsF}$

III.4.8.4. Calcul de la perte de charge dans les billes céramiques 1/4" :

De la même façon que les bille de 1/2'', avec : $\varepsilon = 0.73$ et $a_p = 80 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$.

$dp_0 = 0.02025 \text{ ft}$ et avec $G = 3941.96 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$ on obtient $Re = 23991.1$

Donc la perte de charge est égale :

$$\frac{dp}{dz} = 0.5 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur des billes céramiques de 1/4" est de 75mm (0.25ft), on trouve

$\Delta P = 0.125 \text{ PsF}$.

III.4.8.5. Calcul des pertes de charges dues aux effets d'expansion et de contraction :

III.4.8.5.1. Perte de charge due à l'expansion :

Appliquons l'équation Eq : I.16, avec : $D_1 = 0.918 \text{ ft}$, $D_2 = 9.84 \text{ ft}$ et $Q = 170.15 \text{ MMScF/d}$.

La vitesse moyenne du gaz dans A_1 notée U est donner par l'équation Eq : I.17, donc U sera égale à : $U = 34.876 \text{ ft/sec}$.

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

$\Delta P = 88.79 \text{ PsF}$

III.4.8.5.2. Perte de charge due à la contraction :

La perte due à la contraction est donnée par l'équation Eq : I.18, donc après calcul on trouve :

$$\Delta P = 39.96 \text{ PsF}$$

III.4.8.5.3. Perte de charge totale à travers le déshydrateur :

La perte de charge totale à travers le déshydrateur D301A/B/C est la somme des pertes de charges calculées, alors on trouve :

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

$$\Delta P = 222.47 + 83.23 + 2.1745 + 0.125 + 88.79 + 39.96 = 436.75 \text{ PsF}$$

$$\Delta P = 0.21 \text{ bars.}$$

La valeur trouvée de la perte de charge totale est comparée à celle de la valeur exigée par le design qui doit être inférieure à 0.5 bar, donc nous sommes dans le domaine permissible par la norme de calcul des pertes de charges à travers les sécheurs de la direction régionale de TFT.

III.4.9. Calcul du débit de gaz de régénération :**III.4.9.1. Phase chauffage :****III.4.9.1.1. Quantité de chaleur nécessaire pour le chauffage du lit du tamis**

moléculaire :

La quantité de chaleur nécessaire pour chauffer le lit du tamis moléculaire notée Q_1 est donnée par l'équation Eq : I.19, avec $M_T = 24509.26 \text{ lb}$, $C_{pT} = 0.2 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$. et $T_F = 290^\circ\text{C} = 554^\circ\text{F}$, $T_I = 122^\circ\text{F}$. $Q_1 = 24509.26 \times 0.2 \times (554 - 122)$

On trouve $Q_1 = 2117600.064 \text{ Btu}$ ($5.33 \times 10^5 \text{ Kcal}$).

III.4.9.1.2. Quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique :

De la même façon, on calcul la quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique notée Q_2 , et cela en se basant sur l'équation Eq : I.20, avec

Masse de céramique 1/2" $M_{C2} = 7098.876 \text{ lb}$;

Masse de céramique 1/4" $M_{C1} = 1635.828 \text{ lb}$;

Masse total de la céramique $M_C = 8734.704 \text{ lb}$;

$$C_{pC} = 0.25 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}. \quad Q_2 = 8734.704 \times 0.25 \times (554 - 122)$$

On trouve $Q_2 = 943348.032 \text{ Btu}$ ($2.38 \times 10^5 \text{ kcal}$).

III.4.9.1.3. Quantité de chaleur pour le chauffage du déshydrateur vide :

En utilisant l'équation Eq : I.21, on calcul la quantité de chaleur nécessaire pour le chauffage du déshydrateur, avec $M_{dv}=51000 \text{ kg} = 112435.62 \text{ lb}$, $C_{pdv}= 0.12 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$.

On trouve $Q_3 = 112435.62 \times 0.12 \times (554 - 122)$

$Q_3 = 5828662.541 \text{ Btu} (1.47 \cdot 10^6 \text{ Kcal})$.

III.4.9.1.4. 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 Eq : I.22, avec $M_e= 2671.68 \text{ lb}$ et $C_{pe}= 1 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$.

Donc après le calcul on trouve : $Q_4 = 2671.68 \times 1 \times (554 - 122) + (2671.68 \times 1800)$

$Q_4 = 5963189.76 \text{ Btu} (1.50 \cdot 10^6 \text{ Kcal})$.

III.4.9.1.5. 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 donné

Par L'équation Eq : I.23, avec : $M_h= 0.1 M_e$, $M_e= 2671.68 \text{ lb}$, $C_{ph}= 0.91 \text{ Btu/ lb}^\circ\text{F}$ et $H_h= 342 \text{ Btu/ lb}^\circ\text{F}$ $Q_5 = 267.168 \times 0.91 \times (554 - 122) + (267.168 \times 342)$

Donc on trouve $Q_5 = 196400.54 \text{ Btu} (0.49 \cdot 10^5 \text{ kcal})$

III.4.9.1.6. Quantité de chaleur totale à fournir pour le chauffage :

La quantité de chaleur total nécessaire pour le chauffage notée Q_{ch} est la somme des Quantités de chaleur calculées précédemment, et elle donnée par l'équation suivante

$$Q_{ch} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) \times 1,1$$

Avec $Q_1 = 2117600.064 \text{ Btu}$, $Q_2 = 943348.03 \text{ Btu}$, $Q_3 = 5828662.54 \text{ Btu}$,

$Q_4 = 5963189.76 \text{ Btu}$ et $Q_5 = 196400.54 \text{ Btu}$

On trouve $Q_{ch} = 16554121.03 \text{ Btu} (4.17 \cdot 10^6 \text{ kcal})$.

III.4.9.1.7. Débit de gaz de régénération en phase de chauffage :

Pour calculer le débit de gaz de régénération en phase chauffage nous devant tout

D'abord calculer la température moyenne du lit et cela à l'aide de l'équation Eq : I.24,

Avec $T_1 = 50^\circ\text{C} = 122^\circ\text{F}$, $T_3 = 428^\circ\text{F}$, $T_2 = 248^\circ\text{F}$ et $T_4 = 500^\circ\text{F}$ avec T_1, T_2, T_3 et T_4 sont déterminés à partir de l'annexe.

$$T_A = \frac{122 + 248}{2} = 185^\circ\text{F}$$

$$T_B = \frac{248 + 428}{2} = 338^\circ F$$

Et.

$$T_{moy} = \frac{185 + 338 + 500}{3} = 341^\circ F$$

On trouve $T_{moy} = 341.0^\circ F$ ($171.7^\circ C$)

Calculons le débit de gaz de régénération notée M_{GR} , en utilisant l'équation Eq : I.25

Et avec : $Q_{Ch} = 16554121.03$ Btu, $T_F = 554^\circ F$, $T_{moy} = 341^\circ F$ et $C_{PGR} = 0.72$ Btu/lb $^\circ F$ et

$$Q_{ch} = 3.75 \text{ h. } M_{GR} = \frac{16554121.03}{3.75 \times (554 - 341) \times 0.72} = 28784.77 \text{ lb/h.}$$

On trouve $M_{GR} = 28784.77$ lb/h (13056.77 kg/h).

III.4.9.2. Phase de refroidissement :

Pour calculer le débit de gaz de régénération en phase de refroidissement, en utilise l'équation Eq : I.26, avec : $Q_{rt} = 2117600.064$ Btu, $Q_{rb} = 943348.03$ Btu et

$$Q_{rd} = 5828662.54 \text{ Btu d'où :}$$

$$Q_r = 8889610.63 \text{ Btu (} 2.24 \cdot 10^6 \text{ Kcal)}$$

D'après la figure 3 dans la partie annexes on détermine $T_H = 554^\circ F$ et $T_5 = 122^\circ F$

$$T_D = \frac{554 + 122}{2} = 338^\circ F$$

Donc à partir de Eq : I.27, avec $T_D = 331^\circ F$, $T_H = 554^\circ F$ et $C_{PGR} = 0.56$ Btu/lb $^\circ F$

Pour un temps design de refroidissement de 3.75 heures.

$$M'_{GR} = \frac{8889610.63}{3.75 \times (554 - 338) \times 0.56} = 19597.91 \text{ lb/h}$$

On trouve $M'_{GR} = 19597.91$ lb/h (8889.61 kg/h).

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

$$Q_T = Q_{Ch} + Q_{ref}$$

$$Q_T = 16554121.03 + 8889610.63 \text{ Btu}$$

On trouve $Q_T = 25443731.66$ Btu ($6.4 \cdot 10^6$ kcal).

Les résultats trouvés pour le cas hiver sont consignés dans le tableau suivant :

Paramètres	Résultats
Facteur de compressibilité	0.83
Masse molaire (g/mole)	21.37
Densité relative du gaz	0.7
Masse volumique du mélange (kg/m ³)	82.00
Vitesse superficielle admise (m/min)	5.99
Diamètre (m)	2.81
Epaisseur (mm)	92.46
Hauteur de la zone de transfert (m)	2.01
Hauteur total du lit (m)	2.48
Quantité cycle d'eau adsorbée (kg/cycle)	1211.87
Quantité d'eau absorbée (kg/h)	302.97
Perte de charge totale (bar/sécheur)	0.21
Débit de gaz de régénération chauffage (kg)	13056.77
Débit de gaz de régénération refroidissement (kg)	8889.61
Masse total du lit (kg)	11117.21
Teneur en eau (lbH ₂ O/MMScf de gaz)	92

Tableau III.3 : Résultats de calcul cas hiver [4]

III.4.10. Calcul des temps de fonctionnements des sécheurs : [4]

III.4.10.1. Calcul du temps de rupture (breaktrought) :

La quantité d'eau absorbée par la surface du lit par heure est $Q' = 9.99 \text{ lbH}_2\text{O/hr.ft}^2$

Appliquant l'équation Eq : I.30,

Avec $\rho_B = 45 \text{ lb/ft}^3$, $h_B = 8.14 \text{ ft}$, $h_z = 6.61 \text{ ft}$, $X_s = 22 \text{ lbH}_2\text{O}/100\text{lb}$ tamis (fiche technique)

Le temps de rupture sera calculé comme suit :

$$t_B = \frac{0.01 \times 45 \times 22}{9.98} \times (8.14 - 0.5 \times 6.61) = 4.79 \text{ h}$$

Le temps de rupture est de 4.79 h qui correspond à 4 heures et 47 min de service (l'apparition à la sortie du gaz une concentration en eau de $C_1/C_0 = 5 \%$).

III.4.10.2. Calcul du temps de saturation :

La quantité d'eau absorbée par la surface du lit par heure est $Q' = 9.98 \text{ lbH}_2\text{O/hr.ft}^2$

Appliquant l'équation Eq : I.31,

Avec $\rho_B = 45 \text{ lb/ft}^3$, $h_B = 8.14 \text{ ft}$, $X_s = 22 \text{ lbH}_2\text{O}/100\text{lb}$ tamis (fiche technique)

Le temps de rupture sera calculé comme suit :

$$t_{Sat} = \frac{0.01 \times 45 \times 22}{9.98} \times 8.14 = 8.07 \text{ h}$$

Le temps de saturation est de 8.07 h qui correspond à 8 heures et 5 min de service pour avoir une saturation complète du tamis et on trouve à la sortie des sécheurs une concentration en eau $C_1/C_0 = 95\%$.

III.5. Période d'été :

► **Conditions opératoires design : [4]**

Pression : 80 bars

Température : $55^\circ\text{C} = 328^\circ\text{K} = 548.7^\circ\text{R}$

Débit de gaz associe : $4\ 870\ 100\ \text{Sm}^3/\text{j} = 171.96\ \text{MMScf}/\text{d}$

Débit d'eau : $430\ \text{kg}/\text{h} = 947.97\ \text{lb}/\text{h}$ (entrée de sécheur).

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

composition	Molaire%
N ₂	1,71
CO ₂	1
CH ₄	73,68
C ₂ H ₆	11,25
C ₃ H ₈	6,68
iC ₄ h ₁₀	0,75
nC ₄ H ₁₀	2,21
iC ₅ H ₁₂	0,7
nC ₅ H ₁₂	0,99
nC ₆ H ₁₄	0,7
nC ₇ H ₁₆	0,31
nC ₈ H ₂₀	0,02
TOTAL	100

Tableau III.4 : Composition gaz de la charge ‘cas été’

- **Vérification du design :** Pour le cas été nous allons suivre la même procédure et les mêmes étapes de calculs que le cas hiver afin d'aboutir aux résultats suivants.

III.5.1. Calcul du facteur de compressibilité Z :

III.5.1.1. Calcul des températures, pressions critiques de la charge gaz :

Composition	Yi % mol	Tci (°k)	Yi x Tci	Pci (psi)	Yi x Pci
N ₂	1,71	126,2	2.16	492,45	8.42
CO ₂	1	304,2	3,04	1073,45	10.73
CH ₄	73,68	191,1	140.80	673,26	496.05
C ₂ H ₆	11,25	305,5	34.37	708,54	79.71
C ₃ H ₈	6,68	370	24.72	617,4	41.24
IC ₄ H ₁₀	0,75	408,1	3.06	529,2	3.969
nC ₄ H ₁₀	2,21	425,2	9.40	551,25	12.18
IC ₅ H ₁₂	0,7	461	3.23	483,63	3.38
nC ₅ H ₁₂	0,99	469,8	4.65	489,51	4.85
nC ₆ H ₁₄	0,7	507,9	3.55	439,53	3.08
nC ₇ H ₁₆	0,31	540,2	1.67	396,9	1.23
nC ₈ H ₂₀	0.01	568.68	0.05	361.42	0.03
Total	1		230.70		664.87

Tableau III.5 : Propriétés critiques du gaz [7]

On trouve :

$$T_{cm} = 230.70^{\circ}\text{K}$$

$$P_{cm} = 664.87 \text{ psia}$$

III.5.1.2. Calcul des températures et pressions réduites de la charge :

Avec $T = 328,15 \text{ K}$, et $P = 1160,29 \text{ pisa}$, appliquons Eq : I.1 & I.2

$$\Rightarrow T_{rm} = \frac{328.15}{230.70} = 1.42$$

$$\Rightarrow P_{rm} = \frac{1160.29}{664.87} = 1.74$$

$$T_{rm} = 1.42$$

$$P_{rm} = 1.74$$

En utilisant l'abaque universel de l'annexe A, pour le point A (1.42 ; 1.74), on trouve $Z = 0,80$

III.5.1.3. Calcul de densité relative du gaz :

Appliquons Eq : I.3 avec $MW = 22.90 \text{ g/mol}$ on trouve : $d_G = 0,79$

III.5.1.4. Calcul de la masse volumique du gaz :

Appliquons Eq : I.4 avec les valeurs suivantes :

$$Z = 0,80$$

$$P = 1160,29 \text{ psia}$$

$$MW = 22.90 \text{ g/mole}$$

$$T = 55^\circ\text{C} = 328^\circ\text{K} = 548,47^\circ\text{R} \quad \text{et} \quad R = 10,73 \text{ psia ft}^3/\text{lb}\cdot^\circ\text{R}$$

$$\text{Nous obtenons : } \rho_G = 5.64 \text{ lb/ft}^3 \quad (90.38 \text{ kg/m}^3).$$

III.5.1.5. Calcul de la vitesse superficielle du gaz :

Appliquons Eq : I.5 & I.6 on trouve pour l'équation Eq : I.6 pour chaque tamis moléculaire :

$$- \text{ Pour tamis } 1/8'' : G = 6021.68 \text{ lb gaz/h.ft}^2.$$

$$- \text{ Pour tamis } 1/16'' : G = 4257.97 \text{ lb gaz/h.ft}^2.$$

$$\text{Puis par Eq : I.5, on trouve : } V_g = 20.08 \text{ ft/min} = 6.12 \text{ m/min}$$

III.5.2. Calcul de Diamètre minimum de la colonne du lit :

En utilisant Eq : I.7, avec : $V_g = 20.08 \text{ ft/mn}$ et $Q = 171.96 \text{ MMscf/d}$

$$\text{On aura : } d = 9.01 \text{ ft} = 2.74 \text{ m.}$$

III.5.3. Calcul de la quantité d'eau absorbée pendant la durée de cycle de 4 heures :

Appliquons Eq : I.8, avec $Y_w = 120.3 \text{ lbH}_2\text{O/MMScF}$ (voir annexe) et $Q = 171.96 \text{ MMScF/j.}$

On trouve

$$m_w = \frac{4 \times 171.96 \times 120.3}{24} = 3447.80 \text{ lb H}_2\text{O/cycle}$$

$m_w = 3447.80 \text{ lb H}_2\text{O/cycle} = 1563.92 \text{ kg H}_2\text{O/cycle} = 390.98 \text{ kg H}_2\text{O/h}$, puis on utilise l'équation Eq : I.9 pour déterminer q .

$$q = \frac{3447.80}{\pi \times 9.01^2} = 13.52 \text{ lb/h.ft}^2$$

III.5.4. Hauteur de la zone de transfert de masse :

En utilisant Eq : I.10, Avec : $q = 13.52 \text{ lb/h.ft}^2$, $V_g = 20.08 \text{ ft/min}$ et $R_h = 100\%$.

$$\text{On trouve : } h_z = 99.67 \text{ inch} = 2.53 \text{ m} = 8.30 \text{ ft}$$

III.5.5. Hauteur d'équilibre :

Appliquons l'équation Eq : I.11, Avec : $m_w = 3447.80 \text{ lbH}_2\text{O/cycle}$, $\rho_B = 45 \text{ lb/cft}$, $d = 9.01 \text{ ft}$ et $X = \text{La capacité à la saturation} = 22 \text{ lbH}_2\text{O}/100\text{lb tamis}$

$$\text{On trouve : } h_{\text{éq}} = 5.46 \text{ ft} = 1.66 \text{ m}$$

III.5.6. Hauteur minimale de lit :

En appliquons Eq : I.11 bis, On trouve : $h_B = 11.02 \text{ ft} = 3.36 \text{ m}$

III.5.7. Calcul de la masse du tamis :

Appliquons l'Eq : I.12, avec $h_B = 9.12 \text{ m}$, On trouve :

$$M = 26166.57 \text{ lb} = 11869.15 \text{ kg}$$

III.5.8. Calcul de l'épaisseur du déshydrateur :

Appliquons l'Eq : I.13 avec $P = 1160.29 \text{ psia}$ et $d = 9.01 \text{ ft} = 108.12 \text{ inch}$

On trouve : $e = 3.44 \text{ inch} = 87.37 \text{ mm}$ et $e' = 90.37 \text{ mm} = 3.56 \text{ inch}$

III.5.9. Calcul de la perte de charge :

III.5.9.1. Calcul de la perte de charge dans les grains 1/8" :

D'après l'Eq : I.6, avec $\rho_G = 5.64 \text{ lb/ft}^3$, $\rho_B = 45 \text{ lb./ft}^3$, $G_{1/8"} = 6021.68 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$.

D'après Eq : I.14 avec $dp_o = 0.0118 \text{ ft}$.

$$\mu = 0.033 \text{ lb/ft} \cdot \text{hr}$$

On trouve :

$$Re = 2153.20$$

Puis on calcul la perte de charge dans les grains 1/8" par Eq : I.14, avec $G_{1/8"} = 6021.68 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$, $Re = 2153.20$, $\varepsilon = 0.37$, $dp_o = 0.0118 \text{ ft}$ et $\rho_G = 5.64 \text{ lb/ft}^3$.

$$\frac{dp \times 4.17 \times 10^8 \times 0.37^3 \times 0.0118 \times 5.64}{dz \times (1 - 0.37) \times 6021.68^2} = 150 \times \frac{(1 - 0.37)}{2153.20} + 1.75$$

$$\frac{dp}{dz} \times 0.06153 = 1.7939 \quad \text{Et} \quad \frac{dp}{dz} = 29.15 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur du lit de (7,64 ft) : $\Delta P = 222.74 \text{ PsF}$

III.5.9.2. 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". On trouve :

$$G_{1/16"} = 4257.97 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$$

$$Re = \frac{0.0067 \times 4257.97}{0.033} \quad Re = 864.49$$

Puis on calcul la perte de charge dans les grains 1/16" par Eq : I.14, avec

$$G_{1/16"} = 4257.97 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}, \quad Re = 864.49, \quad \varepsilon = 0.37, \quad dp_o = 0.0067 \text{ ft} \quad \text{et} \quad \rho_G = 5.64 \text{ lb/ft}^3$$

$$\frac{dp \times 4,17 \times 10^8 \times 0,37^3 \times 0,0067 \times 5,64}{dz \times (1 - 0,37) \times 4257,97^2} = 150 \times \frac{(1 - 0,37)}{864,49} + 1,75$$

$$\frac{dp}{dz} \times 0,0699 = 1,8593 \quad \text{Et} \quad \frac{dp}{dz} = 26,60 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur du lit de (3,12 ft) : $\Delta P = 82,99 \text{ PsF}$

III.5.9.3. Calcul de la perte de charge dans les billes en céramique de 1/2" (Parte haute du sécheur) :

En suivant les mêmes étapes que précédemment, mais on applique l'équation Eq : I.15, avec $\varepsilon = 0,63$, $a_p = 111 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$.

On trouve :

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

$$Re = 3345, \text{ donc la perte de charge est } \frac{dp}{dz} = 2,04 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur du lit des billes céramiques de 1/2" est

- En haut : 0,492 ft (150 mm), on trouve $\Delta P = 1,00368 \text{ PsF}$
- En bas : 0,574 ft (175 mm), on trouve $\Delta P = 1,17096 \text{ PsF}$

La perte de charge totale à travers le 1/2" est de $\Delta P = 2,1746 \text{ PsF}$

III.5.9.4. Calcul de la perte de charge dans les billes céramiques 1/4" :

De la même façon que les bille de 1/2", avec : $\varepsilon = 0,73$ et $a_p = 80 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$.

$dp_0 = 0,02025 \text{ ft}$, on trouve :

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

$$Re = 23991,1 \text{ donc la perte de charge est } \frac{dp}{dz} = 0,5 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur des billes céramiques de 1/4" est de 75mm (0,25ft), on trouve

$$\Delta P = 0,125 \text{ PsF/ft.}$$

III.5.9.5. Calcul des pertes de charges dues aux effets d'expansion et de contraction :

III.5.9.5.1. Perte de charge due à l'expansion :

Appliquons l'équation Eq : I.16, avec : $D_1 = 0,918 \text{ ft}$, $D_2 = 9,84 \text{ ft}$ et $Q = 170,15 \text{ MMScF/d}$.

La vitesse moyenne du gaz dans A_1 notée U est donné par l'équation Eq : I.17,

Donc U sera égale à : $U = 34,876 \text{ ft/sec}$.

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

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

III.5.9.5.2. Perte de charge due à la contraction :

La perte due à la contraction est donnée par l'équation Eq : I.18, donc après calcul on trouve :

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

III.5.9.6. Perte de charge totale à travers le déshydrateur :

La perte de charge totale à travers le déshydrateur D301A/B/C est la somme des pertes de charges calculées, alors on trouve :

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

$$\Delta P = 222.74 + 82.99 + 2.1746 + 0.125 + 88.79 + 39.96 = 436.78$$

$$\Delta P = 0,21 \text{ bar}$$

On compare la valeur trouvée à celle de la perte de charge exigé qui doit être inférieur à 0.5 bar, donc nous sommes dans le domaine permisible par la norme internationale de calcul des pertes de charges à travers les sécheurs.

III.5.10. Calcul du débit de gaz de régénération :

III.5.10.1. Phase chauffage :

III.5.10.1.1. Quantité de chaleur nécessaire pour le chauffage du lit du tamis moléculaire :

La quantité de chaleur nécessaire pour chauffer le lit du tamis moléculaire notée Q_1 est donnée par l'équation Eq : I.19, avec $M_T = 26166.57 \text{ lb}$, $C_{pT} = 0.2 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$. et $T_F = 554^\circ\text{F}$, $T_I = 55^\circ\text{C} = 131^\circ\text{F}$. On trouve $Q_1 = 2213691.82 \text{ Btu}$ ($5.57 \cdot 10^5 \text{ Kcal}$).

III.5.10.1.2. Quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique :

De la même façon, on calcul la quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique notée Q_2 , et cela en se basant sur l'équation Eq : I.20, avec

$$\text{Masse de céramique } 1/2" \quad M_{C2} = 7098.876 \text{ lb ;}$$

$$\text{Masse de céramique } 1/4" \quad M_{C1} = 1635.828 \text{ lb ;}$$

$$\text{Masse total de la céramique } M_C = 8734.704 \text{ lb ;}$$

$$C_{pC} = 0.25 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}. \quad \text{On trouve } Q_2 = 923694.95 \text{ Btu} \quad (2.33 \cdot 10^5 \text{ kcal}).$$

III.5.10.1.3. Quantité de chaleur pour le chauffage du déshydrateur vide :

En utilisant l'équation Eq : I.21, on calcul la quantité de chaleur nécessaire pour le chauffage du déshydrateur, avec $M_{dv}=51000 \text{ kg} = 112435.62 \text{ lb}$, $C_{pdv}= 0.12 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$.

On trouve : $Q_3 = 5707232.07 \text{ Btu} (1.44 \cdot 10^6 \text{ Kcal})$.

III.5.10.1.4. 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 Eq : I.22, avec $M_e= 3447.80 \text{ lb}$ et

$$C_{pe}= 1 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}. \quad Q_4 = 2671.68 \times 1 \times (554 - 122) + (2671.68 \times 1800)$$

Donc après le calcul on trouve : $Q_4 = 7695489.6 \text{ Btu} (1.93 \cdot 10^6 \text{ Kcal})$.

III.5.10.1.5. 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 donné

Par L'équation Eq : I.23, avec : $M_h= 0.1 M_e$, $M_e= 3447.80 \text{ lb}$, $C_{ph}= 0.91 \text{ Btu/ lb}^\circ\text{F}$ et

$$H_h= 342 \text{ Btu/ lb}^\circ\text{F} \quad Q_5 = 344.78 \times 0.91 \times (554 - 131) + (344.78 \times 342)$$

Donc on trouve : $Q_5 = 250630.92 \text{ Btu} (0.63 \cdot 10^5 \text{ kcal})$

III.5.10.1.6. Quantité de chaleur totale à fournir pour le chauffage :

La quantité de chaleur totale nécessaire pour le chauffage notée Q_{ch} est :

$$Q_{ch} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) \times 1,1$$

Avec $Q_1 = 2213691.82 \text{ Btu}$, $Q_2 = 923694.95 \text{ Btu}$, $Q_3 = 5707232.07 \text{ Btu}$,

$Q_4 = 7965489.6 \text{ Btu}$ et $Q_5 = 250630.92 \text{ Btu}$

On trouve $Q_{ch} = 17060739.36 \text{ Btu} (4.29 \cdot 10^6 \text{ kcal})$.

III.5.10.1.7. Débit de gaz de régénération en phase de chauffage :

Pour calculer le débit de gaz de régénération en phase chauffage nous devant tout

D'abord calculer la température moyenne du lit et cela à l'aide de l'équation Eq : I.24,

Avec $T_1 = 55^\circ\text{C} = 131^\circ\text{F}$, $T_3 = 428^\circ\text{F}$, $T_2 = 248^\circ\text{F}$ et $T_4 = 500^\circ\text{F}$ avec T_1, T_2, T_3 et T_4 sont déterminés à partir de l'annexe.

$$T_A = \frac{131 + 248}{2} = 189.8^\circ\text{F}$$

$$T_B = \frac{248 + 428}{2} = 338^\circ\text{F} \quad \text{Et. } T_{moy} = \frac{189.8 + 338 + 500}{3} = 342.6^\circ\text{F}$$

On trouve $T_{\text{moy}} = 342.6 \text{ }^{\circ}\text{F}$ ($172.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Calculons le débit de gaz de régénération notée M_{GR} , en utilisant l'équation Eq : I.25

Et avec : $Q_{\text{ch}} = 17060739.36 \text{ Btu}$, $T_{\text{F}} = 554 \text{ }^{\circ}\text{F}$, $T_{\text{moy}} = 342.6 \text{ }^{\circ}\text{F}$ et $C_{\text{PGR}} = 0.72 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$ et $\Theta_{\text{ch}} = 3.75 \text{ h}$. On trouve : $M_{\text{GR}} = 29890.22 \text{ lb/h}$ (13558.20 kg/h).

III.5.10.2. Phase de refroidissement :

Pour calculer le débit de gaz de régénération en phase de refroidissement, en utilise l'équation Eq : I.26, avec : $Q_{\text{rt}} = 2213691.82 \text{ Btu}$, $Q_{\text{rb}} = 923694.95 \text{ Btu}$ et

$Q_{\text{rd}} = 5707232.07 \text{ Btu}$ d'où : $Q_{\text{r}} = 8844618.84 \text{ Btu}$ ($2.22 \cdot 10^6 \text{ Kcal}$)

D'après la figure 3 dans la partie annexes on détermine $T_4 = 500 \text{ }^{\circ}\text{F}$ et $T_5 = 131 \text{ }^{\circ}\text{F}$

$$T_D = \frac{554 + 131}{2} = 342.5 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Donc à partir de Eq : I.27, avec $T_D = 331 \text{ }^{\circ}\text{F}$, $T_{\text{F}} = 554 \text{ }^{\circ}\text{F}$ et $C_{\text{PGR}} = 0.56 \text{ Btu/lb }^{\circ}\text{F}$

Pour un temps design de refroidissement de 3.75 heures. On trouve $M'_{\text{GR}} = 18886.65 \text{ lb/h}$ (8566.98 kg/h).

D'où La quantité de chaleur totale nécessaire pour chaque régénération est :

$$Q_{\text{T}} = Q_{\text{Ch}} + Q_{\text{ref}}$$

$Q_{\text{T}} = 17060739.36 + 8844618.84$. On trouve $Q_{\text{T}} = 25905358.2 \text{ Btu}$ ($6.52 \cdot 10^6 \text{ kcal}$).

Les résultats trouvés pour le design cas été sont consignés dans le tableau suivant :

Paramètres	Résultats
Facteur de compressibilité	0,8
Masse molaire (g/mole)	22,90
Densité relative du gaz	0,79
Masse volumique du mélange (kg/m^3)	90.38
Vitesse superficielle admise (m/min)	6.12
Diamètre (m)	2,74
Epaisseur (mm)	90.37
Hauteur de la zone de transfert (m)	2,53
Hauteur total du lit (m)	3.36
Quantité cycle d'eau adsorbée (kg/lit)	1563.92
Quantité d'eau absorbée (kg/h)	390.98
Perte de charge totale (bar/sécheur)	0,21
Débit de gaz de régénération chauffage (kg)	13558.20
Débit de gaz de régénération refroidissement (kg)	8566.98
Masse total du lit (kg)	11869.15
Teneur en eau ($\text{lbH}_2\text{O/MMScf}$ de gaz)	120.3

Tableau III.6 : Résultats de calcul cas été

III.5.10.3. Calcul des temps de fonctionnements des sécheurs :**III.5.10.3.1. Calcul du temps de rupture (breaktrought) :**

La quantité d'eau absorbée par la surface du lit par heure est $Q' = 13.52 \text{ lbH}_2\text{O/hr.ft}^2$

Appliquant l'équation Eq : I.30,

Avec $\rho_B = 45 \text{ lb/ft}^3$, $h_B = 11.02 \text{ ft}$, $h_z = 8.30 \text{ ft}$, $X_s = 22 \text{ lbH}_2\text{O}/100\text{lb}$ tamis (fiche technique)

Le temps de rupture sera calculé comme suit :

$$t_B = \frac{0.01 \times 45 \times 22}{13.52} \times (11.02 - 0.5 \times 8.30) = 5.03 \text{ h}$$

Le temps de rupture est de 5.03 h qui correspond à 4 heures et 61.8 min de service (l'apparition à la sortie du gaz une concentration en eau de $C_1/C_0 = 5 \%$).

III.5.10.3.2. Calcul du temps de saturation :

La quantité d'eau absorbée par la surface du lit par heure est $Q' = 13.52 \text{ lbH}_2\text{O/hr.ft}^2$

Appliquant l'équation Eq : I.31,

Avec $\rho_B = 45 \text{ lb/ft}^3$, $h_B = 11.02 \text{ ft}$, $X_s = 22 \text{ lbH}_2\text{O}/100\text{lb}$ tamis (fiche technique)

Le temps de rupture sera calculé comme suit $t_{Sat} = \frac{0.01 \times 45 \times 22}{13.52} \times 11.02 = 8.06 \text{ h}$

Le temps de service est de $t_s = 8.06 \text{ h}$ qui correspond à 8 heures et 4 mn de service (en adsorption).

III.6. Comparaison entre les résultats obtenus dans les deux cas de fonctionnement (hiver, été) et le design :**III.6.1. Cas Hiver :**

Paramètres	Design	Calculé Cas Hiver	% Ecart
Diamètre (m)	3	2,81	6.3
Epaisseur (mm)	98,5	92.46	6.1
Quantité d'eau absorbée (kgH ₂ O/h)	338	302.96	10.4
Hauteur du lit	3,280	2,48	24.4

Tableau III.7 : Comparaison des résultats de dimensionnement cas hiver avec le design

On remarque que les écarts entre les résultats calculés dans le cas de fonctionnement hiver et celui du design sont faibles, sauf pour la hauteur du lit est de 24.4% qui explique la non utilisation de la totalité du lit ou d'une manière très précise les tamis moléculaires actuels sont mal exploités ou exploité que à 75.6 %.

Ce mal exploitation de la hauteur du lit a engendrée des quantités moins en termes de de la masse totale du lit et un débit du gaz de régénération par rapport aux quantités exigées par le design comme monté dans le tableau suivant :

Paramètres	Design	Calculé Cas Hiver	% Ecart
Débit de gaz de régénération (kg/h)	15000	13056.77	12.9
Masse du lit (kg tamis/déshydrateur)	14800	11117.21	24.88
Perte de charge (bar)	0,5 max	0,21	

Tableau III.7 bis : Comparaison des résultats cas hiver avec le design

III.6.2.Cas été :

Paramètres	Design	Calculé Cas été	% Ecart
Diamètre (m)	3	2.74	8.7
Epaisseur (mm)	98,5	90.38	8.2
Quantité d'eau absorbée (kgH ₂ O/h)	338	390.38	15.5
Hauteur du lit	3,280	3.36	(-) 2.4

Tableau III.8 : Comparaison des résultats de dimensionnement cas été avec le design

D'après cette comparaison, on remarque que les écarts entre les résultats calculés dans le cas de fonctionnement été et ceux du design sont faibles. Sauf pour la hauteur, on constate que la totalité de la hauteur des tamis est utilisée et cette dernière a engendré un excès en termes de quantité de tamis à mettre en place et un débit du gaz de régénération pour le chauffage équivalent à la valeur design. Comme décrit dans le tableau suivant.

Paramètres	Design	Calculé Cas été	% Ecart
Débit de gaz de régénération (kg/h)	15000	13558.20	9.6
Masse du lit (kg tamis/déshydrateur)	14800	11869.15	19.8
Perte de charge (bar)	0,5 max	0,21	

Tableau III.8 bis : Comparaison des résultats cas été avec le design

Donc d'après les résultats trouvés pour le dimensionnement des sècheurs on peut conclure les points suivants :

- ☞ Les écarts entre les résultats calculés (hiver, été) et celui du design (hiver, été) sont très faibles de l'ordre de 8 %

Pour le diamètre et 0% pour le temps d'adsorption (séchage) des sècheurs.

- ☞ Dans le fonctionnement d'hiver, l'écart entre les résultats calculés et celui du design est de 25% pour la hauteur du lit qui explique son surdimensionnement. Cette différence en hauteur montre l'utilisation que de 75% de la totalité de lit pendant les 4 heures d'adsorption.
- ☞ Dans le fonctionnement été, l'écart entre les résultats calculés et celui du design est de - 3 % qui explique son sous-dimensionnement. Cette différence en hauteur négative montre une mauvaise déshydratation du gaz pendant les 4 heures d'adsorption.
- En résumé on peut dire que pour les temps d'adsorption sont conformes aux valeurs design qui exige 4 heures d'adsorption. Le résultat de comparaison est consigné dans le tableau suivant.

Paramètres	Design	Calcul	
		P. Hiver	P. été
Temps de service (h)	4	3.99	3.99
Temps de rupture (h)	Après 4 heures de service	4.79	5.03
Temps de la saturation (h)	Après 2 fois temps d'adsorption	8.07	8.06

Tableau III.9 : Comparaison des résultats des temps d'adsorption avec le design

III.6.3. Calcul des déshydrateurs dans les conditions actuelles (débit et composition de la charge) : [8]

Pression : 80 bars

Température : $58^{\circ}\text{C} = 331^{\circ}\text{K} = 551.47^{\circ}\text{R}$

Débit de gaz associé : $3000000 \text{ Sm}^3/\text{J} = 105.93 \text{ MScF/d}$

La composition du gaz associé est donnée par le tableau suivant.

Composition	% molaire
N ₂	1.65
CO ₂	0.83
CH ₄	78.05
C ₂ H ₆	12.15
C ₃ H ₈	5.42
iC ₄ H ₁₀	0.45
nC ₄ H ₁₀	1.10
iC ₅ H ₁₀	0.17
nC ₅ H ₁₀	0.18
TOTAL	100,0

Tableau III.10 : Composition gaz de la charge "cas actuel" [4]

III.6.4. Calcul du facteur de compressibilité Z :**III.6.4.1. Calcul des températures, pressions critiques de la charge gaz :**

Composition	Yi % mol	Tci (°k)	Yi x Tci	Pci (psi)	Yi x Pci
N ₂	1,65	126,2	2,0823	492,45	8,125425
CO ₂	0,83	304,2	2,52486	1073,45	8,909635
CH ₄	78,05	191,1	149,1536	673,26	525,47943
C ₂ H ₆	12,15	305,5	37,11825	708,54	86,08761
C ₃ H ₈	5,42	370	20,054	617,4	33,46308
IC ₄ H ₁₀	0,45	408,1	1,83645	529,2	2,3814
nC ₄ H ₁₀	1,1	425,2	4,6772	551,25	6,06375
IC ₅ H ₁₂	0,17	461	0,7837	483,63	0,822171
nC ₅ H ₁₂	0,18	469,8	0,84564	489,51	0,881118
Total	1		219,076		672,213

Tableau III.11 : Propriétés critiques du gaz [7]

On trouve :

$$T_{cm} = 219.07^{\circ}\text{K}$$

$$P_{cm} = 672.21 \text{ psia}$$

III.6.4.2. Calcul des températures et pressions réduites de la charge :

Avec $T = 328,15 \text{ K}$, et $P = 1160,29 \text{ pisa}$, appliquons Eq : I.1 & I.2

$$\Rightarrow T_{rm} = \frac{331}{219.07} = 1.51$$

$$\Rightarrow P_{rm} = \frac{1160.29}{672.21} = 1.72$$

$$T_{rm} = 1.51$$

$$P_{rm} = 1.72$$

En utilisant l'abaque universel de l'annexe A, pour le point A (1.51 ; 1.72), on trouve $Z = 0,85$

III.6.4.3. Calcul de densité relative du gaz :

Appliquons Eq : I.3 avec $MW = 20.51 \text{ g/mol}$ on trouve : $d_G = 0,71$

III.6.4.4. Calcul de la masse volumique du gaz :

Appliquons Eq : I.4 avec les valeurs suivantes :

$$Z = 0,85$$

$$P = 1160,29 \text{ psia}$$

$$MW = 20.51 \text{ g/mole}$$

$$T = 58^\circ\text{C} = 331^\circ\text{K} = 551,47^\circ\text{R} \quad \text{et} \quad R = 10,73 \text{ psia ft}^3/\text{lb}\cdot^\circ\text{R}$$

$$\text{Nous obtenons : } \rho_G = 4.73 \text{ lb/ft}^3 \quad (75.78 \text{ kg/m}^3).$$

III.6.4.5. Calcul de la vitesse superficielle du gaz :

Appliquons Eq : I.5 & I.6 on trouve pour l'équation Eq : I.6 pour chaque tamis moléculaire :

- Pour tamis 1/8" : $G = 5514.53 \text{ lb gaz/h.ft}^2$.
- Pour tamis 1/16" : $G = 3899.36 \text{ lb gaz/h.ft}^2$.

$$\text{Puis par Eq : I.5, on trouve : } V_g = 19.37 \text{ ft/min} = 5.90 \text{ m/min}$$

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

III.6.5. Calcul de Diamètre minimum de la colonne du lit :

En utilisant Eq : I.7, avec : $V_g = 19.37 \text{ ft/mn}$ et $Q = 105.93 \text{ MMScF/d}$

$$\text{On aura : } d = 7.44 \text{ ft} = 2.26 \text{ m.}$$

III.6.6. Calcul de la quantité d'eau absorbée pendant la durée de cycle de 4 heures :

Appliquons Eq : I.8, avec $Y_w = 128.78 \text{ lbH}_2\text{O/MMScF}$ (voir annexe) à $T = 58^\circ\text{C}$ et $Q = 105.93 \text{ MMScF/j}$.

$$m_w = \frac{4 \times 105.93 \times 128.78}{24}$$

On trouve : $m_w = 2273.61 \text{ lb H}_2\text{O/cycle} = 1031.31 \text{ kg H}_2\text{O/cycle} = 257.82 \text{ kg H}_2\text{O/h}$, puis on

$$\text{utilise l'équation Eq : I.9 on trouve } q = \frac{2273.61}{\Pi \times 7.44^2} = 13.07 \text{ lb/h.ft}^2$$

III.6.7. Hauteur de la zone de transfert de masse :

En utilisant Eq : I.10, Avec : $q = 13.07 \text{ lb/h.ft}^2$, $V_g = 19.37 \text{ ft/min}$ et $R_h = 100\%$.

$$\text{On trouve : } h_z = 98.98 \text{ inch} = 2.51 \text{ m} = 8.25 \text{ ft.}$$

III.6.8. Hauteur d'équilibre :

Appliquons l'équation Eq : I.11, Avec : $m_w = 2273.61 \text{ lbH}_2\text{O/cycle}$, $\rho_B = 45 \text{ lb/cft}$,

$d = 7.44 \text{ ft}$ et $X = \text{La capacité à la saturation} = 22 \text{ lbH}_2\text{O}/100\text{lb tamis}$

On trouve : $h_{\text{eq}} = 5.28 \text{ ft} = 1.61 \text{ m}$

III.6.9. Hauteur minimale de lit :

En appliquons Eq : I.11 bis, On trouve

$h_B = 10.66 \text{ ft} = 3.25 \text{ m}$

III.6.10. Calcul de la masse du tamis :

Appliquons l'Eq : I.12, avec $h_B = 10.66 \text{ ft}$,

On trouve : $M = 20854.77 \text{ lb} = 9459.72 \text{ kg}$

III.6.11. Calcul de l'épaisseur du déshydrateur :

Appliquons l'Eq : I.13 avec $P = 1160.29 \text{ psia}$ et $d = 7.42 \text{ ft} = 86.4 \text{ inch}$

On trouve :

$e = 2.75 \text{ inch} = 69.86 \text{ mm}$

$e' = 72.86 \text{ mm} = 2.87 \text{ inch}$

III.6.12. Calcul de la perte de charge :

III.6.12.1. Calcul de la perte de charge dans les grains 1/8" :

D'après l'Eq : I.6, avec $\rho_G = 4.73 \text{ lb/ft}^3$, $\rho_B = 45 \text{ lb./ft}^3$, $G_{1/8"} = 5514.53 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$.

D'après Eq : I.14 avec $dp_o = 0.0118 \text{ ft}$, $\mu = 0.033 \text{ lb/ft} \cdot \text{hr}$

On trouve :

$Re = 1971.86$

Puis on calcul la perte de charge dans les grains 1/8" par Eq : I.14, avec

$G_{1/8"} = 5514.53 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$, $Re = 1971.86$, $\varepsilon = 0,37$, $dp_o = 0,0118 \text{ ft}$ et $\rho_G = 4.73 \text{ lb/ft}^3$.

$$\frac{dp \times 4,17 \times 10^8 \times 0,37^3 \times 0,0118 \times 4,73}{dz \times (1 - 0,37) \times 5514,53^2} = 150 \times \frac{(1 - 0,37)}{1971,86} + 1,75$$

$$\frac{dp}{dz} \times 0,06153 = 1,7979 \quad \text{Et} \quad \frac{dp}{dz} = 29,22 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur du lit de (7,64 ft) : $\Delta P = 223.24 \text{ PsF}$

III.6.12.2. 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". On trouve :

$$G_{1/16"} = 3899.36 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr.}$$

$$Re = 791.68.$$

Puis on calcul la perte de charge dans les grains 1/16" par Eq : I.14, avec

$$G_{1/16"} = 3899.36 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr.}, Re = 791.68, \varepsilon = 0.37, dp_0 = 0.0067 \text{ ft et } \rho_G = 4.73 \text{ lb/ft}^3.$$

$$\frac{dp \times 4,17 \times 10^8 \times 0.37^3 \times 0.0067 \times 4.73}{dz \times (1 - 0.37) \times 3899.36^2} = 150 \times \frac{(1 - 0.37)}{791.68} + 1.75$$

$$\frac{dp}{dz} \times 0.0699 = 1.8693 \quad \text{Et} \quad \frac{dp}{dz} = 26.74 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur du lit de (3,12 ft) : $\Delta P = 83.44 \text{ PsF}$

III.6.12.3. Calcul de la perte de charge dans les billes en céramique de 1/2" (Parte haute du sécheur) :

En suivant les mêmes étapes que précédemment, mais on applique l'équation Eq : I.15, avec $\varepsilon = 0,63$, $a_p = 111 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$.

On trouve :

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

$$Re = 3345, \text{ donc la perte de charge est } \frac{dp}{dz} = 2.04 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur du lit des billes céramiques de 1/2" est

- En haut : 0,492 ft (150 mm), on trouve $\Delta P = 1.00368 \text{ PsF}$
- En bas : 0.574 ft (175 mm), on trouve $\Delta P = 1.17096 \text{ PsF}$

La perte de charge totale à travers le 1/2" est de $\Delta P = 2.1746 \text{ PsF}$

III.6.12.4. Calcul de la perte de charge dans les billes céramiques 1/4" :

De la même façon que les bille de 1/2'', avec : $\varepsilon = 0,73$ et $a_p = 80 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$.

$dp_0 = 0,02025 \text{ ft}$, on trouve :

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

$$Re = 23991,1 \text{ donc la perte de charge est } \frac{dp}{dz} = 0.5 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur des billes céramiques de 1/4" est de 75mm (0,25ft), on trouve

$$\Delta P = 0,125 \text{ PsF/ft.}$$

III.6.12.5. Calcul des pertes de charges dues aux effets d'expansion et de contraction :

III.6.12.5.1. Perte de charge due à l'expansion :

Appliquons l'équation Eq : I.16, avec : $D_1=0,918$ ft, $D_2=9,84$ ft et $Q =170,15$ MMScF/d.

La vitesse moyenne du gaz dans A_1 notée U est donner par l'équation Eq : I.17, donc U sera égale à : $U = 34,876$ ft/sec.

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

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

III.6.12.5.2. Perte de charge due à la contraction :

La perte due à la contraction est donnée par l'équation Eq : I.18, donc après calcul on trouve : $\Delta P = 39,96$ PsF

III.6.12.5.3. Perte de charge totale à travers le déshydrateur :

La perte de charge totale à travers le déshydrateur D301A/B/C est la somme des pertes de charges calculées, alors on trouve :

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

$$\Delta P = 223.24 + 83.44 + 2.1746 + 0.125 + 88.79 + 39.96 = 437.72$$

$$\Delta P = 0,21 \text{ bar}$$

On compare la valeur trouvée à celle de la perte de charge exigé qui doit être inférieur à 0.5 bar, donc nous sommes dans le domaine permisible par la norme internationale de calcul des pertes de charges à travers les sécheurs.

III.6.13. Calcul du débit de gaz de régénération :

III.6.13.1. Phase chauffage :

III.6.13.1.1. Quantité de chaleur nécessaire pour le chauffage du lit du tamis

moléculaire :

La quantité de chaleur nécessaire pour chauffer le lit du tamis moléculaire notée Q_1 est donnée par l'équation Eq : I.19, avec $M_T = 20854.77$ lb, $C_{pT} = 0.2$ Btu/lb°F. et $T_F = 554^\circ\text{F}$, $T_I = 58^\circ\text{C} = 136.4^\circ\text{F}$. On trouve $Q_1 = 1741790.39$ Btu ($4.39 \cdot 10^5$ Kcal).

III.6.13.1.2. Quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique :

De la même façon, on calcul la quantité de chaleur absorbée par les billes de céramique notée Q_2 , et cela en se basant sur l'équation Eq : I.20, avec

Masse de céramique 1/2" $M_{C2} = 7098.876$ lb ;

Masse de céramique 1/4" $M_{C1}=1635.828$ lb ;

Masse total de la céramique $M_C=8734.704$ lb ;

$C_{pC}=0.25$ Btu/lb°F. On trouve $Q_2 = 911903.10$ Btu ($2.29 \cdot 10^5$ kcal).

III.6.13.1.3. Quantité de chaleur pour le chauffage du déshydrateur vide :

En utilisant l'équation Eq : I.21, on calcul la quantité de chaleur nécessaire pour le chauffage du déshydrateur, avec $M_{dv}=51000$ kg = 112435.62 lb, $C_{pdv}= 0.12$ Btu/lb°F.

On trouve : $Q_3 = 5634373.79$ Btu ($1.42 \cdot 10^6$ Kcal).

III.6.13.1.4. 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 Eq : I.22, avec $M_e= 2273.61$ lb et

$$C_{pe}= 1 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}. Q_4 = 2273.61 \times 1 \times (554 - 136.4) + (2273.61 \times 1800)$$

Donc après le calcul on trouve : $Q_4 = 5041957.54$ Btu ($1.27 \cdot 10^6$ Kcal).

III.6.13.1.5. 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 donné Par L'équation Eq : I.23, avec : $M_h= 0.1 M_e$, $M_e= 2273.61$ lb, $C_{ph}= 0.91$ Btu/ lb°F et

$$H_h= 342 \text{ Btu/ lb}^\circ\text{F} \quad Q_5 = 227.36 \times 0.91 \times (554 - 136.4) + (227.36 \times 342)$$

Donc on trouve : $Q_5 = 164157.55$ Btu ($0.41 \cdot 10^5$ kcal)

III.6.13.1.6. Quantité de chaleur totale à fournir pour le chauffage :

La quantité de chaleur totale nécessaire pour le chauffage notée Q_{ch} est :

$$Q_{ch} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) \times 1,1$$

Avec $Q_1 = 1741790.39$ Btu, $Q_2 = 911903.10$ Btu, $Q_3 = 5634373.79$ Btu,

$Q_4 = 5041957.54$ Btu et $Q_5 = 164157.55$ Btu

On trouve $Q_{ch} = 14843600.61$ Btu ($3.74 \cdot 10^6$ kcal).

III.6.13.1.7. Débit de gaz de régénération en phase de chauffage :

Pour calculer le débit de gaz de régénération en phase chauffage nous devant tout

D'abord calculer la température moyenne du lit et cela à l'aide de l'équation Eq : I.24,

Avec $T_1 = 58^\circ\text{C} = 136.4^\circ\text{F}$, $T_3 = 428^\circ\text{F}$, $T_2 = 248^\circ\text{F}$ et $T_4 = 500^\circ\text{F}$ avec T_1, T_2, T_3 et T_4 sont déterminés à partir de l'annexe.

$$T_A = \frac{136.4 + 248}{2} = 192.2^\circ F$$

$$T_B = \frac{248 + 428}{2} = 338^\circ F$$

Et.

$$T_{moy} = \frac{192.2 + 338 + 500}{3} = 343.4^\circ F$$

On trouve $T_{moy} = 343.4^\circ F$ ($173^\circ C$)

Calculons le débit de gaz de régénération notée M_{GR} , en utilisant l'équation Eq : I.25

Et avec : $Q_{Ch} = 14843600.61$ Btu, $T_F = 554^\circ F$, $T_{moy} = 343.4^\circ F$ et $C_{PGR} = 0.72$ Btu/lb $^\circ F$ et $\Theta_{ch} = 3.75$ h. On trouve : $M_{GR} = 26104.60$ lb/h (11841.04 kg/h).

III.6.13.2. Phase de refroidissement :

Pour calculer le débit de gaz de régénération en phase de refroidissement, en utilise l'équation Eq : I.26, avec : $Q_{rt} = 1741790.39$ Btu, $Q_{rb} = 911903.10$ Btu et

$Q_{rd} = 5634373.79$ Btu d'où : $Q_r = 8288067.28$ Btu ($2.08 \cdot 10^6$ Kcal)

D'après la figure 3 dans la partie annexes on détermine $T_4 = 500^\circ F$ et $T_5 = 136.4^\circ F$

$$T_D = \frac{554 + 136.4}{2} = 345.2^\circ F$$

Donc à partir de Eq : I.27, avec $T_D = 345.2^\circ F$, $T_F = 554^\circ F$ et $C_{PGR} = 0.56$ Btu/lb $^\circ F$

Pour un temps design de refroidissement de 3.75 heures.

On trouve $M'_{GR} = 18901.81$ lb/h (8573.86 kg/h).

D'où La quantité de chaleur totale nécessaire pour chaque régénération est :

$$Q_T = Q_{Ch} + Q_{ref}$$

$Q_T = 14843600.61 + 8288067.28$. On trouve $Q_T = 23131667.89$ Btu ($5.82 \cdot 10^6$ kcal).

Les résultats trouvés pour le design cas été sont consignés dans le tableau suivant :

Paramètres	Résultats
Facteur de compressibilité	0,85
Masse molaire (g/mole)	20.51
Densité relative du gaz	0,71
Masse volumique du mélange (kg/m ³)	75.78
Vitesse superficielle admise (m/min)	5.90
Diamètre (m)	2.26
Epaisseur (mm)	72.86
Hauteur de la zone de transfert (m)	2.51

Hauteur total du lit (m)	3.25
Quantité cycle d'eau adsorbée (kg/lit)	1031.31
Quantité d'eau absorbée (kg/h)	257.82
Débit de gaz de régénération chauffage (kg)	11841.04
Débit de gaz de régénération refroidissement (kg)	8573.86
Masse total du lit (kg)	9459.72
Teneur en eau (lbH ₂ O/MMScf de gaz)	128.72

Tableau III.12 : Résultats de calcul cas actuel

Paramètres	Design	Calculé Cas actuel
Diamètre (m)	3	2.26
Epaisseur (mm)	98,5	72.86
Quantité d'eau absorbée (kgH ₂ O/h)	338	257.82
Hauteur du lit	3,280	3.25
Débit de gaz de régénération (kg/h)	15000	11841.04
Masse du lit (kg tamis/déshydrateur)	14800	9459.72
Perte de charge (bar)	0,5 max	0,21

Tableau III.13 : Comparaison des résultats cas été avec le design

On constate que le fonctionnement actuel avec les sècheurs en place est hors design, car avec les conditions actuelles de fonctionnement de l'UTGA, on doit avoir un diamètre de 2.26 m et une hauteur de 3.25, au lieu des sècheurs existants qui ont un diamètre de 3 m et une hauteur de 3.28 m.

Donc pour utiliser les sècheurs existants (avec la même géométrie en diamètre et hauteur), nous allons calculer le temps de cycles avec les paramètres de fonctionnement actuels et ce, afin d'optimiser la totalité de la hauteur des tamis moléculaires dont le but d'éliminer la totalité d'eau contenu dans le gaz d'alimentation.

III.7. Recommandations afin d'optimiser les conditions de fonctionnement des sècheurs : [8]

III.7.1. Optimisation du temps de cycle :

Pour déterminer la hauteur utilisée pour les conditions actuelles de fonctionnement, on prend $m_w = 2273.61$ lb H₂O/cycle et le diamètre des sècheurs existant $d = 3$ m = 9,84 ft, puis on trouve la hauteur des tamis utilisé selon l'équation Eq : I.11 bis.

$$h_B = \frac{400 \times 2273.61}{\pi \times 45 \times 10.9 \times 9.84^2} = 6.10 \text{ ft} = 1.85 \text{ m}$$

La hauteur non utilisée est de $3.28 - 1.85 = 1.43$ m.

Le schéma suivant illustre le fonctionnement actuel des sécheurs D301A/B/C.

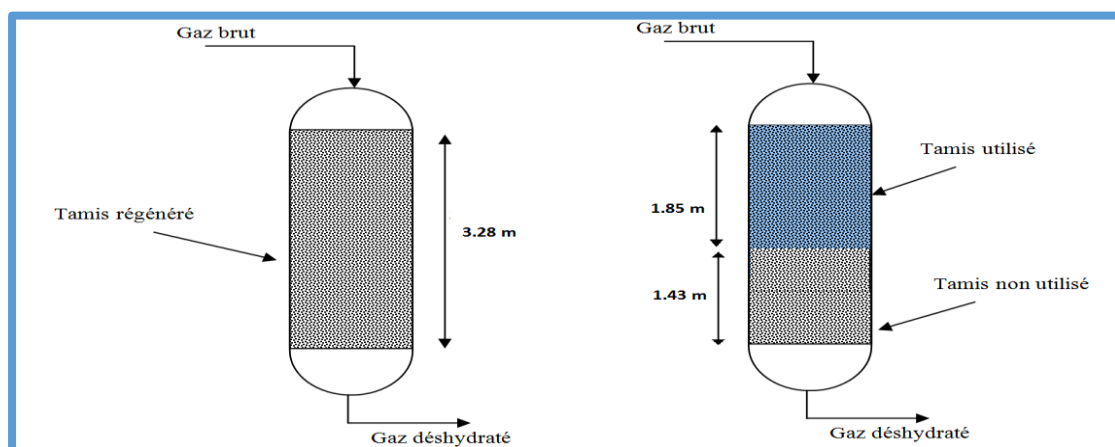


Figure III.3 : Représentation de la masse utilisée du tamis après le cycle d'adsorption [7]

Pour exploiter toute la masse des tamis moléculaires existant à l'intérieur des sécheurs, on va déterminer le temps de rupture nécessaire qui correspond à la masse des tamis en place actuellement. Pour cela on doit tracer la courbe suivante : [8]

$$M_{\text{Tamis}} = F(\text{temps d'adsorption})$$

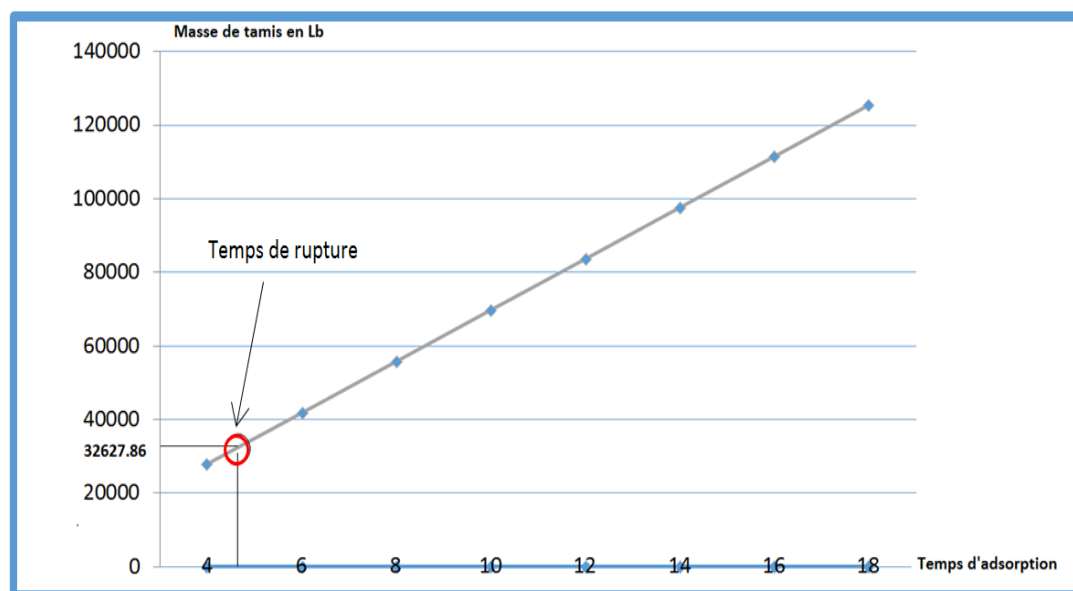


Figure III.4 : Représentation de la masse du tamis en fonction du temps d'adsorption [8]

Puis pour la masse des tamis en place actuelle dans les sécheurs D301A/B/C de $14800 \text{ Kg/sécheur} = 32627.86 \text{ lb/sécheur}$, l'intersection avec la courbe ($M=f(\text{Temps})$), on

trouve un temps de rupture de 4.69 heures qui est le temps optimum d'adsorption, car au-delà de cette valeur, on exploite toute la masse du tamis nécessaire, c'est-à-dire à 4.69 heures la teneur en eau commence à atteindre 5% à la sortie des sécheurs.

Donc pour utiliser la totalité des tamis installé on doit avoir un temps d'adsorption légèrement inférieur au temps de rupture, c'est-à-dire pour nous on adopte un temps d'adoption de 4h et 40 mn au lieu de 4 heures, d'où le temps de cycle total devient 12H.40 au lieu de 12H.00.

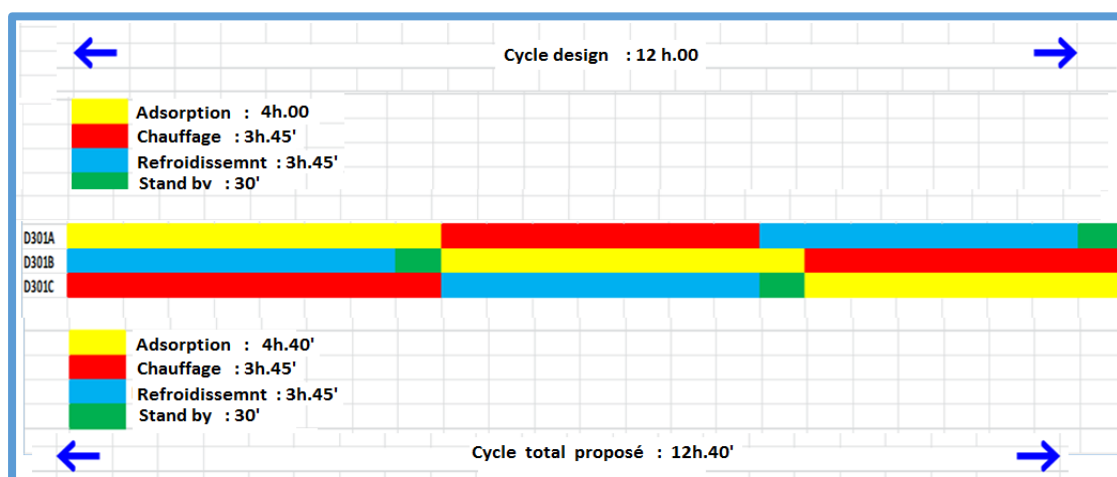


Figure III.5 : Représentation du cycle d'adsorption [9]

III.8. Effets de changement des tamis moléculaires 1/16'' par 1/8'' sur le fonctionnement actuel des sécheurs D301A/B/C : [9]

Actuellement le problème rencontré à l'UTG de TFT est la dégradation du tamis 1/16", après une courte durée de service ou d'utilisation, confirmée par la présence de la poussière des tamis moléculaire aux niveaux des filtres V301A/B (aval des sécheurs).

Ce type de poussière engendre le bouchage des filtres, d'où augmentation de la perte de charge, qui obligent les techniciens de la maintenance et de l'exploitation de faire un arrêt du train et procéder au nettoyage des filtres à mainte reprise parfois allons à deux semaines. Ces ruptures provoquent une perte de gaz qui sera torché.

Pour éviter ce problème m'a été proposé de remplacer la partie du tamis 1/16" (9450 Kg) avec celle du 1/8".

D'où la nécessité de voir les paramètres clés de fonctionnement des sécheurs existant si on change la charge des tamis moléculaires 1/16'' par 1/8'' mais on gardant le même poids des tamis qui occupent les lit de séchage.

Les paramètres clés de séchage à revoir après le changement des diamètres des particules des tamis est la perte de charge.

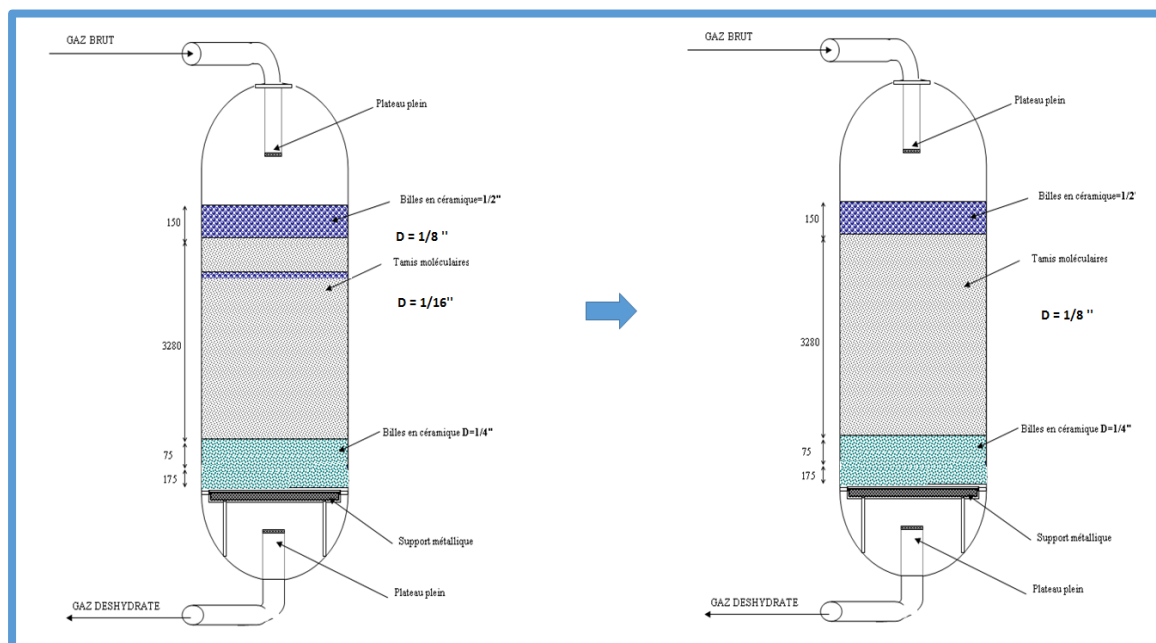


Figure III.6 : Schéma des tamis avant et après le changement des tamis moléculaires [10]

III.8.1. Calcul de la perte de charge :

III.8.1.1. Calcul de la perte de charge dans les grains 1/8" :

D'après l'Eq : I.6, avec $\rho_G=4.73 \text{ lb/ft}^3$, $\rho_B=45 \text{ lb. /ft}^3$, $G_{1/8"}= 5514.53 \text{ lb/ft}^2.\text{hr}$.

D'après Eq : I.14 avec $dp_o=0.0118 \text{ ft}$, $\mu=0.033 \text{ lb/ft.hr}$

On trouve :

$$Re = 1971.86$$

Puis on calcul la perte de charge dans les grains 1/8" par Eq : I.14, avec $G_{1/8"}=5514.53 \text{ lb/ft}^2.\text{hr}$, $Re = 1971.86$, $\varepsilon = 0,37$, $dp_o= 0,0118 \text{ ft}$ et $\rho_G= 4.73 \text{ lb/ft}^3$.

$$\frac{dp \times 4,17 \times 10^8 \times 0,37^3 \times 0,0118 \times 4,73}{dz \times (1 - 0,37) \times 5514,53^2} = 150 \times \frac{(1 - 0,37)}{1971,86} + 1,75$$

$$\frac{dp}{dz} \times 0,06153 = 1,7979 \quad \text{Et} \quad \frac{dp}{dz} = 29,22 \text{ PsF/ft}$$

Pour une longueur du lit de (10.76 ft) : $\Delta P=314.41 \text{ PsF}$

III.8.1.2. Calcul de la perte de charge dans les billes en céramique de 1/2" (Parte haute du sécheur) :

En suivant les mêmes étapes que précédemment, mais on applique l'équation Eq : I.15, avec $\varepsilon = 0,63$, $a_p = 111 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$.

On trouve :

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

$$\text{Re} = 3345, \text{ donc la perte de charge est } \frac{dp}{dz} = 2.04 \text{ PsF}/\text{ft}$$

Pour une longueur du lit des billes céramiques de 1/2" est

$$1- \text{ En haut : } 0,492 \text{ ft (150 mm), on trouve } \Delta P = 1.00368 \text{ PsF}$$

$$2- \text{ En bas : } 0.574 \text{ ft (175 mm), on trouve } \Delta P = 1.17096 \text{ PsF}$$

La perte de charge totale à travers le 1/2" est de $\Delta P = 2.1746 \text{ PsF}$

III.8.1.3. Calcul de la perte de charge dans les billes céramiques 1/4" :

De la même façon que les bille de 1/2", avec : $\varepsilon = 0,73$ et $a_p = 80 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$.

$dp_0 = 0,02025 \text{ ft}$, on trouve :

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

$$\text{Re} = 23991,1 \text{ donc la perte de charge est } \frac{dp}{dz} = 0.5 \text{ PsF}/\text{ft}$$

Pour une longueur des billes céramiques de 1/4" est de 75mm (0,25ft), on trouve

$$\Delta P = 0,125 \text{ PsF}/\text{ft.}$$

III.8.2. Calcul des pertes de charges dues aux effets d'expansion et de contraction :

III.8.2.1. Perte de charge due à l'expansion :

Appliquons l'équation Eq : I.16, avec : $D_1 = 0,918 \text{ ft}$, $D_2 = 9,84 \text{ ft}$ et $Q = 170,15 \text{ MMScF}/\text{d}$.

La vitesse moyenne du gaz dans A_1 notée U est donner par l'équation Eq : I.17, donc U sera égale à : $U = 34,876 \text{ ft}/\text{sec}$.

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

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

III.8.2.2. Perte de charge due à la contraction :

La perte due à la contraction est donnée par l'équation Eq : I.18, donc après calcul on trouve : $\Delta P = 39,96 \text{ PsF}$

III.8.3. Perte de charge totale à travers le déshydrateur :

La perte de charge totale à travers le déshydrateur D301A/B/C est la somme des pertes de charges calculées, alors on trouve :

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

$$\Delta P = 314.41 + 2.1746 + 0.125 + 88.79 + 39.96 = 445.46$$

$$\Delta P = 0,22 \text{ bar}$$

Donc après le changement on aura plus de pertes de charges (0.22 au lieu 0.21 bar) à vaincre à travers les sécheurs dans le cas de fonctionnement actuel, mais toujours au-dessous de la valeur maximale de perte de charge à travers les sécheurs qui est de 0.5 bar.

Conclusion général

L'opération de la production assistée est un facteur à contrôler avec une tolérance de zéro, pour cela qu'on doit donner plus d'importance à l'unité de base qui fait produire le gaz sec destiné à être un moyen de récupération secondaire ou de maintien de pression.

Notre étude est une contribution pour mettre fin à la qualité du gaz lift en termes de la teneur en eau à la sortie des sécheurs qui est légèrement supérieur à la norme exigée (Inférieur à 50 ppm) avec un temps de séchage de quatre (4) heures pour un cycle global par jour de 12 heures.

Le résultat de l'étude avec des conditions opératoires actuelles montre :

- ☞ Que les sécheurs actuels en diamètre et hauteur de lit sont mal exploités, pendant quatre heures de séchage. Pour remédier à cette situation et éviter de sortir un gaz avec une teneur en eau plus que 50 ppm, nous avons optimisé et proposer un temps de séchage de 4heures et 40 minutes qui correspond un cycle de séchage globale de 12 heures et 40 minutes.
- ☞ De prévoir le changement des tamis moléculaires de 1/16'' par 1/8'' afin d'éviter la présence de poussières dans les filtres V301A/B suite à la dégradation des tamis moléculaires 1/16''. Ce changement n'a aucun effet sur le fonctionnement des sécheurs D 01A/B/C, car la perte de charge est inférieure à la perte de charge admissible qui est de 0.5 bars par sécheur.

Cette étude m'a permis de mettre en évidence mes connaissances théoriques acquises durant mon cursus universitaire et d'enrichir mes connaissances pratiques par un stage de courte durée, mais avec une fréquentation permanente avec le personnels, les équipements et autres.



Bibliographie

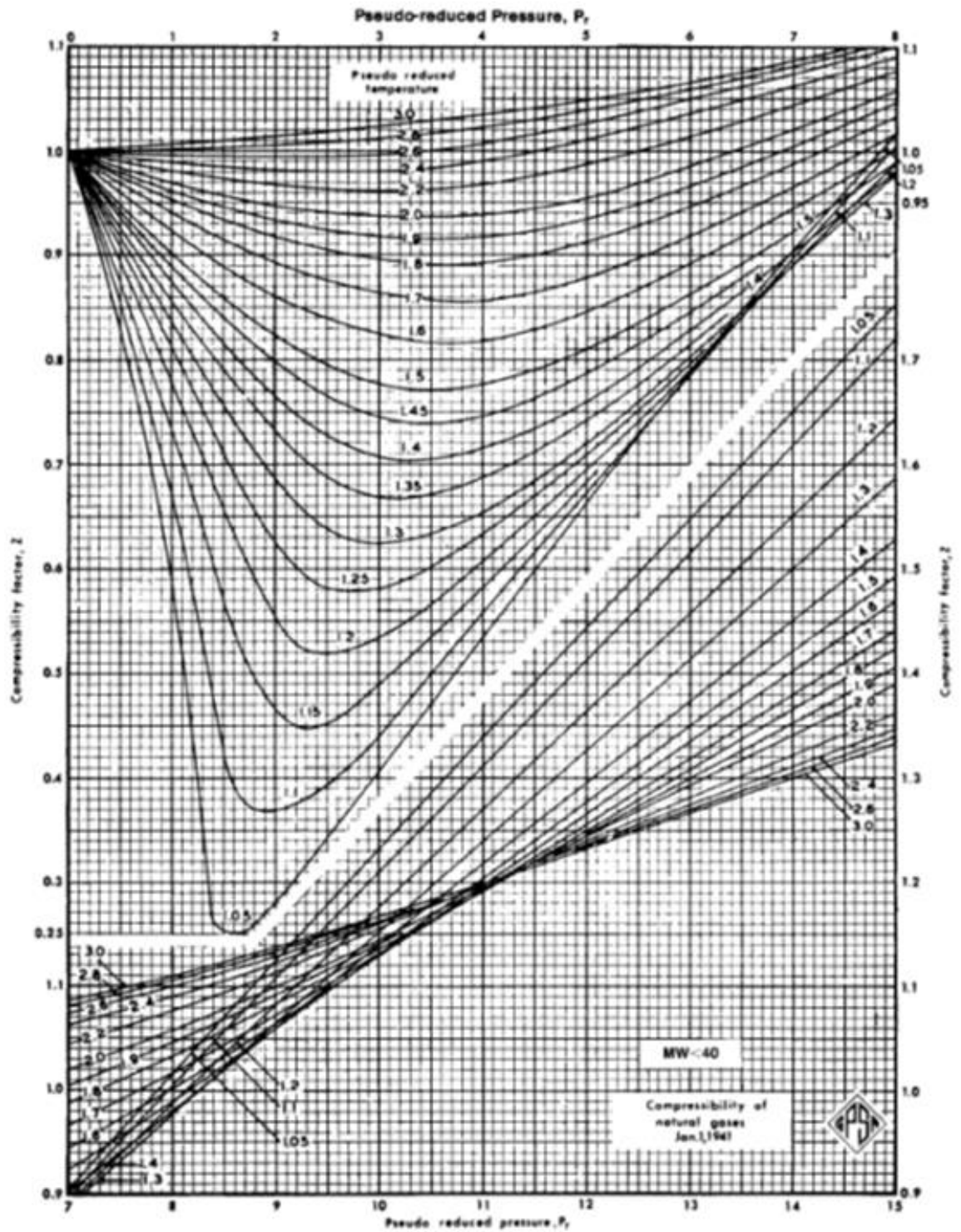
Bibliographie

- [1] : M. Sellami. Cours de traitement du gaz naturel. Université Ouargla. 2012.
- [2] : BOUAZZABIA. M, les adsorbants dans l'industrie pétrolière et gazière. IAP : 2008.
- [3] : Dimensionnement des déshydrateurs de gaz de l'unité GPL2 Hassi-Messaoud : Calculs et vérification. Université Ouargla 2013.
- [4] : Manuel opératoire de l'unité U.T.G.A.
- [5]: COMBELL, M . Gas conditioning and processing, VOL 2, the equipment modules.
- [6]: Document de l'entreprise SONATRACH HBK, 2007.
- [7]: AMBROSE, D. Critical properties. Hand book of chemistry and physics. 76thEdition.
- [8] : Rapport de l'analyse chromatographique du gaz. Laboratoire de la région TFT.
- [9] : Mémoire : étude de l'effet de changement du diamètre des tamis moléculaires sur le Système de séchage (unité GLA/HBK).
- [10] : LA DESHYDRATATION DU GAZ Techniques et Problèmes. Université Ouargla 2013.

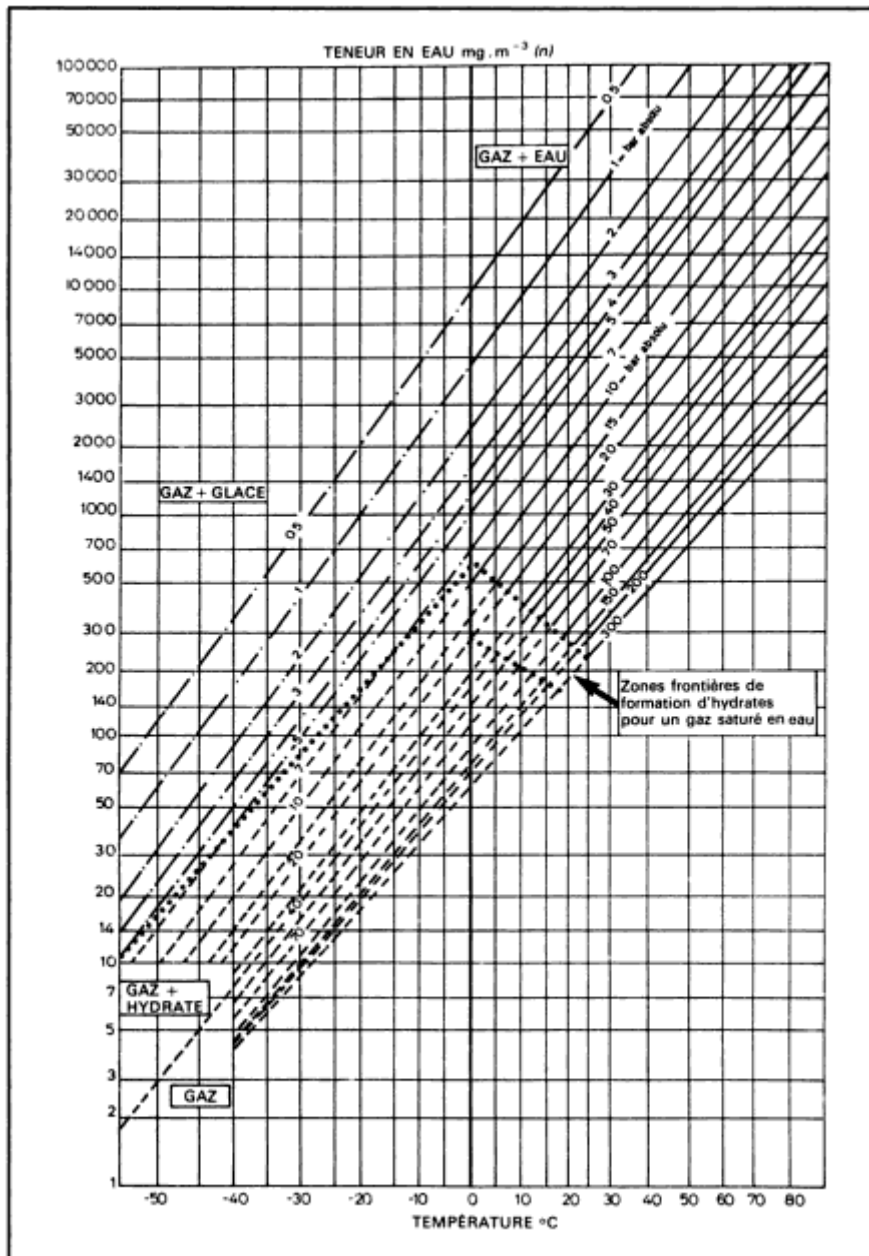


Annexe

Annexe



Annexe A [6].



Teneur en eau des gaz naturels.

Annexe B [6]

Properties of Solid Desiccants

Desiccant	Bulk Density (lb/ft ³)	Specific Heat (Btu/lb/°F)	Normal Sizes Used	Design Adsorptive Capacity (WT%)	Regeneration Temperature (°F)
Activated Alumina	51	0.24	½ in.-8 mesh	7	350–600
Mobil SOR Beads	49	0.25	4–8 mesh	6	300–500
Fluorite	50	0.24	4–8 mesh	4–5	350+
Alumina Gel (H-151)	52	0.24	⅛–¼ inch	7	350–850
Silica Gel	45	0.22	4–8 mesh	7	350
Molecular Sieves (4A)	45	0.25	⅛ inch	14	450–550

Source: API.

Annexe C [6]

Annexe E : Tableau de conversion

Unités françaises	Unités Anglaises
1 kg/m ³	0.006243 lb/ft ³
1 bar	14.5 psi
1 bar	2088.54 psf
1 bar	2088.54 psf
1 kg/cm ²	14,22 psi
1 kcal	3,968 Btu
1 kJ/kg.c°	4,187 Btu/lb.F°
1 centpoise	2,419 lb/hr.ft
1 MMSCF/d	1116,28 Nm ³ /h
1 kg. Mole = 23,96 Sm ³	2,2045 lb mole
1 C°	(9/5.C°+32) F°
1 kg/m ³	0.0624 lb/ft ³
1 m/min	3.280 ft/min
1 mm	0.03936 inch
1 m ³ /min	35.31467 ft ³ /min
1 ppm	0.0475 lb/MMSCF

ملخص:

يخضع إستخراج النفط الخام في المديرية الإقليمية لـ ت.ف.ت إلى ضرورة حسن سير عمل نظام الرفع بالغاز، وذلك للحفاظ على القدرات الإنتاجية للآبار والغاية هي الحصول على عتبة إنتاج مستقر. يتم إنتاج الغاز المخصص للرفع في وحدة معالجة الغاز المساهم UTGA، حيث بعد عملية التجفيف والضغط، يرسل إلى الآبار المنتجة للنفط، والتي تكون بدورها مجهزة بالغاز الرفع. ولضمان حسن سير العمل في قسم التجفيف لـ UTGA، طلب مني القيام بدراسة لمراجعة والتحقق من معايير المجففات D301A/B/C مع الظروف الحالية وكذا لمراقبة تأثير تغيرات الحصى الجزيئي 16/1 من 8/1 على وظيفة هذا الأخير. لمعالجة إشكالية TFT من ناحية كمية المياه في عملية الرفع بالغاز، أجرينا الدراسة اللازمة والخروج بمقترحات ملائمة تسمح بحل هذا المشكل مع السهولة في التنفيذ.

الكلمات المفتاحية: إستخراج، الرفع بالغاز، القدرات، التجفيف، الحصى الجزيئي، مجفف

Abstract:

The petrol recuperation in TFT regional direction is a function of gas lift system using in order to maintain the potential of wells production and to obtain a stable production.

The gas lift is produced in UTGA unit (unit of associated gas treatment), after its dehydration and its compression, is sent and dispatched towards the TFT producers oil wells, which are equipped with a conventional gas, lift completion.

For insuring the smooth running of dehydration section of the UTGA, it was asked to me to make a study, for checking the running parameters of dryers D301A/B/C with the current conditions and to see the effect of the change in molecular sieves diameter from 1/16'' to 1/8'' on the dryers functioning.

For solving the problem of the outlet gas humidity, we have proceeded to the study with the proposal and easy solutions in site realization.

Key words: Recovery, Gas lift, Potential, Dehydration, Molecular sieves, Dryer

Résumé :

La récupération de pétrole brut au niveau de la direction régionale de TFT est régie par le bon fonctionnement du système de gaz lift, afin de maintenir les potentiels de productions des puits dont le but d'avoir un plateau de production stable.

Le gaz lift est produit dans l'unité de traitement du gaz associé, après sa déshydratation et sa compression est envoyée vers les puits producteurs de pétrole qui sont équipés d'une complétion conventionnelle du gaz lift.

Pour assurer le bon fonctionnement de la section de déshydratation de l'UTGA, il m'a été demandé de faire une étude de vérification des paramètres de fonctionnement des sécheurs D301A/B/C avec les conditions actuelles et de voir l'effet du changement des tamis moléculaires 1/16'' par 1/8'' sur le fonctionnement de ces derniers.

Pour remédier à la problématique de TFT en termes de la teneur en eau dans le gaz lift, nous avons procédé à l'étude avec proposition des solutions adéquates permettant de résoudre ce problème et avec réalisation facile.

Mots clés : Récupération, Gaz lift, Potentiel, Déshydratation, Tamis moléculaire, Sécheur