



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
Abdel Hamid Ibn Badis University – Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم هندسة الطرائق
Department of Process Engineering



N° d'ordre : M2...../GC/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie Chimique

Thème :

**Perfectionnement de la section de déshydratation de charge du
complexe GP1/Z**

Présenté par

1-Kherief Ismail

2-Mokhtari Abderrahmane

Soutenu le 27/06/ 2021 devant le jury composé de :

Président(e) :	MR. MEROUANI	Professeur	Université de Mostaganem
Examineur (rice) :	DR. BELLOL	MCA	Université de Mostaganem
	DR. MELLOK	MCA	Université de Mostaganem
	DR. MEZOUAGH	MCB	Université de Mostaganem
Encadrant (e) :	DR. MENAD	MCA	Université de Mostaganem

Année universitaire 2020 - 2021

Remerciement

Tous d'abord, Nous tenons à remercier Notre Dieu tout puissant de nous avoir donné la patience et le courage pour réaliser ce travail avec succès. Nos grands remerciement a notre encadreur Madame K. MENAD pour sa participation et ses conseils prodiges a la réalisation de ce travail.

Nos vifs remerciements s'adressent également à Mr. MEROUANI, professeur à l'Université Abdel Hamid Ibn Baddis, d'avoir accepté de présider ce travail.

Nos tiens à remercier également aux membres du jury, Mme. MEZOUAGH Mme. MELLOUK, Mr. BELLOUL d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Merci à tous les employés du complexe GP1/Z, les ingénieurs et les opérateurs qui nous ont bien accueilli et bien aide lors de notre stage.

En fin nous adressons aussi un très grand remerciement a tous nos enseignant qui on contribue de près ou de loi a notre étude.

RESUME

Afin de préparer notre mémoire de mise en situation académique, un thème nous a été attribué, Perfectionnement de la section de déshydratation de la charge du complexe GP1/Z.

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

Pour optimiser l'unité de déshydratation, nous avons effectué un calcul des différentes quantités de chaleur de la section de déshydratation, après une étude du bilan massique de la colonne d'adsorption, en commençant par présenter les données du problème ainsi que la méthodologie poursuivie pour mener à bien nos calculs. Un travail de vérification a été, aussi, effectué pour s'assurer de la validité de la méthode de calcul.

A la fin de notre étude, une proposition d'une solution pour faire face au problème.

Mots clés : colonne d'adsorption, déshydrateur, eau, GPL.

Table des Matières

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur le GPL et Présentation du Complexe GP1 /Z	
I.1 L'origine du GPL.....	3
I.2 Caractéristique générale du GPL	5
1.3 L'utilisation des GPL.....	7
I.3.1 Source de réchauffage	7
I.3.2 climatisation.....	7
I.3.3 Production d'énergie.....	7
I.3.4 Le GPL dans la pétrochimie.....	7
I.3.5 Le GPL dans L'agriculture	8
I.4 Les risques liés au GPL.....	8
I.5.Présentation du Complexe GP1/Z.....	9
I.6 Organisation du complexe GP1/Z.....	10
I.6.1 Situation.....	11
I.6.2 Principales installations	11
1.6.3 Capacité.....	12
I.6.4 Alimentation de l'usine.....	12
I.6.4Utilites.....	12
I.7 Pré-traitement.....	13

I.8 Procédé de fabrication	14
I.8.1 Section déshydratation.....	14
I.8.2 Section séparation	14
-Passage par les préchauffeurs... ..	14
-Fractionnateur.....	14
-Dé-éthaniseur	15
-Dépentaniseur	15
I.8.3 Section réfrigération	15
I.8.4 Section d'huile chaude	15
I.8.5 Section de stockage des produits	16
a-Stockage à température ambiante	16
b-Stockage à basses températures	16
I.8.6 Section chargement par camion (CC)	16
 Chapitre II : Modes de Déshydratation et Tamis Moléculaires	
II.1 Les Hydrates.....	18
II.1.1 Les structures des hydrates.....	18
II.1.2 Les conditions de formations d'hydrates.....	19
a. Les conditions primaires	19
b.Les conditions secondaires	19
II.2 Les modes de déshydratation.....	19
II.3 La zone de transfert de masse (ZMT).....	19
II.3.1 Concept de la zone de transfert de masse.....	21
II.4 Tamis moléculaires.....	22
II.4.1 Type et dimension du tamis.....	25
II.4.2 Régénération des tamis moléculaires.....	26

a- Augmentation de la température.....	26
b- Diminution par variation de pression.....	26

CHAPITRE III : Section Déshydratation de Charge

III.1 Introduction.....	28
III.2 Description générale	29
III.2.1 Equipements Statiques : (Train-100).....	29
III.2.2 Vanneries déshydrateur de charge : (Train 100)	29
a-vannes individuelles.....	29
b-Vannes communes	30
III.3 Description interne du déshydrateur.....	30
III.4 Circuit GPL.....	31
III.5 Le cycle de régénération	32
III.5-1 Drainage	32
III.5.2 Dépressurisation	33
III.5.3 Chauffage	34
III.5.4 Refroidissement	35
III.5.5 Remise sous pression	36
III.5.6 Remplissage en liquide.....	37

CHAPITRE IV : Les Paramètres Agissant le bon Fonctionnement de la Section de la déshydratation.

IV.1Présentation du Problème	40
IV.2Introduction.....	41
IV.3 Constitution d'un déshydrateur de charge.....	42
IV.2 Les conditions opératoires d'adsorption / désorption.....	42
IV.3 Température d'entrée du gaz de régénération.....	43

IV.4 La théorie de calcule	43
-Bilan Energétique	43
IV.1.1 Calcul de la quantité totale de chaleur nécessaire à la régénération.....	43
IV.1.2 Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption de l'eau Q_{des}	43
IV.1.3 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis Q_{tamis}	43
IV.1.4 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier Q_{acier}	44
IV.1.5 Calcul des pertes de chaleur Q_{perte}	44
IV.1.6 Calcul de la chaleur H_f fournie par le four.....	44
IV.1.7 Calcul du temps de réchauffage du tamis « tr ».....	44
IV.1.8 calcul de la chaleur fournie par le four par cycle « H_f /cycle».....	45
IV.1.9 Calcul du temps de refroidissement du tamis « tref ».....	45
IV.1.10 Calcul de la chaleur soutirée au système.....	45
IV5.1 Le bilan de matière de la régénération.....	45
IV.5.2 Calcul de la chute de pression	46
IV.5.3 Calcul du nombre de Reynolds.....	46
IV.6 Validation de méthode.....	47
IV.6.1 Dimensionnement d'un déshydrateur.....	48
IV.6.1.1 Calcul de la quantité d'eau adsorbée.....	48
IV.6.2.1 Calcul du bilan thermique.....	51
IV.6.2.2 Calcul du bilan de matière de la régénération	56
IV.6.2.3 Récapitulation des résultats.....	61
IV.7 Etude de la solution.....	62
IV.7.1 Calcul le débit d'eau.....	62
IV.7.2 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse.....	62
IV.7.3 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre.....	63

IV.7.4 Estimation de la quantité d'eau adsorbée M_{ads}	63
IV.7.5 Calcul du temps d'adsorption.....	63
IV.7.6 Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant (X).....	64
IV.7.7 Détermination de l'efficacité d'adsorption.....	64
IV.8.1 Calcul du bilan thermique.....	64
IV.9.1 Calcul du bilan de matière de la régénération.....	67
IV.9.2 Calcul des pertes de charges.....	68
IV.9.10 Interprétation des résultats.....	70
IV.11 Interprétation et choix de la solution optimale	70
IV.12 Les Résultats finales	71
Conclusion général	74
Bibliographiques.....	75
Les annexes	77

Liste d'abréviation

Bog : Boil- Off- Gas

CH₄ : méthane

C₂H₆ : l'éthane

C₃H₈ : propane

C₄H₁₀ : butane

C₅H₁₂ : pentane

DCS : digital combat simulator

GPL : gaz pétrole liquéfié

GN : gaz naturel

Ppm : partie par million

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques physico-chimiques du butane et du propane..... 06

Tableau I.2 : Historique du complexe.....	09
Tableau II.1: Diamètres de certaines molécules.....	23
Tableau III.1: Le cycle de régénération.....	32
Tableau IV.1: La fiche technique du tamis moléculaire.....	42
Tableau IV.2: La composition de la charge du GPL.....	47
Tableau IV.3: La composition du gaz de régénération.....	51
Tableau IV.4: Représentation des données de réchauffage du tamis.....	55
Tableau IV.5: Représentation des valeurs de design et des valeurs calculées.....	61
Tableau IV.6 : La variation du temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau.....	71

Listes des figures

Figure I.1: Récupération des GPL à partir du pétrole brut.....	4
Figure I.2: Récupération du GPL à partir des champs de G.N.....	4
Figure I.3: organigramme du complexe.....	10
Figure I.4 : Filtre de GPL et EQUALISEUR.....	13
Figure II.1: La zone ZMT	20
Figure II.2: La courbe de percée.....	20
Figure II.3 : Tamis moléculaire sous ses différentes formes.....	22
Figure II.4 : Tamis moléculaires 3A et 4A.....	24
Figure III.1 : schéma de déshydrateur.....	30
Figure III.2: Séquence de drainage	32
Figure III.3: Séquence de dépressurisation	33
Figure III.4: Séquence de chauffage.....	34
Figure III.5: séquence de refroidissement.....	35
Figure III.6: Séquence de pressurisation.....	36
Figure III.7: Séquence de remplissage.....	37
Figure III.8: schéma de la section déshydratation.....	38
Figure IV.1 : Variation de la teneur en eau durant le mois mars 2021.....	40
Figure IV.2: : Le temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau.....	72
Figure IV.3: : le nombre de régénération par an en fonction de la teneur en eau.....	72

Introduction générale

L'histoire de la civilisation est en grande partie l'histoire de la conquête de l'énergie par l'homme. Grâce à des techniques de plus en plus perfectionnées, l'homme a su découvrir et exploiter l'une après l'autre, les cachettes où la nature avait stocké l'énergie : les gisements de charbon, le pétrole et le gaz.

Incontestablement, le pétrole et le gaz sont les richesses naturelles les plus importantes de notre pays. Le gaz de pétrole liquéfié connu sous le terme GPL, est de notre temps le challenge dans le marché mondial des combustibles tels que le kérosène et le naphtha.

Avant quelques années, l'énergie coûtant peu, l'industrie d'une manière générale ne prêtait pas une attention très particulière à ce sujet. Mais au cours de ces dernières années le coût de cette énergie pesant de plus en plus dans le bilan d'exploitation des entreprises, ces dernières se sont tout naturellement intéressées à ce poste qui prend une part très importante dans le coût du produit fini.

Ainsi, il est apparu progressivement que dans les unités industrielles la fonction objective à maximiser, n'est pas seulement le profil à court terme ou l'augmentation de la quantité du travail production, mais rendre les équipements fonctionnels à leur juste mesure avec un rendement maximum.

Actuellement, on peut dire que pour l'entreprise la consommation d'énergie a autant d'importance que la sécurité, la pollution ou le contrôle de qualité.

L'aspect d'économie d'énergie est précisément l'une des préoccupations essentielles des exploitants du complexe GP1/Z.

L'objectif de notre travail qui s'inscrit dans le cadre du projet de mise en situation académique consiste à optimiser Les Paramètres Agissant le bon Fonctionnement de la Section de la déshydratation.

Nous devons essayer de trouver les sources de ce problème, d'analyser les causes et de rechercher les solutions, en dehors de toute perturbation du fonctionnement normal du complexe d'une part, et d'investissement d'autre part.

Nous présentons dans un premier lieu une description du complexe GP1/Z.

Nous donnons ainsi une explication sur les modes de déshydratation et tamis-moléculaires.

Nous détaillons en suite l'étude de la section déshydratation de charge.

Nous cherchons, dans une quatrième partie, à localiser le problème de la consommation excessive d'énergie, pour cela nous procédons au calcul des différentes quantités de chaleur de toute la section.

Notre mémoire est fini par une conclusion générale et références bibliographiques et liste des annexes .

Chapitre I

Chapitre I : Généralité sur le GPL

I.1 Introduction :

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

Cette propriété permet de stocker (GPL produit fini) dans un volume réduit (1m³ de GPL liquide occupe un volume de 225 m³ à l'état gazeux).

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) est un mélange d'hydrocarbures légers stockés à l'état liquide et issus du raffinage du pétrole (40% des ressources mondiales) et plus généralement du traitement du gaz naturel (60% des ressources mondiales).

Le GPL était autrefois considéré comme un résidu de l'extraction du pétrole et directement brûlé au sommet de torches. Il est dorénavant récupéré par distillation, les fractions les plus nobles servent généralement de carburant pour véhicules en remplacement des essences plus chères et plus polluantes. [2]

I.2 L'origine du GPL :

Les gaz de pétrole liquéfiés sont obtenus principalement :

Dans les raffineries de pétrole, en cours de la distillation du pétrole brut.
(Voir figure I.1) [2]

Au cours des opérations de dégazolinage du gaz naturel sur les champs de production, pour obtenir les produits condensables butane et propane.
(Voir figure I.2) [2]

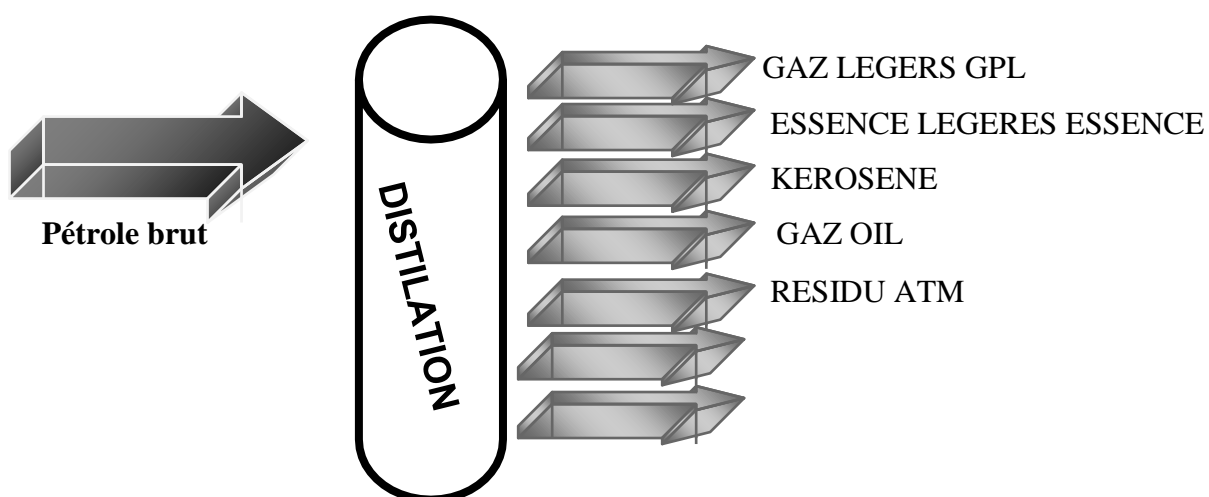


Figure I. 1 : Récupération des GPL à partir du pétrole brut.

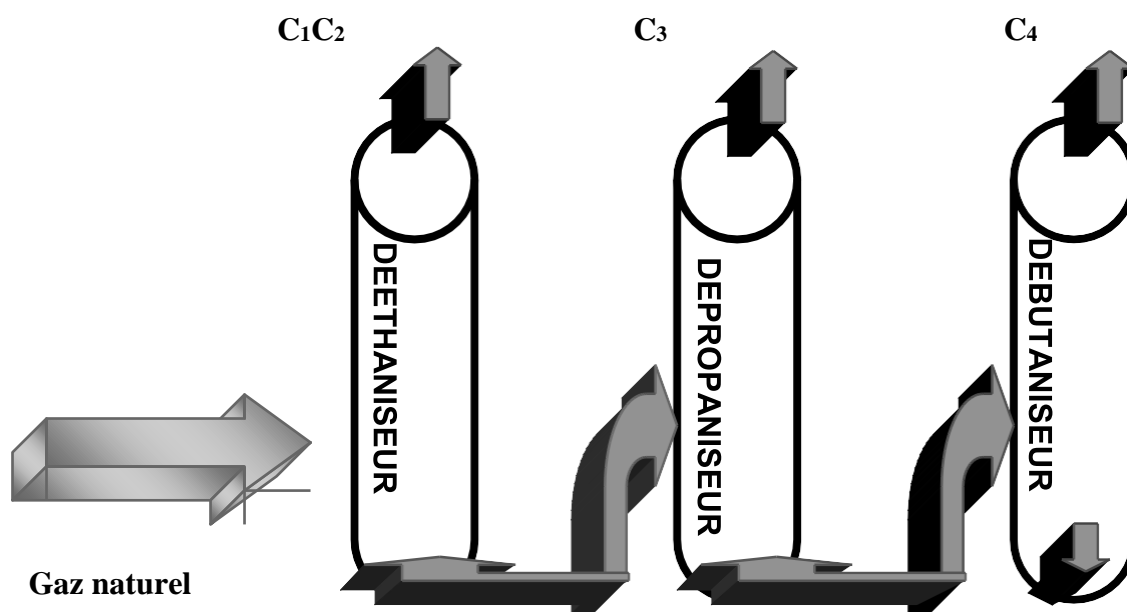


Figure I. 2 : Récupération du GPL à partir des champs de G. N

I.3 Caractéristiques générales des GPL :

- **Odeur** : le GPL est inodore à l'état naturel, mais on doit ajouter un odorant, ce sont des composés sulfures tel que le diéthylmercaptane ou le diméthylsulfide pour des raisons de sécurité.

- **Tension de vapeur** : la TVR du GPL est de **8 et 2** bars pour le propane et le butane respectivement à **20°C**.

- **Dilatation** : à l'état liquide, le GPL a un haut coefficient de dilatation dont il faut tenir compte lors de leur stockage (les sphères ne doivent jamais être complètement remplies).

- **Densité** : aux conditions normales de température et pression, le GPL est plus lourd que l'air, sa densité diminue avec l'augmentation de la température
La densité est une spécification très importante pour la commercialisation du GPL.

- **Température d'ébullition** : à la pression atmosphérique, la température d'ébullition du propane est de (**- 42°C**), et celle du butane est de (**- 6°C**).

- **Pouvoir calorifique** : c'est la propriété la plus intéressante étant donné que le GPL est traditionnellement utilisé pour les besoins domestiques :
 - Iso-butane** : PC = **29460** (kcal/kg).
 - Normal butane** : PC = **29622** (kcal/kg).
 - Propane** : PC = **22506** (kcal/ kg).

- **Impuretés** : la teneur en soufre doit être, obligatoirement, inférieure ou égale à **0,005 %** en masse. L'eau est aussi considérée comme étant une impureté et sa teneur doit être réduite afin d'éviter le bouchage et la corrosion des conduites.

- Le GPL n'a aucune propriété de lubrification et cet effet doit être pris en considération lors de la conception des équipements du GPL. Le GPL est incolore, que ce soit phase liquide ou gazeuse. [2]

Le tableau ci-dessous récapitule quelques caractéristiques physico-chimiques du butane et du propane. [11]

Tableau I-1 : Caractéristiques physico-chimiques du butane et du propane

Propriétés	Propane	n-butane
Poids moléculaire (g/mol)	44,096	58,123
Point de fusion (°C)	-187,7	-138
Chaleur latente de fusion (kJ/kg)	94,98	80,165
Masse volumique de la phase liquide à 1, 013 bars au point d'ébullition (kg/m³)	582	601.4
Point d'ébullition (1,013 bar) °C	-42,1	-0,5
Chaleur latente de vaporisation (1,013 bar au point d'ébullition) Kj/kg	425,31	385,6
Pression de vapeur à 21 °C (bar)	8,7	1,2
Température critique (°C)	96,6	152
Pression critique (bar)	42,5	37,96
Masse volumique du gaz à 1,013 bar au point d'ébullition (kg/m³)	2,423	2,7
Facteur de compressibilité (z) à 1,013 bar et 15 °C	1,0193	0,9625
Chaleur spécifique à pression constante (Cp) à 1 bar et 25 °C (KJ/mole. °K)	0,075	0,096
Chaleur spécifique à volume constant (Cv) à 1 bar et 25 °C (KJ/ mole °K)	0,066	0,088
Température auto-inflammation (°C)	470	365

I.4 L'utilisation des GPL :

Le GPL est utilisé dans de nombreux domaines, parmi les principaux, on peut citer :

I.4.1 Source de chauffage :

L'apparition du gaz naturel, et le développement mondial rapide de son emploi, ont imposé une profonde mutation de l'industrie du gaz. Face à cette transformation, les constructeurs d'appareils domestiques ont en effet à résoudre d'importants problèmes techniques.

Ainsi ont été mis au point de nouveaux brûleurs adaptés spécifiquement à l'utilisation du GN et des GPL.

L'amélioration du service rendu, les aspirations de la clientèle, la recherche du meilleur rapport prix/qualité pour les produits ainsi que les contraintes inévitables de plus en plus importantes ont été aussi les principaux moteurs de cette évolution.

I.4.2 Climatisation

Pour se vaporiser, les GPL absorbent la chaleur de l'environnement et crée du froid. La quantité frigorifiée de prend de la quantité des GPL vaporisées.

Un moteur fonctionnant aux GPL peut entraîner un compresseur qui comprime un gaz (G.P.L.). La détente absorbe de la chaleur et crée du froid.

I.4.3 Production d'énergie :

L'utilisation du GPL dans les centrales électriques en tant que source d'énergie se substitue à celle du charbon, des fuels etc, et cela pour plusieurs raisons :

- 1- Protection de l'environnement (produit pur).
- 2- Diversification des combustibles pour éviter des coefficients de pointe importants ou pour augmenter l'indépendance énergétique de l'usine utilisatrice.

I.4.4 Le GPL dans la pétrochimie :

La demande pétrochimique globale du GPL enregistre un taux de croissance de l'ordre de **10 %**.

Il est utilisé comme charge pour le vapocraqueur à fin d'obtenir des oléfines.

Le butane et le propane sont obtenu dans la production du butadiène et du propylène considérés comme matière première pour la synthèse des caoutchoucs.

Le butane est aussi utilisé dans la fabrication de MTBE qui sert comme booster d'octane des essences. Il est ainsi utilisé comme charge pour les unités d'alcoylation. Le propane et le butane sont utilisés pour la production d'acétaldehyde, formaldéhyde, l'acide acétique et l'acétone. [8]

I.5 Le GPL dans L'agriculture :

L'utilisation du GPL dans ce secteur est orientée vers l'aviculture, et certaines cultures sous-serre, le niveau de consommation prévu est relativement faible (**40.000 tonnes/an**) pour le court terme, il est attendu une évolution plus significative à moyen et long terme particulièrement par l'introduction dans le domaine de l'élevage (éclairage, climatisation, chauffage...). [8]

I.6 Les risques liés au GPL :

On cite quelques risques qui ont été signalés dans l'industrie gazière :

- Les GPL sont fréquemment stockés à l'état liquide sous pression, la fuite du liquide peut, par évaporation rapide, donner un grand volume de gaz inflammable.
- La limite inférieure d'inflammabilité du gaz approximativement à 2% du volume du gaz dans l'air. Une petite portion de gaz dans l'air peut donner un mélange inflammable qui peut être enflammé par un élément chaud ou une étincelle à distance d'un point de fuite.
- L'évaporation des liquides de GPL peut causer des brûlures sévères, des vêtements de protection doivent être portés (gants, lunettes). [8]

Présentation du complexe GP1/Z

I.7 Introduction

Important complexe, construit dans la zone industrielle d'ARZEW dans le but de traiter le mélange brut GPL, afin de produire du propane commercial et du butane commercial. [8]

Tableau I-2 : Historique du complexe

Date	Evènement	Commentaires
11/12/1978	Le contrat de construction passé avec IHI-ITOH JAPON	-
11/10/1980	Ouverture du chantier	-
10/11/1980	Démarrage des travaux	-
12/12/1983	Mise en production de la phase 1	4 trains de traitement GPL produisant au total 4.8 Mt/an
31/12/1983	Inauguration officielle	-
20/02/1984	Chargement du premier navire de propane réfrigéré	-
24/02/1998	Extension phase 2	2 trains de traitement GPL supplémentaires permettant de passer à une production totale de 7.2 Mt/an pour (pour 6 trains)
Avril 2010	Extension phase 3	3 trains de traitement GPL apportant une capacité de production de 3 Mt/an supplémentaire, permettant de passer à une production totale de 9 Mt/an pour (pour 9 trains).

I.7.1 Organisation du complexe :

L'organisation du complexe GP1/Z est étudiée de façon à avoir une coordination complète entre les différentes structures de l'usine afin de permettre une exploitation optimale des ressources disponibles. Le suivi est assuré par quatre équipes dont une au repos ainsi que par le personnel de maintien travaillant en journées normales (Voir figure I. 3). [2]

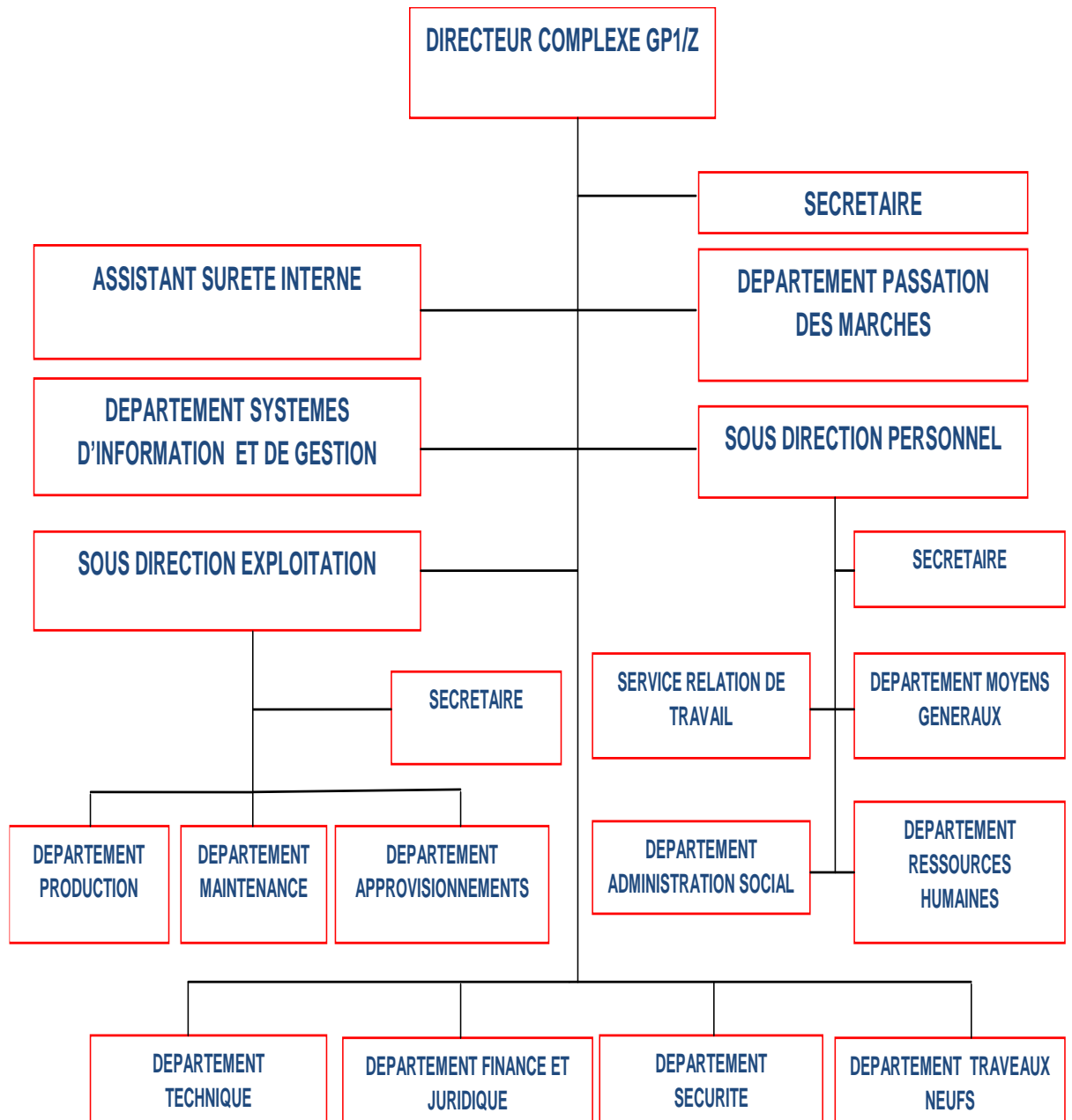


Figure I. 3 : Organigramme du complexe

I.7.2 Situation :

D'une superficie de 120 hectares, le complexe GP1/Z est situé dans la zone industrielle d'ARZEW, entre la centrale thermique (MERS EL HADJAJ) à l'EST et le complexe GNL3.Z à l'OUEST, entre la mer méditerranée et la route nationale N°11. [2]

I.7.3 Principales installations :

- ❖ 22 Sphères de stockage de la charge d'alimentation de 1000 m³ chacune.
- ❖ 09 Trains de traitement du GPL.
- ❖ 03 Unités de re-liquéfaction du gaz évaporé.
- ❖ 04 Bacs de stockage de propane basse température de 70000 m³ chacun.
- ❖ 04 Bacs de stockage de butane basse température de 70000 m³ chacun.
- ❖ 04 Sphères de stockage de produits à température ambiante (propane et Butane) de 500 m³ chacune.
- ❖ 01 Sphère de stockage gazoline.
- ❖ 05 Salles de contrôle.
- ❖ 02 Stations électriques alimentent par la SONELGAZ.
- ❖ 06 Générateurs assurant l'énergie de secours du complexe en cas de coupure de courant.
- ❖ 02 Quais de chargement pouvant recevoir des navires d'une capacité variante entre 4000 et 5000 tonnes.
- ❖ Une rampe de chargement de camions.
- ❖ Une station de pompage d'eau de mer pour le réseau d'incendie.
- ❖ Un système de télésurveillance. [2]

I.7.4 Capacité :

A partir d'un traitement du GPL brut Algérien en provenance des champs gaziers et pétroliers du sud, la production du complexe est de 10.800.000 tonne/an de GPL : propane, butanes commerciaux et pentane.

I.7.5 Alimentation de l'usine :

➤ Les sources d'alimentation :

L'usine reçoit son alimentation de GPL des sources suivantes : Hassi Messaoud, Hassi R'mel, Adrar, In amenas, Tin Fouye Tabankort (TFT) Rhourde Nouss, Gassi Touil.

I.7.6 Les utilités :

Elle alimente les diverses zones de production en :

- ❖ Fuel (gaz naturel) : utilisé comme combustible.
- ❖ Air : elle est divisée en deux:
 - ✓ Air instrument : C'est de l'air séché après enlèvement de l'humidité, cet air aide pour ouvrir les vannes et la manipulation des boucles de régulation (vanne pneumatique).
 - ✓ Air service : C'est de l'air qui sert pour le nettoyage et l'entretien.
- ❖ Vapeur : L'eau distillée vien de KAHRAMA et à partir de la chaudière on produit de la vapeur.
- ❖ Eau:
 - ✓ L'eau distillée.
 - ✓ L'eau de refroidissement.
 - ✓ L'eau potable.
- ❖ Méthanol : Il est utilisé pour le dégivrage.
- ❖ Gasoil : Il est utilisé pour les générateurs de secours.
- ❖ Azote : Ballon d'azote, il y'a deux circuits
 - ✓ Circuit Gazeuse(HELIOS).
 - ✓ Circuit l'azote liquide (COGIZ) : On le transforme en vapeur pour l'inertage des équipements.
 - Un générateur électrique de secours d'une capacité de 25.617Kw.
 - Un système de sécurité vide-vite (blow-down).

Les torches : trois hautes pressions et deux basses pressions servent à brûler la quantité de gaz provoquée par un dysfonctionnement des trains [2].

I.8 Pré-traitement :

Le GPL avant d'être stocker dans les sphères de charge il passe d'abord par les étapes suivantes :

- **Filtration** : cette étape consiste à enlever les slopes (impuretés et poudres noirs).
- **Démérisation** : ceci concernant le mercure (Hg) à cause des besoins du marché une nouvelle unité est installée au complexe en 2010 pour réduire ou éliminer le mercure du GPL entrant au complexe.
- **Equaliseur** : le GPL passe par un égaliseur pour éliminer l'eau libre (l'eau qu'on peut voir avec l'œil nu).
- **Ballon dégazeur** : Le GPL traverse ce ballon pour enlever les gaz évaporés. [2]

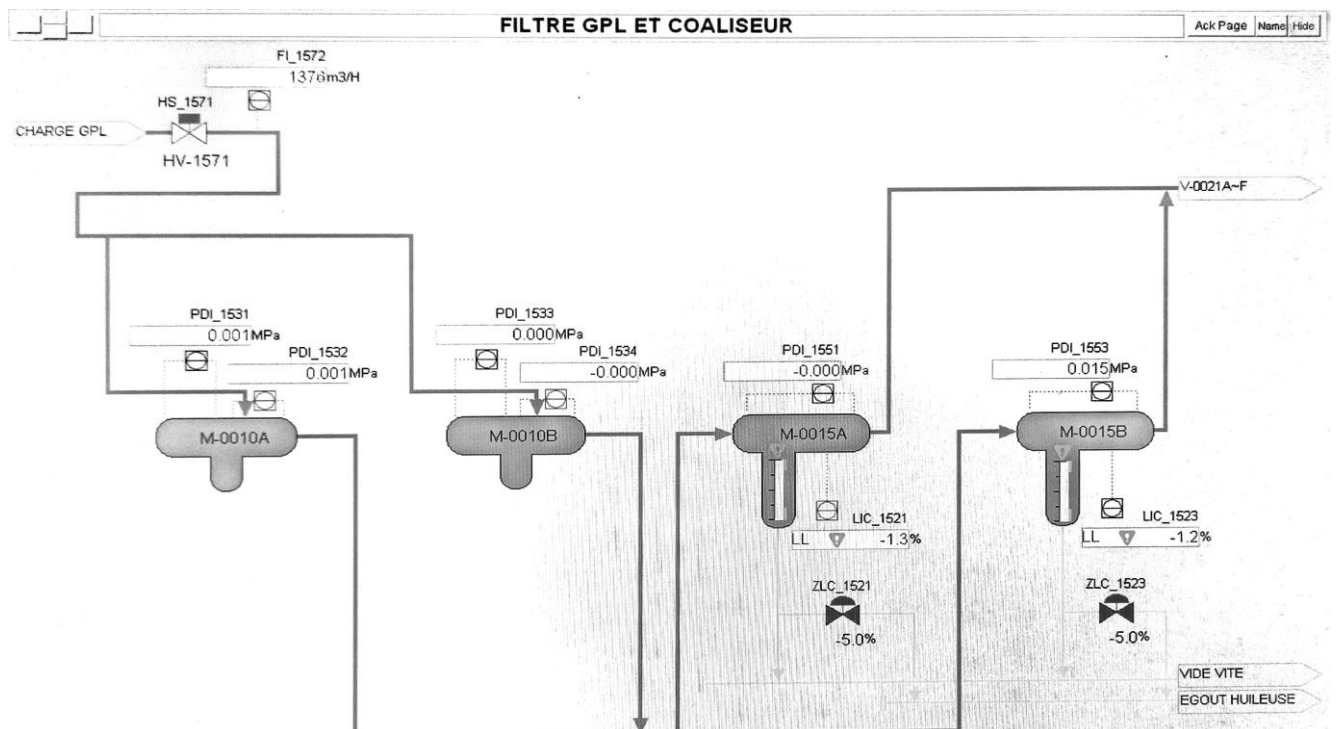


Figure I.4 : Filtre de GPL et EQUALISEUR.

I.9 Procédé de fabrication :

Le GPL venant de l'extérieur est stocké dans 22 réservoirs sphériques dans la section de stockage de la charge, ensuite le GPL brut est acheminé vers les 9 trains identiques installés en parallèle. Chaque train est conçu de manière à produire 1.200.000 de tonnes/an et comprend les sections suivantes : [2]

I.9.1 Section déshydratation :

Le but de cette section est de réduire la teneur en eau de 100 ppm à 5 ppm dans le déshydrateur de charge et de 5 ppm à environ 1 ppm dans le déshydrateur de garde (dans la section réfrigération) et cela pour éviter la formation du givre dans les équipements en aval.

I.9.2 Section séparation :

Le GPL provenant de la section déshydratation est introduit dans le fractionnateur à un débit nécessaire de telle manière à obtenir la quantité requise de produits.

➤ **Passage par les préchauffeurs :**

Le GPL déshydraté entre dans le fractionnateur à une température 71°C après un passage par trois préchauffeurs.

➤ **Fractionnateur :**

C'est une colonne de fractionnement équipée de 55 plateaux à clapets. C'est dans cette colonne que l'on effectue la récupération de l'Éthane et du Propane en tête, tandis que le butane et le pentane seront récupérés en fond. Le produit de tête du fractionnateur est envoyé vers le dé-éthaniser au moyen d'une pompe de reflux qui assure en même temps la charge de dé-éthaniser et le reflux du fractionnateur. Le butane sortant du fond est dirigé vers la section de réfrigération.

➤ **Dé-éthaniser :**

C'est une colonne de fractionnement équipée de 25 plateaux à clapets. Cette colonne est utilisée pour l'élimination de l'éthane contenu dans le propane, l'éthane sort en tête et le propane sort au fond de la colonne.

➤ **Dépentaniser :**

C'est une colonne de fractionnement équipée de 50 plateaux à clapets. Cette colonne est utilisée pour éliminer le pentane contenu dans le butane et ceci selon la teneur en pentane de la charge d'alimentation, elle fonctionne seulement si la teneur en butane dans la charge dépasse 10%. Il existe deux dépentaniser pour les neuf trains.

I.9.3 Section réfrigération :

Le refroidissement du lit se fait du fond vers le haut, c'est-à-dire en sens opposé du chauffage. Pour la séquence de refroidissement, on fait appel au gaz naturel froid (12.7 °C).

Pour lancer le refroidissement, les vannes 5 et 9 s'ouvrent et TS-2 est mis en service. Les vannes 7A et 10A restent ouvertes après la séquence de chauffage et E-1001 reste en service.

Le flux du gaz froid entrant dans le lit est maintenu par un contrôleur de débit. Le refroidissement demande 5 heures et sa fin est signalée par TS-2 qui indique que le dessus du lit s'est suffisamment refroidi (45 °C).

Le gaz utilisé pendant la séquence de refroidissement continue à s'écouler vers le réseau de fuel gaz.

Après le refroidissement, les vannes du lit 9, 7A et 5 se ferment et TS2 est mis hors service. [2]

I.9.4 Section d'huile chaude :

La section du fluide caloporteur est utilisée comme source de chaleur pour les rebouilleurs des colonnes de fractionnement et pour le préchauffeur final de la charge.

Le fluide caloporteur circulant dans la boucle est l'huile TORADA TC 32.

La température du fluide caloporteur à la sortie du four représente la température d'entrée pour chaque utilisation, est maintenue à 180°C.

Le four (H-X501) fournit également la chaleur nécessaire au gaz naturel pour la régénération des tamis moléculaire de la section déshydratation tout en chauffant ce dernier dans un petit serpentín de la section de convection à une température constante de 280°C à un débit de 2000 Nm³/h. [2]

I.9.5 Section de stockage des produits :

- **Il existe deux types de stockage :**

a-Stockage à température ambiante :

Prévu pour la commercialisation du gaz à l'échelle nationale ; le chargement camions se fait à partir des 4 sphères ayant une capacité de 500 m³ chacune dans lesquelles sont stockés le propane et le butane sous pression. [2]

b-Stockage à basses températures :

Les gaz réfrigérés (propane butane) sont véhiculés aux bacs où ils seront stockés dans les conditions de basse température sachant que la capacité de chacun est 70.000 m³ et sont munis de pompes immergées pour la circulation du gaz et le chargement navires.

- **BOG (Boil- Off- Gas) :** S'occupe de la gestion des bacs (produits finis).

I.9.6 Section chargement par camion (CC) :

S'occupe de la gestion des enlèvements par camion au niveau de la rampe de chargement par camion (client NAFTAL et les opérateurs privés). Grâce au système du contrôle distribué (DCS) à travers tout le complexe, on peut visualiser et avoir tous les renseignements.

Chapitre II

Chapitre II : Les modes de déshydratation et tamis moléculaires

II.1 Introduction :

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

Pour éviter ces phénomènes, il est nécessaire de réduire la teneur en eau du gaz naturel au moyen de techniques de traitement appropriées.

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

La déshydratation en phase liquide de la charge comprend deux colonnes d'adsorption fonctionnant en parallèle ; de manière alternée et périodique.

A tout instant, une colonne est en ligne pour l'adsorption et une deuxième est en train d'être régénérée. La durée d'adsorption est de 24 heures, mais elle était modifiée suivant les caractéristiques du GPL à l'entrée, elle est de 36 heures, à l'échéance de ce temps, la colonne en réserve est mise en service, et la colonne qui était en service passe en régénération.

L'écoulement à travers la colonne, pendant l'adsorption, se fait du bas vers le haut. Le fonctionnement de la section de déshydratation de l'alimentation est en continu, automatique et en séquence sous la commande d'un programmeur ; le contrôleur matriciel du cycle.

II.2 Les Hydrates :

Les hydrates sont des combinaisons physiques entre l'eau et les autres composés pour produire un solide qui a l'apparence d'un glaçon mais possédant une structure différente que celle d'un glaçon. [9]

II.2.1 Les structures des hydrates :

Il y a deux structures pour les hydrates des GPL.

Des petites molécules qui forment des corps cubiques centrés (structure I) tels que (CH_4 , C_2H_6 , H_2S) et des grandes molécules tels que (C_3H_8 , $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$) qui ont la forme d'un diamant (structure II).

II.2.2 Les conditions de formations d'hydrates :

Les conditions qui sont probatoires pour la formation d'hydrates sont :

a. Les conditions primaires :

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

b. Les conditions secondaires :

- ❖ Vitesses élevées.
- ❖ L'introduction d'un petit cristal d'hydrate.
- ❖ Un site physique pour la formation d'hydrates tels que : pipes, orifice. [9]

II.3 Les modes de déshydratation :

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

- Inhibition par injection d'inhibiteur de formation d'hydrates.
- Adsorption sur un agent desséchant solide activé. [6], [9]

II.4 La zone de transfert de masse (ZMT) :

L'adsorption est un phénomène de transfert de masse, et le transfert des molécules du fluide vecteur aux pores de l'adsorbant demande un temps fini. Ce temps est influencé par :

- La concentration (la quantité d'adsorbat devant être transférée).
- La présence de molécules concurrentes ou interférentes.
- L'ouverture des passages de diffusion (micropores) à l'intérieur des particules d'adsorbant, et la taille des pores actuels adsorbants.

La longueur du lit à travers laquelle un incrément de gaz passe pendant le transfert de n'importe quel composant de la phase gazeuse à la phase solide et appelée la zone de transfert de masse (ZMT). (Voir figure II.1). En réalité, la ZMT est une zone précédée d'une zone dite d'équilibre.

La zone de transfert de masse est égale à 1/3 de la zone de saturation, il est également courant d'ajouter 0.3 à 0.6 m de desséchant au fond du lit qui agissent comme sécurité pour éviter de faire sortir le point de percée du lit. (Voir figure II.2). [1], [9]

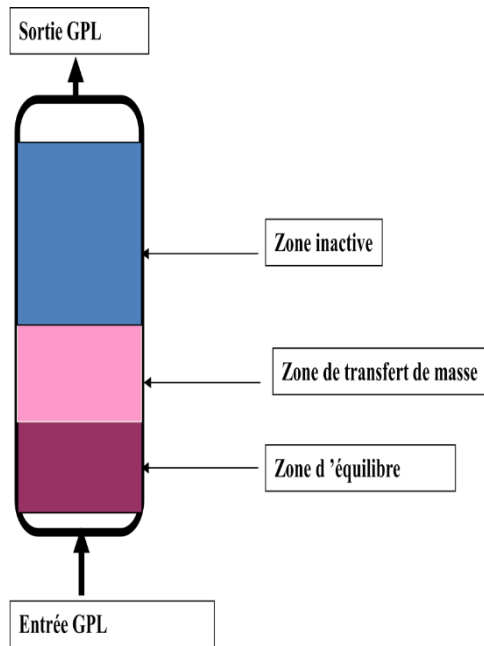


Figure II.1: La zone ZMT se déplace lors de l'adsorption.

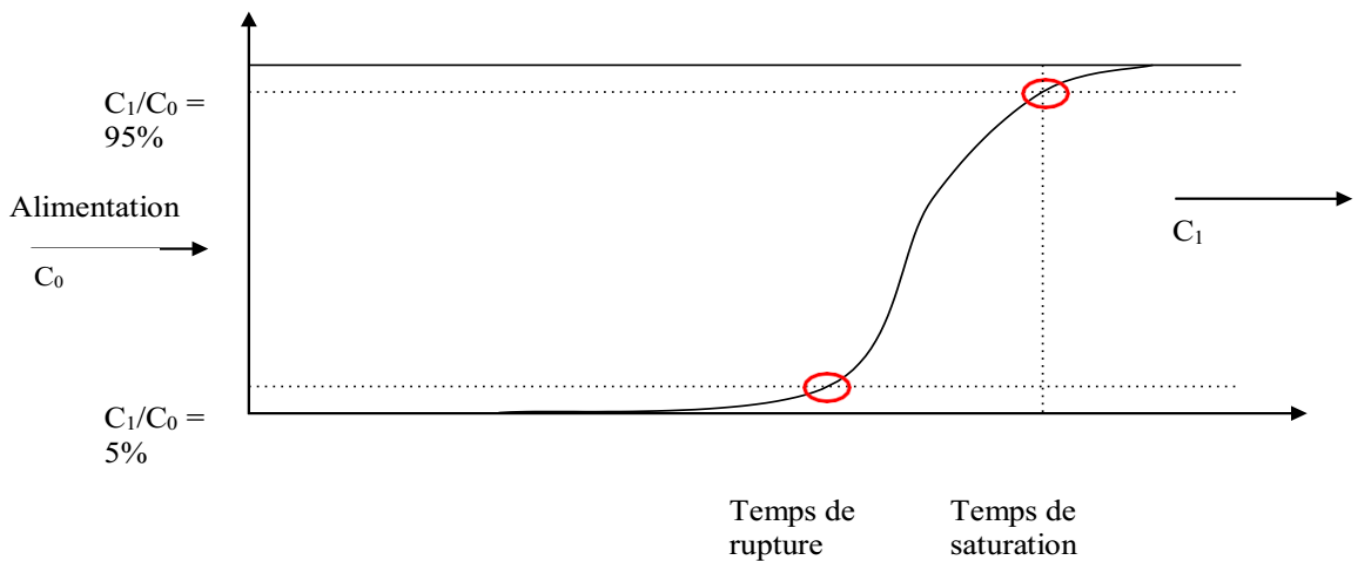


Figure II.2: La courbe de percée.

Dans la pratique on limite le temps du cycle d'adsorption quand $t_{\text{cycle}} = t_{\text{rupture}}$

La Z.M.T est une fonction de :

- La nature de l'adsorbant.
- Du débit d'alimentation.
- La nature ou de la composition du mélange à traiter.
- De la saturation relative du mélange en adsorbat.

II.5 Concept de la zone de transfert de masse :

La zone de transfert de masse correspond à la longueur du lit nécessaire au phénomène d'adsorption, ou la concentration de l'adsorbat à la sortie varie en fonction de la concentration initiale. [1]

En amont de la zone de transfert, l'adsorbant est saturé.

En aval. L'adsorbant est vierge ou régénéré, est prêt à travailler.

L'importance de la zone de transfert de masse dépend principalement :

- De la cinétique d'adsorption de l'adsorbat.
- Des caractéristiques thermodynamiques du fluide.
- De la vitesse linéaire superficielle.
- Du type, de la forme et de la granulométrie du tamis moléculaire.

• Les adsorbants :

Il existe cinq agents desséchants importants utilisés qui sont :

Le silica gel, l'alumina gel, l'alumine activée, le charbon actif et le tamis moléculaire.

Tous ces agents desséchants fonctionnent par un phénomène qui n'est pas très bien compris, en effet tous les solides sont maintenus ensemble par une force de cohésion qui n'est pas équilibrée à la surface et une très faible attraction pour les molécules présentes dans un courant fluide similaire à une attraction magnétique ; forçant ces molécules à adhérer à une surface.

Il existe également deux autres phénomènes reliés dans l'adsorption de surface.

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

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

II.6 Tamis moléculaires :

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

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

Les tamis moléculaires sont des adsorbants uniques et intéressants qui sont disponibles.

Les tamis moléculaires sont des aluminosilicates de métaux hydratés cristallins offrant un certain nombre de propriétés inhabituelles (voir figure II. 3).



Figure II. 3 : Tamis moléculaire sous ses différentes formes .

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

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

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

Tableau II-1: Diamètres de certaines molécules. [15]

Molécule	Diamètre critique (Å)
Hydrogène	2,4
Acétylène	2,4
Oxygène	2,8
Monoxyde de carbone	2,8
Dioxyde de carbone	2,8
Azote	3,0
Eau	2,8
Ammoniac	3,6
Sulfure d'hydrogène	3,6
Méthane	4,0
Ethylène	4,2
Ethane	4,4
Méthanol	4,4
Ethanol	4,4
Mercaptan méthylique	4,5
Propane	4,9
Propylène	5,0
Mercaptan éthylique	5,1
Butène	5,1
1,3-Butadiène	5,2
Chlorodifluorométhane (R-22)	5,3
Thiophène	5,3
i-Butane à 1-C22 H46	5,6
Dichlorodifluorométhane	5,7
Cyclohexane	6,1
Benzène	6,7
Toluène	6,7
P-Xylène	6,7
M-Xylène	7,1
O-Xylène	7,4
Triéthylamine lamine	8,4

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

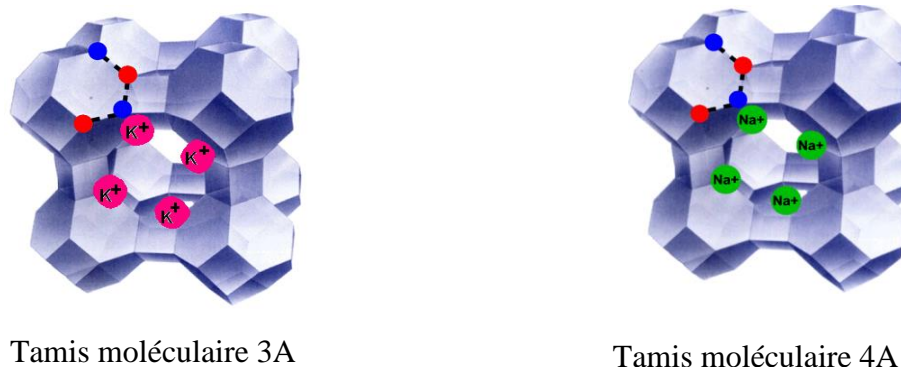


Figure II.4 : Tamis moléculaire 3A et 4A

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Les caractéristiques principales d'un tel procédé sont les suivantes :

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

II.6.1 Type et dimension du tamis :

Le tamis moléculaire utilisé pour la déshydratation du GPL est de type 4°A. Ce dessicant adsorbe les molécules ayant un diamètre effectif inférieur à 4°A y compris H₂S, CO₂, l'éthane et les hydrocarbures les plus légères, en excluant toutes les molécules ayant un diamètre effectif supérieur à 4°A.

Les usines de GPL préfèrent utiliser des granulés, car les granulés de petits diamètres offrent une surface plus importante par unité de volume pour le transfert de masse.

II.6.2 Régénération des tamis moléculaires :

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

Trois méthodes sont utilisées pour absorber les produits adsorbés. Une diminution de la quantité adsorbée à l'équilibre peut être obtenue, soit en augmentant la température, soit en diminuant la pression partielle de l'adsorbât, ou encore par une combinaison des deux moyens. [13]

a- Augmentation de la température

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

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

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

Des molécules organiques (oléfines, aromatiques, paraffines lourdes ...) Présentes dans le fluide

à traiter peuvent être adsorbées durant la phase d'adsorption. Pour éviter ou minimiser les risques de cokage pendant la régénération thermique, en effectuant, éventuellement une purge avec un gaz inerte. La phase de chauffage est suivie par une étape de refroidissement qui ramène le lit à la température d'adsorption. [13]

b-Diminution par variation de pression

La régénération par variation de pression est basée sur la réduction de la capacité d'adsorption, dû à la réduction de la pression partielle de l'adsorbât. [13]

Chapitre III

Chapitre III : Présentation de la Section Déshydratation de Charge

III.1 Introduction :

La déshydratation est effectuée sur la charge en provenance des différents champs afin d'éliminer l'eau dissout dans le GPL brut pour préserver nos équipements en Aval et éviter ainsi toute perturbation qui peut être causée par la présence de givrage et/ou formation d'hydrates au niveau des circuits et des instruments.

Chaque train possède une section de déshydratation de la charge pour réduire la teneur en eau dissout dans le GPL d'une quantité maximale de **100** ppm à une valeur de moins de **5** ppm.

La section déshydratation de charge comprend trois colonnes d'adsorption, constituées de tamis moléculaire et fonctionnant en parallèle.

A tous instant, une colonne est en ligne pour l'adsorption, une deuxième en régénération, tandis que la troisième est en réserve.

La durée d'adsorption est de 36 heures, à l'expiration de ce temps, la colonne en réserve est mise en ligne, et la colonne qui était en service passe en régénération.

A ce moment-là, la troisième colonne a achevé son cycle de régénération et passe en réserve.

Pendant l'adsorption, l'écoulement à travers la colonne se fait du bas vers le haut. Il faut aussi noter que la section déshydratation de la charge peut travailler sur seulement deux adsorbants, si bien qu'une colonne peut être révisée, pendant que les deux autres assurent l'adsorption de la charge. [4]

III.2 Description générale :

III.2.1 Equipements Statiques : (Train-100).

L'unité de déshydratation de charge a été conçue pour sécher le produit de GPL à une teneur d'eau de 100 à 5 ppm. [4]

Elle est composée par des équipements suivants :

- Panneau Local02-M-1001.
- Sécheurs02-V-1001A/B/C.
- Séparateur démister02-V-1002.
- Aéros refroidisseurs 02-E-1001A/B.
- Réservoir (Tampon) d'Air Instrument 02-V-1020.
- Analyseur02-AI-1001.
- Filtres 02-M-1020A/B « entrée charge », 02-M-1021A/B « sortie charge».

III.2.2 Vanneries déshydrateur de charge : (Train 100)

a- Vannes individuelles :

- * **SWV. 1001(A/B/C):** Entrée GPL ligne8".
- * **SWV. 1002(A/B/C):** Sortie GPL ligne8".
- * **SWV. 1003(A/B/C):** Purge du GPL ligne1,5".
- * **SWV. 1004(A/B/C):** Entrée Gaz de Purge1,5".
- * **SWV. 1007(A/B/C):** Sortie Gaz de Réchauffage et Entrée Gaz de refroidissement4".
- * **SWV. 1010(A/B/C):** Entée Gaz de Réchauffage et Sortie Gaz de refroidissement 4".
- * **SWV. 1012(A/B/C):** Entrée GPL pour remplissage du déshydrateur1,5"

b-Vannes communes :

- * **SWV-1005 :** Sortie du Gaz de Refroidissement ligne4".
- * **SWV-1006 :** Entée Gaz de Réchauffage ligne4".
- * **SWV-1008 :** Sortie Gaz de Réchauffage ligne4".
- * **SWV-1009 :** Entrée Gaz de Refroidissement ligne 3".
- * **SWV-1011 :** Dépressurisation ligne1,5".
- * **SWV-1013 :** Sortie Gaz de Purge ligne1,5".
- * **PV-1001 :** vanne de contrôle de pression du séparateur
- * **PV-1004 :** vanne de contrôle de pression d'H₂O de charge

III.3 Description interne du déshydrateur :

- Une conduite d'entrée (en bas du déshydrateur) pourvue d'un Répartiteur de charge GPL.
- Une grille avec matelas à maille de 4 mesh et un autre de 20 mesh supportant deux couches de billes céramiques de diamètre de (1/2" et 1/4").
- Une charge d'Alumine Active.
- Un matelas (en haut à mailles de 20 mesh) supportant une autre couche de billes céramiques de diamètre (1/2").
- Un matelas à mailles de 20 mesh couvrant les billes céramiques en Haut.
- Un Filtre Empêchant l'entraînement d'Alumine.
- Une conduite de Sortie (pour l'alimentation du Fractionnateur). [9]

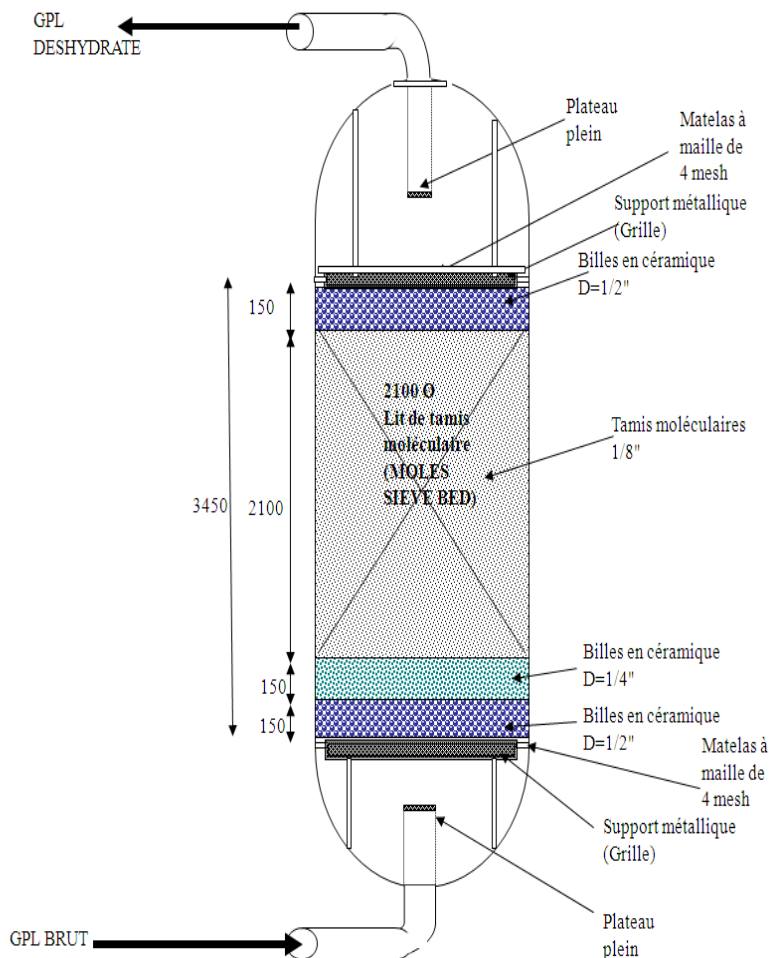


Figure III.1 : Schéma de déshydrateur

III.4 Circuit GPL :

Le GPL brut provenant de la section des sphères d'alimentation est transféré par des pompes de charge (**P-0011**) jusqu'aux trains de procédé.

Il passe d'abord par un élément de mesure de densité (Densimètre) à l'entrée du train 100, du train 500 et du train 700 puis par une vanne de sécurité (**XV-N001**) ensuite par un clapet anti-retour et un transmetteur de débit (**FT**) branché avec le (**DT**) afin de maintenir un contrôle de débit stable à l'entrée de la colonne du (**Fractionnateur**) par le (**FIC-N002**).

Le GPL passe ensuite par un analyseur d'eau en ligne avant de pénétrer dans les filtres d'entrée charge (**M-N020A/B**) ces filtres sont équipés par **PDG-(N006)** pour signaler l'encrassement $\Delta P = 0.4 \text{ Kg/cm}^2$.

Enfin le GPL pénètre dans la section de déshydratation par la (**SWV-N001**) pour subir l'opération de déshydratation dans le sécheur aligné (en service).

À la sortie des sécheurs par la (**SWV-N002**) le GPL déshydraté est filtré une autre fois dans les filtres de sortie (**M-N021A/B**) munis d'un (**PDG-N004**) : $\Delta P = 0.4 \text{ Kg/cm}^2$.

Le (**PDSH-N007**) est installé entre la ligne d'entrée charge et la sortie vers séparation afin de signaler la différence de pression haute par une apparition d'alarme commune $\Delta P = 1.5 \text{ kg/cm}^2$. Après une durée bien déterminée et régulée par minuterie appelée (**TIMER**) ; le tamis moléculaire saturé du sécheur qui était en adsorption doit être soumis à une régénération afin d'être réutiliser.

Entre temps et chronologiquement le sécheur suivant (en stand-by) se met automatiquement en service. [9]

III.5 Le cycle de régénération :

Le cycle de régénération comprend les pas qui représenté sur le tableau III.1 :

Tableau III-1 : Le cycle de régénération

Etapes	Temps (hr)	P (Kg/cm ²)	T (°C)
Drainage	1	20	30
Dépressurisation	0,5	4,5	30
Réchauffage	11	4,5	280
Refroidissement	5	4,5	12,7
Pressurisation	0,5	20	45
Remplissage	1	30	30

III.5.1 Drainage :

Dès que V-1001B est mis en ligne, la vanne 2A se ferme. Après la fermeture de cette vanne, la séquence de régénération commence avec le drainage du GPL restant dans la colonne d'adsorption. Le GPL brut est évacué vers les réservoirs sphériques d'alimentation sous la pression du gaz naturel (20 kg/cm²) est introduit en haut de la colonne, Les vannes 3A et 4A s'ouvrent pour refouler le GPL vers les réservoirs sphériques d'alimentation, à l'état liquide. A ce moment, LS-1, un contact de niveau est mis en service. [4]

Lorsque le niveau liquide atteint LS-1, la vanne 3A et ensuite la vanne 4A se ferment. L'opération de drainage est alors terminée et LS-1 est mis hors service. Le temps prévu pour le drainage est d'environ une heure.

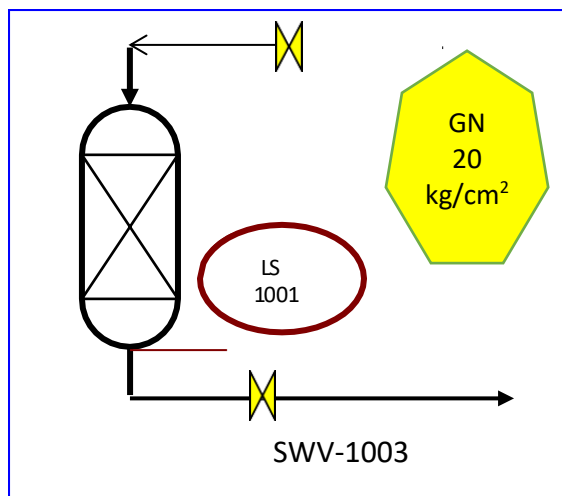


Figure III.2 : Séquence de drainage

III.5.2 Dépressurisation :

Après drainage complet de la colonne d'adsorption, la pression dans V-1001 A est de 20 kg/cm². Avant de pouvoir commencer la séquence de chauffage, il faut que cette pression soit réduite à 4,5 kg/cm².

Lorsque les vannes 3A et 4A sont en position fermée, la commande automatique chronologique ouvre d'abord la vanne 11 et ensuite la vanne 7A, et met le contact de la pression différentielle, PDS-2 en service. V-1001A est alors dépressurisé lentement vers le réseau de fuel gaz.

Lorsque PDS-2 signale un débit zéro, la vanne 11 se ferme automatiquement la vanne 7A reste ouverte. La pression dans la colonne est alors de 4,5 kg/cm². La dépressurisation demande environ une demi-heure. [4]

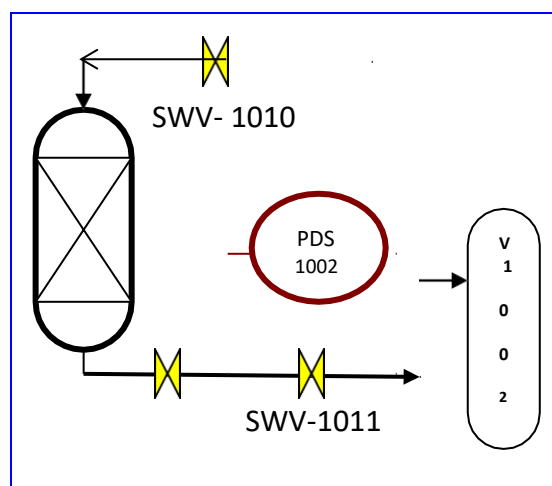


Figure III.3 : Séquence de dépressurisation

III.5.3 Chauffage :

La séquence de chauffage représente l'opération principale de la séquence de régénération, puisque l'eau adsorbée est complètement chassée des tamis moléculaires pendant cette opération.

Le lit du tamis moléculaire est chauffé du haut vers le bas, en se servant du gaz naturel chaud, qui a été porté à 280°C dans le four de fluide caloporteur.

Pour lancer la séquence de chauffage, on ouvre les vannes 8,6 et 10A. Le contrôleur du débit dans la canalisation du gaz chaud introduit un débit constant de gaz dans le lit, qui s'échauffe lentement, pour chasser l'eau entraînée.

L'aéroréfrigérant E-1001 est mis en service pour refroidir le gaz sortant du lit et pour condenser une partie de l'eau contenue dans le gaz. Le gaz refroidi entre dans le séparateur de drainage V-1002 où l'eau libre est séparée et s'écoule sous contrôle du niveau, vers les égouts des eaux huileuses.

Le gaz refroidi passe en tête vers le réseau de fuel gaz. Le condensat d'hydrocarbure qui se forme éventuellement au-dessus du niveau de l'eau libre est envoyé sous contrôle de niveau vers le réseau de purge. Le gaz refroidi peut aussi être envoyé directement à la torche, sous contrôle de pression.

La période de chauffage demande 11 heures, ensuite le cycle est arrêté par le programmeur et par TS-1 qui signale que le fond du lit a atteint sa température de régénération de 250°C.

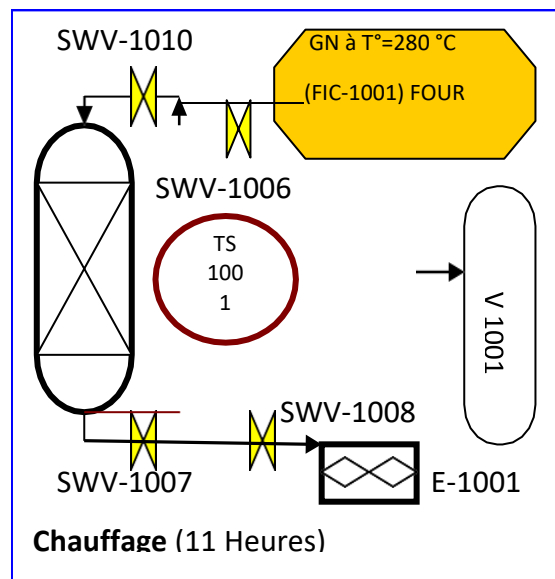


Figure III.4 : Séquence de chauffage

III.5.4 Refroidissement :

Le refroidissement du lit se fait du fond vers le haut, c'est-à-dire en sens opposé du chauffage. Pour la séquence de refroidissement, on fait appel au gaz naturel froid (12.7 °C). Pour lancer le refroidissement, les vannes 5 et 9 s'ouvrent et TS-2 est mis en service. Les vannes 7A et 10A restent ouvertes après la séquence de chauffage et E-1001 reste en service.

Le flux du gaz froid entrant dans le lit est maintenu par un contrôleur de débit. Le refroidissement demande 5 heures et sa fin est signalée par TS-2 qui indique que le dessus du lit s'est suffisamment refroidi (45°C).

Le gaz utilisé pendant la séquence de refroidissement continue à s'écouler vers le réseau de fuel gaz.

Après le refroidissement, les vannes du lit 9, 7A et 5 se ferment et TS2 est mis hors service.

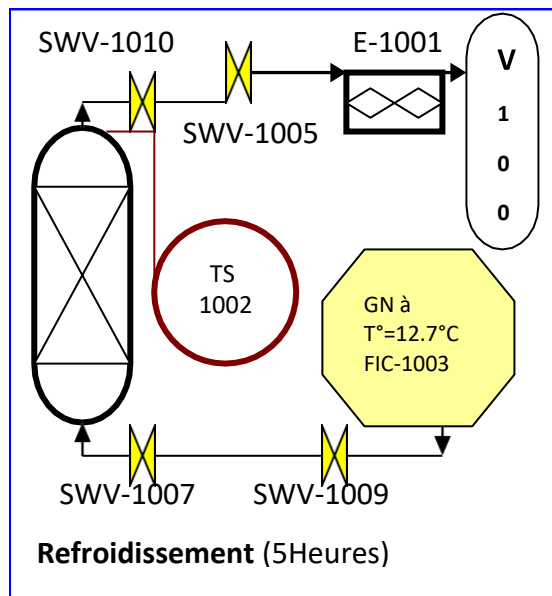


Figure III.5 : séquence de refroidissement

III.5.5 Remise sous pression :

Avant de pouvoir réintroduire du GPL liquide dans la colonne, V- 1001A doit être remis sous pression par du gaz naturel (20 kg/cm²eff.) pour éviter une détente du GPL brut et ainsi une perte du produit.

Pour la remise sous pression, un faible débit de gaz naturel sous haute pression est introduit dans la colonne. Les vannes 13 et 4A s'ouvrent automatiquement et PDS-3 est mis en service.

La pression augmente dans la colonne jusqu'au point de tarage de PDS-3. La vanne 4A se ferme alors et PDS-3 est mis hors service. La pression dans V-1001 a atteint alors 20 kg/cm²eff.

L'opération de remise sous pression dure environ une demi-heure. [4]

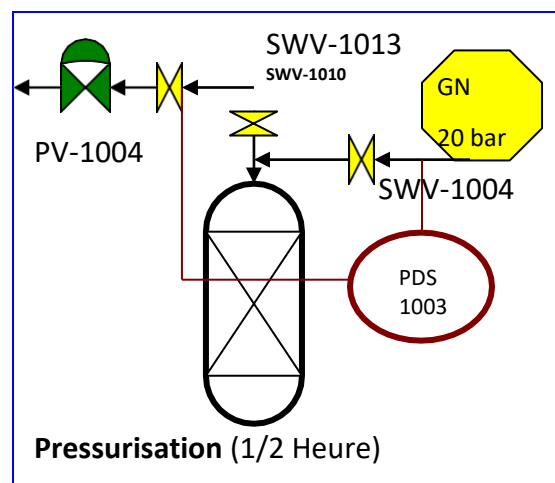


Figure III.6 : Séquence de pressurisation

III.5.6 Remplissage en liquide :

Après la remise sous pression, le GPL liquide peut être réintroduit dans la colonne, sans risque de détente.

Au fur et à mesure que le GPL liquide remonte dans la colonne, le gaz est refoulé sous contrôle de pression en tête. Lorsque le niveau du liquide atteint LS-2, la vanne 12A se ferme. Cette opération demande environ une heure.

V-1001A a alors achevé le cycle de régénération et se trouve en réserve. La durée de disponibilité en réserve est normalement de 53 heures. La durée totale de la régénération est de 19 heures.

17 heures plus tard, le cycle d'adsorption de V-1001B est achevé, et son cycle de régénération commence. V-1001C est mis en ligne et commence son cycle d'adsorption tandis que V-1001A reste en réserve. [4]

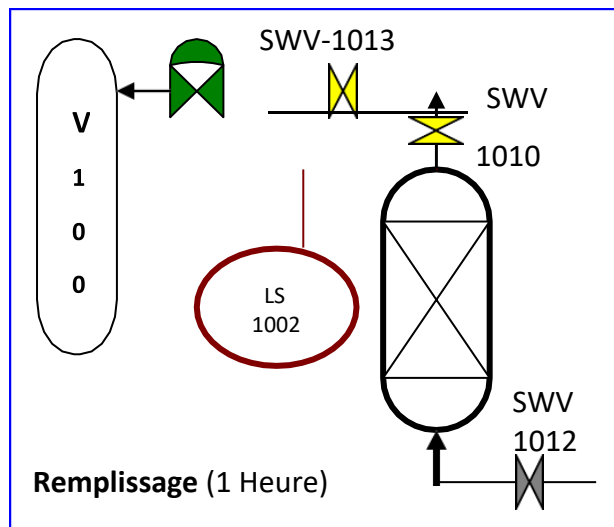


Figure III.7 : Séquence de remplissage

Le figure ci-dessous représente la section déshydratation de charge (**train 100**). [4]

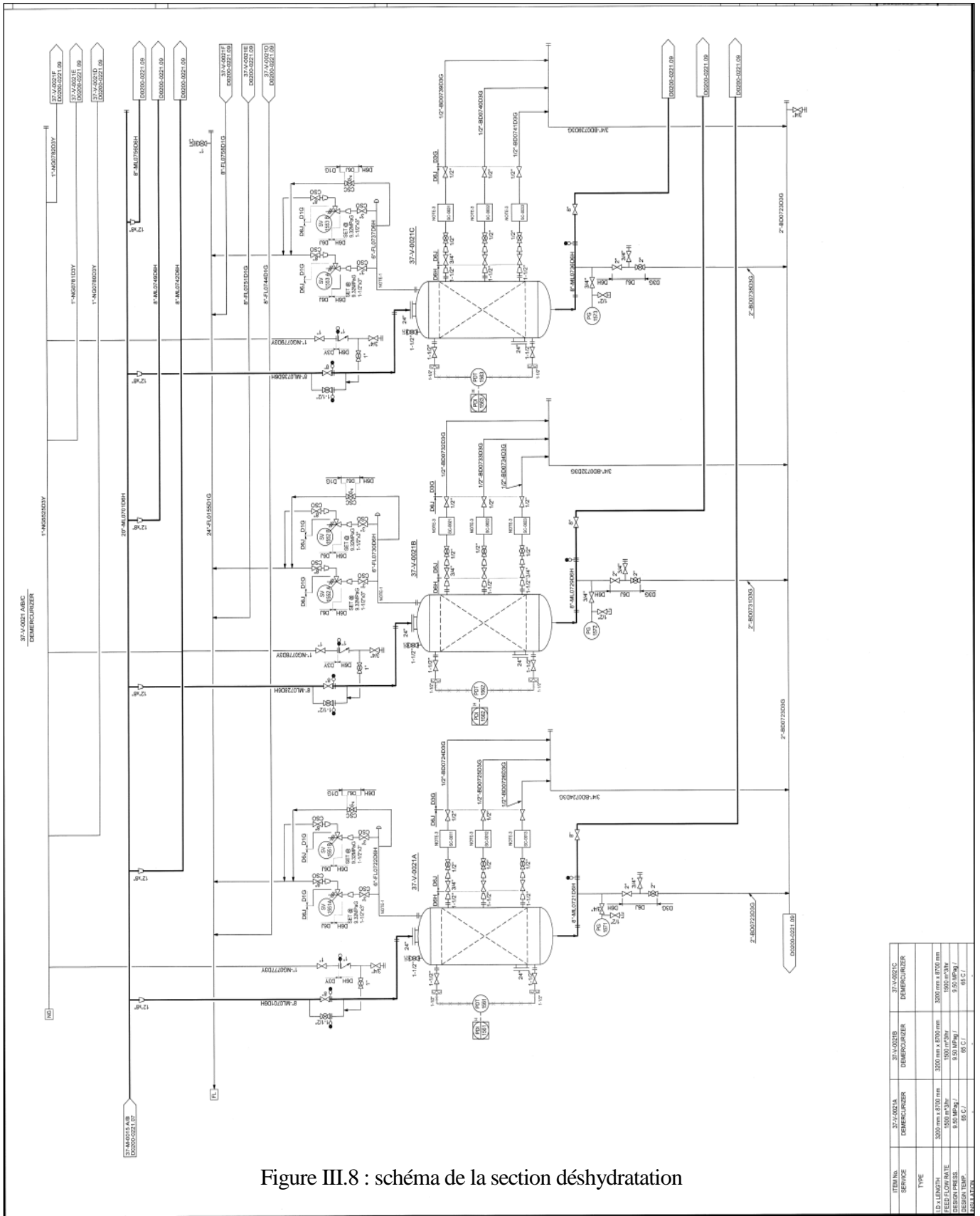


Figure III.8 : schéma de la section déshydratation

ITEM No.	37-A-021A	37-A-021B	37-A-021C
SERVICE	DEMERCAIZER	DEMERCAIZER	DEMERCAIZER
TYPE			
I.D. x LENGTH	3000 mm x 8700 mm	3000 mm x 8700 mm	3000 mm x 8700 mm
NO. OF TRAYS	85 MP/81	85 MP/81	85 MP/81
DESIGN PRESS.	8.5 MP/81	8.5 MP/81	8.5 MP/81
DESIGN TEMP.	95 C./	95 C./	95 C./
ISS. & DATE			

Chapitre IV

Chapitre IV : Les Paramètres Agissant le Bon Fonctionnement de la Section de la Déshydratation

IV.1 Présentation de problème

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

Le design de la déshydratation de charge du complexe GP1/Z a été conçu pour une teneur en eau dissoute dans la charge GPL égale à 100 ppm, mais actuellement on a remarqué que cette teneur n'est pas atteinte ; ceci est dû au prétraitement de la charge provenant du sud.

En effet pour une concentration en eau égale à 100 ppm le temps d'adsorption a été fixé à 36 heures et celui de la régénération à 19 heures. Mais les concentrations actuelles d'eau dans les charges GPL sont réduites à des valeurs qui peuvent même chuter jusqu'au moins de 25 ppm.

Ce problème a été confirmé en traçant la courbe durant du mois (figure IV.1), et le problème persiste et il est permanent et ceci à de considérables pertes économiques vu que le lit d'adsorption travaille bien au-dessous de sa capacité.

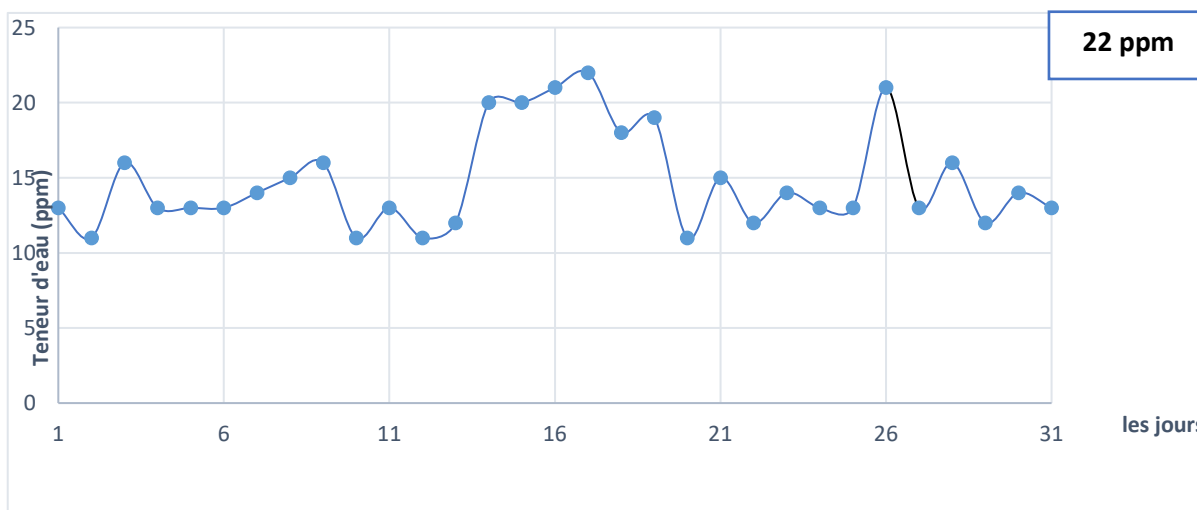


Figure IV.1 : La variation de la teneur en eau durant le mois (Mars 2021)

IV.1.1 Interprétation de graphe

D'après les analyses qu'on a effectuées au niveau de laboratoire de la teneur en eau dans la charge GPL à l'entrée du sécheur pour un durée du mois « figure IV.1 », on a constaté que la concentration de la charge en eau ne dépasse pas la 22 ppm qui est une teneur très loin des normes exigées, soit le $\frac{1}{4}$ de la valeur de design (100 ppm).

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

C'est pourquoi on a commencé par la recherche des solutions possibles à notre problème cette recherche nous permet d'étudier la solution suivante :

- la prolongation du temps adsorption.

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

On choisit la solution qui nous permet le plus d'économiser de l'énergie et de préserve la durée de vie du desséchant sans perturber la capacité de production et la qualité du produit final.

IV.2 Introduction :

Le but de cette partie de travail est de déterminer et de fixer les paramètres optimaux lors du fonctionnement de la section déshydratation de charge, en déterminant le temps d'adsorption nécessaire pour faire fonctionner l'adsorbent jusqu'à son point de saturation, en fonction de la teneur d'eau dans la charge ; tout en essayant d'optimiser les paramètres de fonctionnement du cycle de chauffage.

Pour cela, la partie calcul comprend :

- **Un bilan thermique :** ce bilan est effectué dans les deux cas le premier ou la teneur d'eau dans la charge est 100 ppm (design) et la deuxième pour une teneur de 25 ppm (état actuel).

- **Un bilan de matière :** cette sous partie incluse le dimensionnement de sécheur et le bilan matière de régénération.

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

Avant toute application, nous nous assurons de la fiabilité de la méthode adoptée par la suite dans un sous-titre « Validation de méthode » où les calculs seront faits pour un déshydrateur de charge fonctionnant selon le design.

IV.3 Constitution d'un déshydrateur de charge :

La partie essentielle d'une colonne de déshydratation est le tamis moléculaire qui est l'agent adsorbant. Et une couche de billes en céramique (alumine) de 150 mm d'épaisseur avec une couche similaire au-dessus qui présentent un support. [3],[7]

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

La fiche technique du tamis moléculaire et représenté sur le Tableau IV.1:

Tableau IV.1: La fiche technique du tamis moléculaire.

Diamètre nominal des pores	4° A
Diamètre des particules	3.2 mm
Densité tassée	640 kg / m ³
Chaleur de désorption de l'eau	1800 BTU / Lb d'eau
Teneur en eau résiduelle	2%
Capacité en eau à l'équilibre	22%
Capacité calorifique	0.22 k cal / kg °C

IV.3. 1 Les conditions opératoires d'adsorption / désorption :

- Durée d'adsorption : **36 heures.**
- Durée de régénération : **19 heures.** - Réchauffage = **11 heures.**
- Refroidissement = **5 heures.**

IV.3.2 Température d'entrée du gaz de régénération :

-Réchauffage ($T = 280^{\circ}\text{C}$).

-Refroidissement ($T = 12.7^{\circ}\text{C}$).

IV.4 La théorie de calcul :

- **Bilan énergétique :**

IV.4.1 Calcul de la quantité totale de chaleur nécessaire à la régénération :

La quantité de chaleur nécessaire à la régénération est :

$$Q_{total} = Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des} + Q_{pertes} \dots \dots \dots (IV - 1)$$

Q_{tamis} : La chaleur nécessaire au réchauffage du tamis de la température d'adsorption à La température de désorption (BTU).

Q_{acier} : La chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier de la température d'adsorption à La température de désorption (BTU).

Q_{des} : La chaleur nécessaire à la désorption de l'eau fixée sur le tamis (BTU).

Q_{pertes} : Considérées comme étant égales à 10% de la somme

($Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des}$) (BTU). [12]

IV.4.2 Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption de l'eau Q_{des} :

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

$$Q_{des} = M_{ads} * \Delta H \dots \dots \dots (IV - 2)$$

ΔH : La chaleur spécifique de désorption de l'eau (BTU/ Lb).

IV.4.3 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis Q_{tamis} :

$$Q_{tamis} = m_t * Cp_t * (T - T_{ads}) \dots \dots \dots (IV - 3)$$

m_t : La masse totale du tamis moléculaire (Lb).

Cp_t : La capacité calorifique du tamis (BTU/ Lb. °F).

T : La température moyenne du lit en fin de réchauffage (°F).

T_{ads} : La température d'adsorption (°F).

IV.4.4 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier Q_{acier} :

$$Q_{acier} = m_t * C_{p_c} * (T - T_{ads}) \dots \dots \dots (IV - 4)$$

m_t : La masse totale de l'acier (Lb)

C_{p_c} : La capacité calorifique de l'acier (BTU / lb. °F).

IV.4.5 Calcul des pertes de chaleur Q_{perte} :

$$Q_{pertes} = 0,1 * (Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des}) \dots \dots \dots (IV - 5)$$

Pour pouvoir calculer les besoins en chaleur (Q_{totale}), nous avons besoin de la température du lit en fin de chauffage « T » :

❖ **Calcul de la température du lit « T » : [12]**

On peut l'obtenir par la relation suivante :

$$T = T_s - \frac{(T_e - T_s)}{2} \dots \dots \dots (IV - 6)$$

T_e : La température d'entrée du gaz de régénération (°F).

T_s : La température de sortie du gaz de régénération (°F).

IV.4.6 Calcul de la chaleur H_f fournie par le four :

$$H_f = \frac{Q_{totale}}{\frac{1}{\epsilon}} \dots \dots \dots (IV - 7)$$

$\frac{1}{\epsilon}$: L'efficacité

thermique de four. [5]

IV.4.7 Calcul du temps de réchauffage du tamis « t_r »:

$$t_r = \frac{H_f}{\Delta H_{(T_i - T_e)} * M_g} \dots \dots \dots (IV - 8)$$

M_g : Le débit du gaz de chauffage (Nm³ / hr).

$\Delta H_{(T_e - T_{ads})}$: La différence de l'enthalpie du gaz (BTU / Nm³).

t_r : Le temps de chauffage (hr). [12]

IV.4.8 calcul de la chaleur fournie par le four par cycle « Hf /cycle »:

$$C_{cycle} = 3 * t_{ads}$$

Hf/cycle: la chaleur fournie par le four par cycle (BTU/hr).

t_{ads} : le temps d'adsorption (hr).

IV.4.9 Calcul du temps de refroidissement du tamis « t_{ref} » :

$$t_{ref} = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{Q_{totale}} * t_r \dots \dots \dots (IV - 10)$$

IV.4.10 Calcul de la chaleur soutirée au système Q_{ref} :

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

IV.5 Le bilan de matière de la régénération :

IV.5.1 Calcul du débit du gaz de refroidissement :

Le débit du gaz de refroidissement est calculé comme suit :

$$M_{ref} = \frac{Q_{ref}}{\Delta H_{(T_s - T_e)}} \dots \dots \dots (IV - 12)$$

ΔH_(T_s- T_e) : La différence de l'enthalpie du gaz (BTU / Nm³) de refroidissement

M_{ref} : Le débit du gaz de refroidissement (Lb/ hr).

Q_{ref} : la chaleur soutirée au système. (BTU/ hr).

T_e : la température d'entrée du gaz de refroidissement (°F).

Après les bilans thermiques et matières, il faudra s'assurer que le débit calculé n'engendrera pas une perte de charge trop importante et que l'écoulement est bien turbulent. [12]

IV.5.2 Calcul de la chute de pression :

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

$$\frac{\Delta P}{L} = (A * \mu * U) + (B * \rho_{GN} * U^2) \dots \dots \dots \text{(IV - 13)}$$

Où :

$\Delta P/L$: la perte de charge par unité de longueur (psi / ft).

μ : la viscosité du GN (Cp).

U : la vitesse superficielle (ft / min).

ρ_{GN} : la masse volumique du GN (Lb/ ft³).

A et B : des constantes relatives aux dimensions des particules du tamis. [12]

$$A = 0.0561, B = 0.0000889$$

IV.5.3 Calcul du nombre de Reynolds :

Le nombre de Reynolds est calculé par la formule suivante :

$$R_e = \frac{G * D_p}{\mu} \dots \dots \dots \text{(IV - 14)}$$

IV.6 Validation de la méthode :

IV.6.1 Introduction :

Avant d'entamer nos calculs, nous nous assurons de la validité de la méthode adoptée.

Pour cela, nous reprendrons le calcul d'un sécheur de la section déshydratation de la charge pour un taux de traitement égal à 100 %.

Nous reprendrons essentiellement le calcul de la quantité de chaleur nécessaire à la régénération ainsi que le débit approprié.

- ✓ Débit de traitement à 100%: $Q = 240\text{m}^3/\text{hr} = 8675,09\text{ ft}^3/\text{hr}$
- ✓ $P = 30.7\text{ Kg} / \text{cm}^2$
- ✓ $T = 25\text{ }^\circ\text{C} = 298,15\text{ k}$

La composition de la charge du GPL est représentée sur le tableau IV.2:

Tableau IV.2: La composition de la charge du GPL

COMPOSANT	Mi g/mole	Yi (% molaire)	Yi * Mi
C1	16,043	0, 24	0,04
C2	30,070	1, 92	0,58
C3	44,097	59, 37	26,18
i-C4	58,123	13, 68	7,95
n-C4	58,123	24, 54	14,26
i-C5	72,150	0, 20	0,14
n-C5	72,150	0, 05	0,04

Poids moléculaire du GPL: $M_{\text{GPL}} = \sum Y_i * M_i$

$$M_{\text{GPL}} = 49.19\text{ Kg /Kmole.}$$

- ✓ Solubilité de l'eau dans le GPL à $T=25^\circ\text{C}$: $\text{SOL}=380\text{ppm mole}$.(voir Annex 01)
- ✓ Teneur en eau à l'entrée du sécheur: $X_E= 100\text{ ppm}$.
- ✓ Teneur en eau à la sortie du sécheur: $X_s= 1\text{ ppm}$.
- ✓ Phase: liquide.
- ✓ Masse volumique du GPL : $\rho_{\text{GPL}}=530\text{ Kg} / \text{m}^3 = 33.09\text{ Lb} / \text{ft}^3$.

IV.6.1 Dimensionnement d'un déshydrateur :

IV.6.1.1 Calcul de la quantité d'eau adsorbée :

Diamètre minimum du lit :

❖ Pour le calcul du diamètre minimum du lit, on utilise la formule suivante : [12]

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 * \rho_{GPL} * Q}{\pi * G}} \dots \dots \dots (IV - 15)$$

D_{min} : Diamètre minimum du lit de tamis (ft).

ρ_{GPL} : Masse volumique de la charge (Lb/ ft³).

Q : Débit volumique de la charge (ft³ / hr).

G : Vitesse massique de l'écoulement de fluide (Lb /ft² .hr).

Pour les tamis moléculaires, la vitesse massique de l'écoulement est donnée par la formule suivante:

$$G = 3600 * \sqrt{C * \rho_{tamis} * \rho_{GPL} * D_p} \dots \dots \dots (IV - 16)$$

D_p : Diamètre moyen des particules du tamis (ft).

ρ_{tamis} : Masse volumique du dessicant (Lb/ ft³)

C : Constante relative aux tamis moléculaire (C =g*0,03291925=1.06 ft / sec²)

❖ Application Numérique :

$$G = 3600 * \sqrt{C * \rho_{tamis} * \rho_{GPL} * D_p}$$

AN : $D_p = 0,01ft$.

$$\rho_{tamis} = 640 \text{ kg / m}^3 = 39,95 \text{ Lb / ft}^3.$$

$$\rho_{GPL} = 530 \text{ kg / m}^3 = 33,09 \text{ Lb / ft}^3.$$

$$g = 32.2 \text{ ft / sec}^2. \quad C = 1.06$$

$$G = 3600 * \sqrt{1,06 * 39,95 * 33,09 * 0,01}$$

$$G = 13476,03 \text{ (Lb / ft}^2 \cdot \text{hr)}$$

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 * \rho_{GPL} * Q}{\pi * G}}$$

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 * 33,09 * 8675,09}{3,14 * 13476,03}}$$

$$D_{min} = 5,2 \text{ ft} = 1.58 \text{ m}$$

❖ **La hauteur totale du lit:**

❖ La hauteur totale du lit est donnée par 1 'équation suivante: [12]

Avec:
$$H_t = H_s + H_z \dots\dots\dots (IV-17)$$

H_s : la hauteur de la zone d'équilibre (ft).

H_z : la longueur de la zone de transfert de masse (ft).

❖ **Calcul de la vitesse actuelle d'écoulement de fluide (U_{act}):**

$$U_{act} = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots (IV - 18) [12]$$

Avec :
$$S = \frac{\pi * D_{min}^2}{4} \dots$$

AN:
$$S = \frac{3,14 * 5,2^2}{4}$$

S = 21,226 ft²

$$U_{act} = \frac{8652,1}{21,226}$$

U act = 407,618 (ft /hr) = 6,79 (ft /min)

❖ **Calcul le débit d'eau:**

$$q_w = \frac{4 * Y_{in} * Q * \rho_{GPL}}{\pi * D_L^2} \dots\dots\dots (IV - 19)$$

D_L : le diamètre du lit. ($D_L=2,1$ m= 6,89 ft).

q_w = 0.77 (Lb/ft².hr).

❖ **Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse:**

$$H_z = \frac{A * q_w^{0,7895}}{U_{act}^{0,5506} * R_s^{0,2646}} \dots\dots\dots (IV - 20)$$

H_z = 18,82 inch = 1,56 ft = 0.47 m

A : Constante pour les tamis moléculaires [A=225].

q_w : quantité d'eau dans le gaz par unité de surface du déshydrateur [lb/hr.ft²]

R_s : Saturation relative du gaz d'entrée en % [100% pour notre cas].

U_{act} : vitesse superficielle du gaz [ft/mn].

❖ **Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre:**

$$H_s = H_t - H_z \dots\dots\dots (IV - 21)$$

H_s = 4,34 ft = 1.33 m

H_t : la hauteur totale du lit ($H_t=1.8$ m = 5.9 ft).

H_z : la hauteur de la zone de transfert de masse.

❖ **Estimation de la capacité d'adsorption à l'équilibre :**

La capacité d'adsorption est de 22 Lb d'eau / Lb de tamis moléculaire qui représente la saturation complète du tamis moléculaire.

$$X_s = (22 - X_1)$$

X_1 : la teneur en eau résiduelle, $X_1 = 1.5$ % en poids.

A cause des pertes de la capacité lors de l'adsorption engendrée par l'encrassement des pores ; de la destruction des cristaux ; de l'attaque chimique ...etc. il est convenable d'ajouter une quantité de tamis pour compenser l'effet de vieillissement. [12]

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

$$\text{Coefficient d'usure} = 70 \%$$

La capacité sera en fin de compte égale à:

$$X_s = (22 - X_1) * 0.7$$

Alors :

$$X_s = 14,35 \text{ Lb d'eau / 100 Lb adsorbant}$$

❖ **Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant (X):**

$$X = X_s * \left(1 - \frac{C * H_z}{H_s}\right) \dots \dots \dots (IV - 22)$$

$$X = 12,02 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de dessicant}$$

C: une constante empirique qu'on prend généralement égale à 0.45 et qui dépend de la forme des particules de tamis moléculaire.

❖ **Estimation de la quantité d'eau adsorbée M_{ads} :**

$$M_{ads} = \frac{(H_t - (C * H_z)) * (X_s * D_L^2 * \rho_{tamis})}{127.38} \dots \dots \dots (IV - 23)$$

$$M_{ads} = 1,11 \cdot 10^3 \text{ Lb}$$

❖ **Calcul du temps d'adsorption:**

$$t_{ads} = \frac{0,01 * X * H_t * \rho_{tamis}}{q_w}$$

$$t_{ads} = 36,80 \text{ hr}$$

❖ **Détermination de l'efficacité d'adsorption:**

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

$$EFF = 83,4$$

IV.6.2.1 Calcul du bilan thermique :

❖ **Propriété du gaz de régénération :**

Composant	X _i en mole	T _{ref} (k)	T _{rec} (k)	ΔH° (KJ/Kg)	M _i (Kg/Kmole)	xi % en poids	ΔH°*Xi
C ₁	0,8386	285,85	553,15	698,30	16	0,72	500,69
C ₂	0,0743	285,85	553,15	599,60	30	0,12	71,42
C ₃	0,0186	285,85	553,15	586,64	44	0,04	25,66
iC ₄	0,0026	285,85	553,15	591,34	58	0,01	4,77
nC ₄	0,0008	285,85	553,15	592,58	58	0,00	1,47
iC ₅	0,004	285,85	553,15	585,59	72	0,02	9,01
nC ₅	0,0009	285,85	553,15	586,78	72	0,00	2,03
C ₆	0,0003	285,85	553,15	589,15	86	0,00	0,81
N ₂	0,0557	285,85	553,15	280,49	28	0,08	23,38
CO ₂	0,0024	285,85	553,15	253,63	44	0,01	1,43
He	0,0018	285,85	553,15	0,00	4	0,00	0,00
	1				18,71	1,00	640,66

❖ **La composition du gaz de régénération :**

Tableau IV.3: La composition du gaz de régénération.

Poids moléculaire du GN: $M_{GN} = \sum Y_i * M_i$. [12], [11]

$$M_{GN} = 18.71 \text{ Kg / Kmole}$$

❖ **Le gaz naturel de Réchauffage:** T= 280 °C=253k

$$P = 4.5 \text{ kg / cm}^2$$

❖ **Le gaz naturel de Refroidissement:** T= 12.7 °C=285,85k

$$P = 4.5 \text{ kg / cm}^2$$

❖ **Calcul de la masse volumique du GN dans les conditions normal ρ_{GN}:**

$$\rho_{GN} = \frac{P * M_{GN}}{Z * R * T}$$

Z =1.

$$M_{GN} = 18.71 \text{ Kg / K mole}$$

$$T = 0 \text{ °C} = 273.15 \text{ °K.}$$

$$P = 1.01351 \text{ kg / cm}^2 = 1 \text{ atm.}$$

$$R = 0.0821 \text{ (l. atm / mole. °K)}$$

$$\rho_{GN} = 0.83 \text{ Kg / Nm}^3$$

❖ **Calcul de l'enthalpie de chauffage du gaz de 12.7°C à 280°C :**

$$\Delta H = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 + FT^5$$

$$T = T_{rech} - T_{ref}$$

$$\Delta H = A + B(T_{rech} - T_{ref}) + C(T_{rech} - T_{ref})^2 + D(T_{rech} - T_{ref})^3 + E(T_{rech} - T_{ref})^4 + F(T_{rech} - T_{ref})^5$$

ΔH : l'enthalpie qui fournit par le four exprimée en (Kj / Kg), Tableau (1).

T: le gradient de la température de chauffage du gaz de GN en (°K).

A, B, C, D, E, F : Constantes des compositions de GN de la corrélation. [5] (voir Annex 02)

$$\Delta H = 640,66 \text{ Kj / Kg} = 2,75 \cdot 10^2 \text{ BTU / Lb}$$

❖ **Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage du tamis Q_{tamis}**

❖ **Calcul de la masse du tamis m_t :**

$$m_t = \frac{\pi * D_L^2 * H_t * \rho_{tamis}}{4}$$

$$D_L = 2,1 \text{ m} = 6,89 \text{ ft.}$$

$$m_t = 10257,56 \text{ Lb} = 4652,75 \text{ Kg}$$

$$H_t = 2,1 \text{ m} = 6,89 \text{ ft.}$$

$$\rho_{tamis} = 640 \text{ kg/m}^3 = 39,95 \text{ Lb/ft}^3.$$

❖ **Calcul de la température moyenne du lit en fin de chauffage :**

$$T_s = 227 \text{ °C} = 440.6 \text{ °F} = 500 \text{ °K}$$

$$T_e = 280 \text{ °C} = 536 \text{ °F} = 553 \text{ °K.}$$

D'après l'équation (IV-6) : [12]

$$T = T_s - \frac{(T_e - T_s)}{2}$$

$$T = 200,5 \text{ °C} = 392,9 \text{ °F} = 473,65 \text{ °K}$$

$$C_{p_t} = 0.22 \text{ BTU / Lb °f}$$

$$m_t = 10257,56 \text{ Lb.}$$

$$T = 200.5 \text{ °C} = 392.9 \text{ °F} = 473.65 \text{ °K.}$$

$$T_{ads} = 25 \text{ °C} = 77 \text{ °F}$$

D'après l'équation (IV-3):

$$Q_{tamis} = m_t * C_{p_t} * (T - T_{ads})$$

$$Q_{\text{tamis}} = 7,13 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

❖ **Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage de l'acier :**

❖ **Calcul du volume de l'acier (V_c):**

$$V_c = (S_{\text{ext}} - S_{\text{int}}) * L$$

Avec:

V_c : Le volume total de l'acier (ft)

S_{ext} : La surface externe de la paroi du sécheur (ft²).

S_{int} : La surface interne de la paroi du sécheur (ft²)

L : La hauteur de la colonne (ft). [12]

$$V_c = \frac{\pi * [(d + (2 * E_p))^2 - d^2] * L}{4}$$

$$V_c = \pi * L * [E_p * (d + E_p)]$$

E_p : L'épaisseur de l'acier. $E_p = 36.8 \text{ mm} = 0,12 \text{ ft}$

d : Le diamètre de l'acier = 6,89 ft = 2.1 m

L : La hauteur de la colonne = 4630 mm = 15,19 ft

$$V_c = 1.13 \text{ m}^3 = 40.12 \text{ ft}^3$$

❖ **Calcul de la masse de l'acier m_c :**

$$m_c = V_c * \rho_{\text{acier}}$$

ρ_{acier} : La masse volumique de l'acier (Lb / ft³) = 500 Lb / ft³

$$V_c = 40,37 \text{ ft}^3.$$

$$m_c = 2 \cdot 10^4 \text{ Lb}$$

On doit ajouter la quantité d'acier relatif aux supports, aux pipes et aux brides estimées à 35%

Donc :

$$m_c = 2.7 \cdot 10^4 \text{ Lb}$$

C_{p_c} : La capacité calorifique de l'acier (BTU / lb. °F) = 0.12 BTU / lb. °F [3]

$$m_c = 2.7 \cdot 10^4 \text{ Lb.}$$

D'après l'équation (IV-4):

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

$$Q_{\text{acier}} = 1.03 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ **Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q_{des} :**

La quantité d'eau adsorbée $M_{\text{ads}} = 1,11 \cdot 10^3 \text{ Lb.}$

La chaleur de désorption $\Delta H = 1800 \text{ BTU/Lb.}$

D'après l'équation (IV-2):

$$Q_{\text{des}} = M_{\text{ads}} * \Delta H$$

$$Q_{\text{des}} = 2 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ **Calcul des pertes de chaleur Q_{perte} :**

$$Q_{des} = 2 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 7,13 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

D'après l'équation (IV-5):

$$Q_{pertes} = 0,1 * (Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des})$$

$$Q_{perte} = 3,74 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

❖ **Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Q_{totale} :**

D'après l'équation (IV- 1):

$$Q_{total} = Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des} + Q_{pertes}$$

$$Q_{totale} = 4,11 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ **Calcul de la chaleur fournie par le four pendant le réchauffage H_f :**

❖ **Calcul de l'efficacité thermique du four $1/\varepsilon$:**

Efficacité thermique du four pendant le réchauffage: [12], [5]

$$\varepsilon = 2,25 + (0,03113 * T)$$

T : Temps de chauffage (hr).

$$\frac{1}{\varepsilon} = 0,38$$

D'après l'équation (IV-7): à partir le tableau (IV-1):

$$H_f = \frac{Q_{totale}}{\frac{1}{\varepsilon}}$$

$$1/\varepsilon = 0,38$$

$$Q_{totale} = 4,11 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$H_f = 1,08 \cdot 10^7 \text{ BTU}$$

❖ **Calcul du temps de réchauffage du tamis « t_r » :**

Les données sont représentées dans le tableau VI.5 :

Tableau IV.5: Représentation des données de réchauffage du tamis

Quantité de chaleur apportée par le GN: H_f (BTU)	1.08 10 ⁷
Déférence de L'enthalpie ($\Delta H_{(280-12.7)^\circ c}$: BTU / Nm³)	1179,47
Masse volumique ρ_{GN} (Lb/ Nm³)	1,8298
Température finale (T_f : °F)	536
Température initiale (T_i : °F)	54,86

Pour ΔH en Kj / Nm³: $\Delta H = \Delta H \text{ (Kj/ Kg)} * \rho_{GN}$

$$\Delta H = 640,66 \text{ Kj / Kg.}$$

$$\rho_{GN} = 0,83 \text{ Kg/ Nm}^3 = 1,83 \text{ Lb/ Nm}^3.$$

$$\Delta H = 504,34 \text{ BTU/ Nm}^3$$

D'après l'équation (IV-8):

$$t_r = \frac{H_f}{\Delta H * M_{GN}}$$

$$H_f = 1,08 \text{ 10}^7 \text{ BTU}$$

$$\Delta H = 504,34 \text{ BTU/ Nm}^3.$$

$$M_{GN} = 2000 \text{ Nm}^3/\text{hr.}$$

$$t_r = 10,7 \text{ hr}$$

H_f : La chaleur fournie par le four pour le GN exprimée en (BTU / Nm³).

M_{GN} : Le débit du GN sortant du four exprimé en (Nm³/hr).

$\Delta H_{(T_e - T_{ads})}$: La déférence de l'enthalpie du gaz (BTU / Nm³). [12]

❖ **Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle « H_f / cycle»:**

$$t_r = 10,7 \text{ hr.}$$

$$H_f = 1,08 \text{ 10}^7 \text{ BTU.}$$

$$t_{ads} = 36,8 \text{ hr.}$$

D'après l'équation (IV-9): [12]

$$H_f / \text{CYCLE} = 3,14 \text{ 10}^6 \text{ BTU / hr}$$

❖ **Calcul du temps de refroidissement du tamis « t_{ref} »:**

D'après l'équation (IV-10):

$$t_{ref} = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{Q_{totale}} * t_r$$

$$t_{ref} = 4,53 \text{ hr}$$

$$Q_{\text{totale}} = 4,11 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{\text{acier}} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{\text{tamis}} = 7,13 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

❖ **Calcul de la chaleur soutirée au système Q_{ref} :**

D'après l'équation (IV-11):

$$Q_{\text{ref}} = \frac{Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{acier}}}{t_{\text{ref}}}$$

$$Q_{\text{ref}} = 3,85 \cdot 10^5 \text{ BTU/ hr}$$

$$Q_{\text{acier}} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{\text{tamis}} = 7,13 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$t_{\text{ref}} = 4,53 \text{ hr.}$$

IV.6.2.2 Calcul du bilan de matière de la régénération :

❖ **Calcul du débit du gaz de refroidissement :**

D'après l'équation (IV-12)

$$M_{\text{ref}} = \frac{Q_{\text{ref}}}{\Delta H_{(T_s - T_e)}}$$

$$Q_{\text{ref}} = 3,85 \cdot 10^5 \text{ BTU/ hr.}$$

$$\Delta H_{(T_s - T_e)} = 507,42 \text{ BTU/ Nm}^3.$$

$$T_s = 227 \text{ }^\circ\text{C} = 440,6 \text{ }^\circ\text{F} = 500 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_e = 12,7 \text{ }^\circ\text{C} = 54,86 \text{ }^\circ\text{F} = 285,7 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$M_{\text{ref}} = 7,6 \cdot 10^2 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

❖ **Calcul des pertes de charge:**

Calcul de la perte de charge $\Delta P/L_1$ pour le GN chaud:

❖ **Le gaz naturel de Réchauffage:**

$$T = 280 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P = 4,5 \text{ kg / cm}^2$$

❖ **Calcul de la masse volumique du GN**

$$\rho_{GN} = \frac{P * M_{GN}}{Z * R * T}$$

❖ **Calcul du coefficient de compressibilité (Z):**

Le facteur de compressibilité est calculé par la formule suivante:

$$Z = 1,046 - (2,034 * 10^{-9}) * P + (4,571 * 10^{-8}) * P^2.$$

$$Z = 1,03 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Avec P est la pression du travail exprimé en Psia

$$Z = 1,03$$

$$M_{GN} = 18,71 \text{ Kg} / \text{K mole}.$$

$$T = 280 \text{ }^\circ\text{C} = 553 \text{ }^\circ\text{K}.$$

$$P = 4,5 \text{ kg} / \text{cm}^2 = 4,44 \text{ atm}.$$

$$R = 0,082 \text{ L. atm} / \text{mole. }^\circ\text{K}.$$

$$\rho_{GN} = 1,77 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

❖ **Calcul de la vitesse superficielle U_1 à travers le lit:**

$$S = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$S = 5,411 \text{ ft}^2$$

$$\rho_{GN} = 1,77 \text{ Kg} / \text{Nm}^3 = 0,11 \text{ Lb} / \text{ft}^3 .$$

$$M_g = 2000 \text{ Nm}^3 / \text{hr} = 3,68 \cdot 10^3 \text{ Lb} / \text{hr}.$$

$$U_1 = \frac{M_g}{60 * S * \rho_{GN}}$$

$$U_1 = 103,09 \text{ ft} / \text{min}$$

❖ **Calcul de la viscosité du GN chaud μ_1 :**

Connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération :

$$P = 4,5 \text{ kg} / \text{cm}^2 = 450 \text{ Kpas}$$

$$d_r = M_{GN} / M_{air} = 0,64.$$

$$T = 280 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\mu_1 = 0.02 C_p = 0.043 \text{ Lb} / \text{ft} . \text{hr} . (\text{voir Annex 3})$$

D'après l'équation (IV-13) :

$$\Delta P / L_1 = (A * U_1 * \mu_1) + (B * \rho_{GN} * U_1^2)$$

Avec:

$\Delta P / L$: Perte de charge par unité de longueur (psi / ft)

μ : Viscosité du GN (Cp)

A, B : Constantes relatives aux dimensions des particules du tamis.

$$A = 0,0561 \quad , \quad B = 0,0000889$$

$$\Delta P/L_1 = \mathbf{0,22 \text{ psi / ft}}$$

❖ Calcul de Re_1 :

$$D_p = 0,01 \text{ ft.}$$

$$\mu_1 = 0,02 \text{ Cp} = 0,04 \text{ Lb /ft .hr}$$

$$G = Mg / S = 680,37 \text{ Lb/ ft}^2 \cdot \text{hr}$$

D'après l'équation (IV-14)

$$Re = \frac{G * D_p}{\mu}$$

$$Re_1 = \mathbf{170,09}$$

❖ Calcul de la perte de charge $\Delta P/L_2$ pour le GN froid:

❖ Calcul du coefficient de compressibilité (Z)
:[5],[11]

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

$$T_r = \frac{T}{T_c}$$

$$P_r = \frac{P}{P_c}$$

T_c, P_c : paramètres pseudo critiques.

T_r, P_r : température et pression réduites.

$$T_c = \sum Y_i * T_{ci} \quad T_c = 194,3^\circ\text{K.}$$

$$P_c = \sum y_i * P_{ci} \quad P_c = 45,12 \text{ atm}$$

$Z = f (Tr = 1,47 ; Pr = 0,1)$. (selon Annex 5 et 6)

$$Z = 0,91 \text{ Kgm}^3.$$

$$\rho_{GN} = \frac{P * M_{GN}}{Z * R * T}$$

$$Z = 0,91$$

$$M_{GN} = 18,71 \text{ Kg / K mole.}$$

$$T = 12,7^\circ\text{C} = 285,7 \text{ }^\circ\text{K.}$$

$$P = 4,5 \text{ kg / cm}^2 = 4,44 \text{ atm.}$$

$$R = 0,082 \text{ (l . atm / mole . K).}$$

$$\rho_{GN} = 3.88 \text{ Kg / m}^3.$$

❖ Calcul de la vitesse superficielle U_2 à travers le lit:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$S = 5,411 \text{ ft}^2$$

$$\rho_{GN} = 3.88 \text{ Kg / m}^3 = 0.24 \text{ Lb / ft}^3.$$

$$M_g = M_{ref} = 760 \text{ Nm}^3/\text{hr} = 1.4 \cdot 10^3 \text{ Lb / hr}$$

$$U_2 = \frac{M_g}{60 * S * \rho_{GN}}$$

$$U_2 = 17.96 \text{ ft / min.}$$

❖ Calcul de la viscosité du GN froid μ_2 :

Calcul de la densité relative d_r :

$$d_r = \frac{M_{GN}}{M_{air}}$$

$$d_r = 0.64$$

$$T = 12.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P = 4.5 \text{ kg/cm}^2 = 450 \text{ Kpas}$$

$$\mu_2 = 0.01 \text{ Cp} = 0.03 \text{ Lb /ft .hr. (voir annex 03)}$$

D'après l'équation (IV-13)

$$\Delta P / L_2 = (A * U_2 * \mu_2) + (B * \rho_{GN} * U_2^2)$$

$$\Delta P/L_2 = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ psi / ft}$$

Calcul de R_{e2} :

$$D_p = 0,01 \text{ ft. (Voir Annex 04)}$$

$$\mu_2 = 0,03 \text{ Lb/ft.hr.}$$

$$G = M_g/S = 258,73 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$$

D'après l'équation (IV-14) :

$$R_e = \frac{G * D_p}{\mu}$$

$$\mathbf{R_{e2} = 86.24}$$

IV.6.2.3 Récapitulation des résultats :

Les résultats sont représentés sur le tableau IV.5 :

Tableau IV.5: Représentation des valeurs de design et des valeurs calculées

Les valeurs calculées	Les valeurs de design
$m_t = 4652,75 \text{ kg}$	$m_t = 4653 \text{ kg}$
$H_t = 2,1 \text{ m}$	$H_t = 2,1 \text{ m}$
$H_f = 2.72 * 10^6 \text{ Kcal /hr}$	$0,15 * 10^6 < H_f < 3,3 * 10^6 \text{ Kcal /hr}$
$t_r = 10,7 \text{ hr}$	$t_r = 11 \text{ hr}$
$t_{ref} = 4,53 \text{ hr}$	$t_{ref} = 5 \text{ hr}$
$M_g = 2000 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ $M_{ref} = 760 \text{ Nm}^3/\text{hr}$	$1000 < \text{Débit} < 2500 \text{ Nm}^3/\text{hr}$
$\Delta P_1 / L = 0,22 \text{ psi /ft}$ $\Delta P_2 / L = 0,017 \text{ psi /ft}$	$0,01 < \Delta P/L < 0,25 \text{ psi /ft}$
$Re_1 = 170,09$	$Re > 100$
$t_{ads} = 36,80 \text{ hr}$	$t_{ads} = 36 \text{ hr}$

Suite à la mise en œuvre de la méthode de calcul établie, il apparaît clairement que cette dernière est valable et justifiée, compte tenu des résultats obtenus.

En effet la perte de charge se trouve dans l'intervalle recommandé où on peut effectuer l'opération de régénération sans soulever le lit, ainsi que la quantité de chaleur fournie par le four.

Le régime d'écoulement est turbulent, donc il favorise un bon transfert de masse et une meilleure distribution du gaz à travers le sécheur.

Les marges du design citées étant respectées nous pouvons désormais passer à l'application de notre méthode de calcul dans le cas où la teneur en eau dans la charge est de l'ordre de 25 ppm qui est notre première solution à étudier.

IV.7 Etude de la solution :

En vue d'optimiser le temps d'adsorption, on procède au calcul du temps pour 25 ppm. [12]

IV.7.1 Calcul le débit d'eau :

$$q_w = \frac{4 * Y_{in} * Q * \rho_{GPL}}{\pi * D_L}$$

D_L : le diamètre du lit. ($D_L=2.1 \text{ m}=6.89 \text{ ft}$) . (Voir Annex 04)

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

ρ_{GPL} : Masse volumique de la charge (Lb/ ft³)

Q : Débit volumique de la charge (ft³ / hr).

$Y_{in} = 25 \text{ ppm}$

$$q_w = 0,19 \text{ (Lb/ft}^2\text{.hr)}$$

Un débit d'eau faible par rapport au débit d'eau calculé précédemment à cause de la chute de la teneur d'eau dans la charge.

IV.7.2 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse :

$$H_z = \frac{225 * q_w^{0,7895}}{U_{act}^{0,5506} * R_s^{0,2646}}$$

q_w : le débit d'eau en Lb/ft².hr.

U_{act} : la vitesse actuelle d'écoulement de fluide.

R_s : la teneur en eau dans la charge de GPL, $R_s = 25 \%$ [12]

$$H_z = 9,09 \text{ inch} = 0,75 \text{ ft} = 0,23 \text{ m}$$

Un débit d'eau faible par rapport au débit d'eau calculé précédemment à cause de la chute de la teneur d'eau dans la charge.

IV.7.3 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre :

$$H_s = H_t - H_z$$

H_s : la hauteur de la zone d'équilibre (ft).

H_z : la longueur de la zone de transfert de masse (ft).

H_t : la hauteur total du lit ($H_t = 1,8m = 5,9ft$) .(Voir Annexx 04)

$$H_s = 5,15 \text{ ft} = 1,57 \text{ m}$$

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

IV.7.4 Estimation de la quantité d'eau adsorbée M_{ads} :

$$M_{ads} = \frac{(H_s - (C * H_z)) * X_s * D_L^2 * \rho_{tamis}}{127.38}$$

$$M_{ads} = 1187,69 \text{ Lb}$$

X_s : la capacité d'adsorption à l'équilibre neuf à 25°C, $X_s = 22\%$ en poids .

ρ_{tamis} : Masse volumique du tamis.

C : Constante relative aux tamis moléculaire.

C'est une quantité d'eau qui devrais être adsorbé par le sécheur mais puisque la section de déshydratation est assez ancienne elle n'a pas la même capacité d'adsorption qui nous oblige d'utiliser un Coefficient de correction $C=0.45$.

IV.7.5 Calcul du temps d'adsorption :

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

$$t_{ads} = 164 \text{ hr}$$

Y_{in} : la teneur en eau dans la charge de GPL.

ρ_{GPL} : Masse volumique de la charge (Lb/ ft³).

Q : Débit volumique de la charge (ft³ / hr).

IV.7.6 Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessiccant (X):

$$X = X_s * \left(1 - \left(\frac{C * H_z}{H_s} \right) \right)$$

X_s : la capacité d'adsorption à l'équilibre neuf à 25°C.(voir annex 04)

$$X = 13,40 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de dessiccant}$$

IV.7.7 Détermination de l'efficacité d'adsorption :

$$EFF = \frac{X}{X_S}$$

$$EFF = 93,36$$

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

IV.8.1 Calcul du bilan thermique :

❖ Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q_{des} :

La quantité d'eau adsorbée $M_{ads} = 1188,43\text{Lb}$.

La chaleur de désorption $\Delta H = 1800 \text{ BTU/Lb}$.

D'après l'équation (IV-2): [12]

$$Q_{des} = M_{ads} * \Delta H$$

$$Q_{des} = 2,14 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ Calcul des pertes de chaleur Q_{perte} :

D'après l'équation (IV -5):

$$Q_{pertes} = 0,1 * (Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des})$$

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 7,14 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$Q_{des} = 2,14 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{perte} = 3,88 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

❖ Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Q_{totale} : [12]

D'après l'équation (IV -1):

$$Q_{total} = Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{des} + Q_{pertes}$$

$$Q_{totale} = 4,27 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ **Calcul de la chaleur fournie par le four H_f : [5]**

D'après l'équation (IV -7):

$$H_f = \frac{Q_{totale}}{\frac{1}{\varepsilon}}$$

$$1/\varepsilon = 0,38$$

$$Q_{totale} = 4,27 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$\mathbf{H_f = 1,12 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr}}$$

❖ **Calcul du temps de réchauffage du tamis « t_r »:**

D'après l'équation (IV -8):

$$t_r = \frac{H_f}{\Delta H_{(T_e - T_{ads})} * M_{GN}}$$

M_{GN} : La quantité GN sortant du four exprimé en (Nm^3/hr).

$\Delta H_{(T_e - T_{ads})}$: La différence de l'enthalpie du gaz de réchauffage (BTU / Nm^3) .(voir annex 02)

$$H_f = 1,12 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr}$$

$$\Delta H = 504,3 \text{ BTU/ Nm}^3.$$

$$M_{GN} = 2000 \text{ Nm}^3/\text{hr}.$$

$$\mathbf{t_r = 11,14 \text{ hr}}$$

❖ **Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle $H_{F/CYCLE}$: [2]**

$$t_r = 11,14 \text{ hr.}$$

$$H_f = 1,12 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr.}$$

$$t_{ads} = 164 \text{ hr.}$$

D'après l'équation (IV -9):

$$\mathbf{H_{F/CYCLE} = 7,63 \cdot 10^5 \text{ BTU / hr}}$$

❖ **Calcul du temps de refroidissement du tamis « t_{ref} »:**

D'après l'équation (IV -10): [12]

$$t_{ref} = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{Q_{totale}} * t_r$$

$$Q_{totale} = 4,27 \cdot 10^6 \text{BTU.}$$

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 7,14 \cdot 10^5 \text{BTU.}$$

$$t_r = 11,14 \text{hr.}$$

$$t_{ref} = 4,55 \text{ hr}$$

❖ **Calcul de la chaleur soutirée au système Q_{ref} :**

D'après l'équation (IV -11): [12]

$$Q_{ref} = \frac{Q_{tamis} + Q_{acier}}{t_{ref}}$$

$$Q_{acier} = 1,03 \cdot 10^6 \text{BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 7,14 \cdot 10^5 \text{BTU.}$$

$$T_{ref} = 4,55 \text{hr.}$$

$$Q_{ref} = 3,83 \cdot 10^5 \text{ BTU / hr}$$

IV.9.1 Calcul du bilan de matière de la régénération :

❖ **Calcul du débit du gaz de refroidissement :**

D'après l'équation (IV -12): [12]

$$M_{ref} = \frac{Q_{ref}}{\Delta H_{(T_s - T_e)}}$$

M_{ref} : Le débit du gaz de refroidissement (Lb/ hr).

Q_{ref} : la chaleur soutirée au système. (BTU/ hr).

T_e : la température d'entrée du gaz de refroidissement (°F).

ΔH_(T_s - T_e) : La différence de l'enthalpie du gaz de refroidissement (BTU / Nm³)

$$Q_{ref} = 3,83 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr.}$$

$$\Delta H_{(T_s - T_e)} = 504,3 \text{ BTU/Nm}^3.$$

$$T_s = 227 \text{ }^\circ\text{C} = 440,6 \text{ }^\circ\text{F} = 500 \text{ }^\circ\text{K}.$$

$$T_e = 12,7 \text{ }^\circ\text{C} = 54,86 \text{ }^\circ\text{F} = 285,7 \text{ }^\circ\text{K}.$$

$$M_{\text{ref}} = 760 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

IV.9.2 Calcul des pertes de charges :

❖ Calcul de la perte de charge $\Delta P/L_1$ pour le GN chaud : [12]

❖ Calcul de la vitesse superficielle U_1 à travers le lit :

$$S = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$S = 5,411 \text{ ft}^2.$$

$$\rho_{GN} = 1,77 \text{ Kg / m}^3 = 0,11 \text{ Lb / ft}^3.$$

$$M_g = 2000 \text{ Nm}^3 / \text{hr} = 3,68 \cdot 10^3 \text{ Lb / hr}.$$

$$U_1 = \frac{M_g}{60 * S * \rho_{GN}}$$

$$U_1 = 103,09 \text{ ft / min}$$

❖ Calcul de la viscosité du GN chaud μ_1 :

Connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération:

$$P = 4,5 \text{ kg/cm}^2 = 450 \text{ Kpas}.$$

$$d_r = M_{GN} / M_{\text{air}} = 0,64$$

$$T = 280 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\mu_1 = 0,02 \text{ Cp. (voir annex 03)}$$

D'après l'équation (IV -13):

$$\Delta P / L_1 = (A * U_1 * \mu_1) + (B * \rho_{GN} * U_1^2)$$

$\Delta P/L_1$: la perte de charge par unité de longueur (psi / ft).

μ_1 : la viscosité du GN (Cp).

U_1 : la vitesse superficielle (ft / min).

ρ_{GN} : la masse volumique du GN (Lb/ ft³).

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

$$A = 0,0561, B = 0,0000889.$$

$$\Delta P/L_1 = 0,22 \text{ psi/ft}$$

❖ **Calcul de Re_1 :**

$$D_P = 0,01 \text{ ft.}$$

$$\mu_1 = 0,02 C_P = 0,04 \text{ Lb /ft. hr. (voir annex 02)}$$

$$G = M_g / S = 680,37 \text{ Lb /ft}^2 \cdot \text{hr}$$

D'après l'équation (IV -14):

$$Re = \frac{G * D_P}{\mu}$$

$$Re_1 = 170,09$$

❖ **Calcul de la perte de charge $\Delta P/L_2$ pour le GN froid:**

❖ **Calcul de la vitesse superficielle U_2 à travers le lit:**

$$S = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$S = 5,411 \text{ ft}^2.$$

$$\rho_{GN} = 3,88 \text{ Kg / m}^3 = 0,24 \text{ Lb / ft}^3.$$

$$M_g = M_{ref} = 760 \text{ Nm}^3/\text{hr} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ Lb / hr.}$$

$$U_2 = \frac{M_g}{60 * S * \rho_{GN}}$$

$$U_2 = 17,96 \text{ ft /min}$$

❖ **Calcul de la viscosité du GN froid μ_2 :**

Connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération :

$$P = 4,5 \text{Kg/cm}^2 = 450 \text{Kpas.}$$

$$d_r = M_{GN} / M_{air} = 0,64$$

$$T = 12,7 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$\mu_2 = 0,01 C_P = 0,03 \text{ Lb / ft .hr. (voir annex 02)}$$

D'après l'équation (IV -13):

$$\Delta P / L_2 = (A * U_2 * \mu_2) + (B * \rho_{GN} * U_2^2)$$

$$\Delta P / L_2 = \mathbf{0,017 \text{ psi / ft}}$$

❖ **Calcul de Re_2 :**

$$D_P = 0,01 \text{ft. (voir annex 04)}$$

$$\mu_2 = 0,01 C_P = 0,03 \text{ Lb / ft. hr}$$

$$G = M_g / S = 258,73 \text{lb / ft}^2 \text{ .hr}$$

D'après l'équation (IV -14) :

$$Re = \frac{G * D_P}{\mu}$$

$$Re_2 = \mathbf{86,24}$$

IV.9.3 Interprétation des résultats :

D'après tous les résultats obtenus, on a réalisé le but de notre travail en modifiant le temps d'adsorption du déshydrateur de charge de **36 heures (le temps de design)**, au temps obtenu après les calculs qui correspond à **164 heures**.

Avec cette augmentation du temps d'adsorption il y'aura :

- ❖ Une diminution de nombre de cycles au temps, par conséquent une augmentation de l'efficacité du tamis.
- ❖ Des pertes de charges pour le réchauffage et le refroidissement vérifiant l'intervalle recommandé.
- ❖ Un régime d'écoulement turbulent qui favorise un bon transfert de masse, ainsi qu'une bonne distribution des gaz à travers le lit.

IV.11 Interprétation et choix de la solution :

D'après tous les Résultats obtenus, On ne peut optimiser le fonctionnement de la Section de déshydratation de la charge, que par la réalisation de la solution optimale du problème posé qui est :

L'augmentation du temps d'adsorption du sécheur.

Cette augmentation présente plus d'avantage pour le système, car elle réduira le nombre de cycles par mois, avec une diminution de nombre de régénération entraînant :

- ❖ Une diminution de gaz naturel consommé lors de la régénération de la séquence de refroidissement.
- ❖ Une diminution de la Chaleur fournie par le four pour la séquence de chauffage, Calculée à la base d'une saturation totale du lit, parce que si l'on chauffe un lit qui n'est que partiellement rempli d'eau, l'énergie utilisée pour chauffer un tamis ne contenant pas d'eau est simplement perdue.
- ❖ Une augmentation de la durée de vie du tamis moléculaire.

- ❖ Une perte moins importante lors de la régénération du produit GPL piégé dans le tamis moléculaire.
- ❖ Augmentation de l'efficacité du tamis à cause de la diminution de la destruction des cristaux.

IV.12.1 Les Résultats finales :

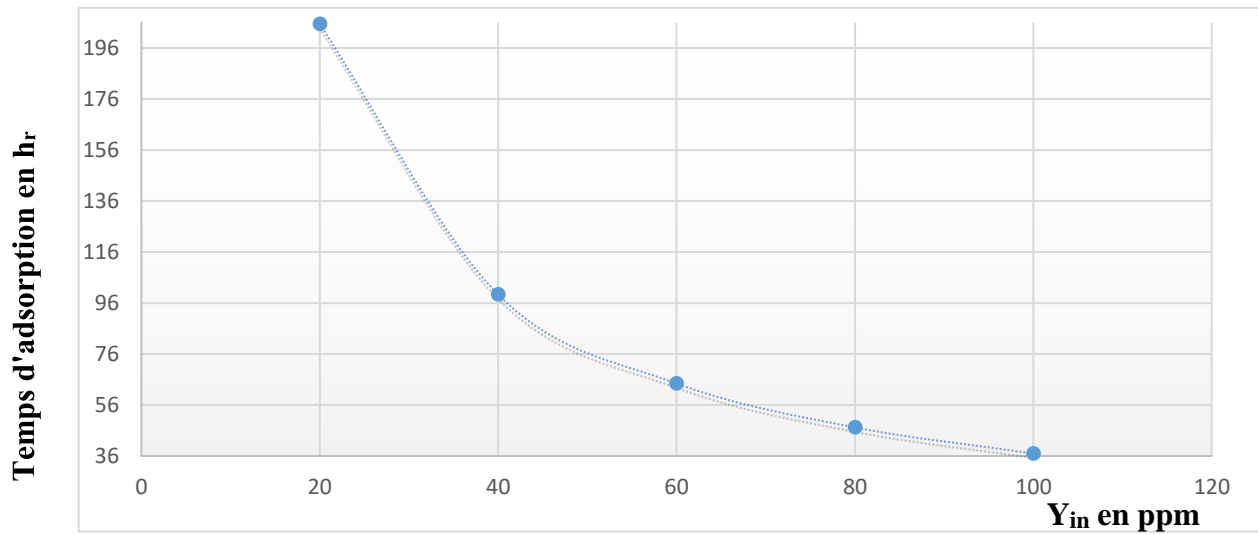
En fixe le temps de régénération puis en varie le temps d'adsorption.

Les résultats obtenus sont représentés sur le tableau IV.6 :

Tableau IV.6 : La variation du temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau pour un temps de régénération fixée

Teneur en eau en (ppm)	100	80	60	40	25
Temps d'adsorption(hr)	36	47,23	64,77	100,05	164
Temps de réchauffage(hr)	11	11	11	11	11
Nombre d'heures par ans (hr)	8760	8760	8760	8760	8760
Débit de réchauffage(Nm ³ /hr)	2000	2000	2000	2000	2000
Nombre de régénération par un an	243	185	135	87	53
Quantité de GN pour le réchauffage pendant une régénération (Nm ³)	22000	22000	22000	22000	22000
Quantité de GN pour le réchauffage pendant un an (Nm ³)	5346000	4070000	2970000	1914000	1166000
Gain en GN par ans et par train en (Nm ³)		1276000	2376000	3432000	4180000

La représentation graphique de la prolongation du temps d'adsorption est illustrée par la figure suivante. Une simple interpolation, nous permet de déterminer le temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau dans la charge.



FigureIV.2: Le temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau.

Nous remarquons que le temps d'adsorption augmente avec la diminution de la teneur en eau dans la charge GPL.

La figure ci-dessous montre l'augmentation du nombre de régénération par an en fonction de la teneur en eau dans la charge et ce pour une séquence d'adsorption adaptée à cette teneur.

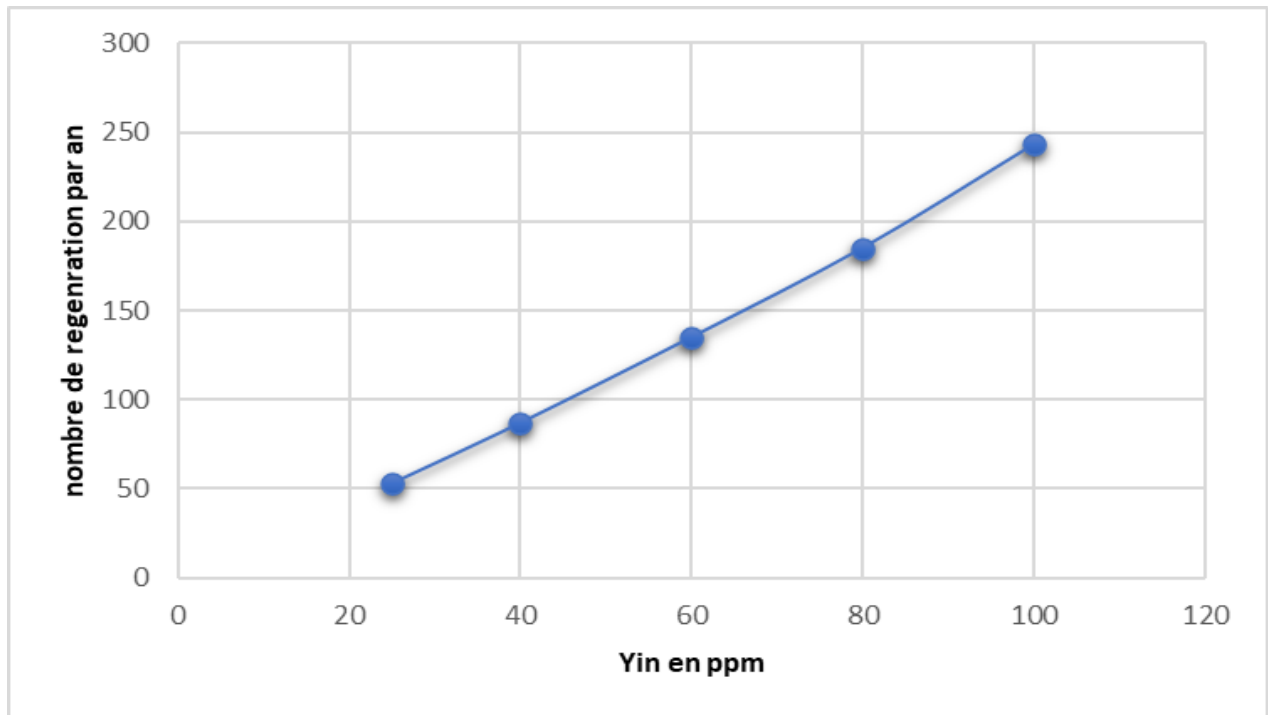


Figure IV.2: le nombre de régénération par an en fonction de la teneur en eau.

Nous remarquons que le nombre de régénération diminue proportionnellement à la teneur en eau dans la charge GPL.

CONCLUSION GENERALE

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

Les préoccupations au niveau du complexe GP1/Z étant de ramener la teneur en eau dans l'alimentation d'une valeur maximale de 100 ppm à 1 ppm dans la section de déshydratation.

Il nous a paru indispensable lors de notre stage d'étudier ce problème en vue de perfectionnement de la section déshydratation de charge.

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

En plus du gain obtenu en GN, un gain supplémentaire sera réalisé dans :

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

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

- ❖ La durée de vie du matériel sera plus longue du fait qu'avec un nombre de cycles moins important, le matériel sera exposé à moins de contraintes de pression (moins de séquence de pressurisation et dépressurisation) et de contraintes de température (réchauffage et refroidissement).
- ❖ La durée de vie de la robinetterie comme les séquences sont gérées par les ouvertures et fermetures des vannes.

Références Bibliographiques

[1]. Polycope I.A.P “ propane liquide déshydratation usine moléculaire Seive”

[2]. Manuel opératoire ; process : volume 1 et 2.

Document GP1-Z

[3]. Catalogue mécanique ; manuel : volume 1.

Document GP1-Z

[4]. Manuel opératoire ; section déshydratation.

Document GP1-Z

[5]. Formation perfectionnement d'ingénieur.

[6]. Déshydratation Bloc 11, module 3.

[7]. Catalogue Mécanique ; process 3 : volume 1.

IHI GP-1Z.

[8]. DATA BOOK; Engineering.

[9]. DATA BOOK Déshydratation and treating.

Section 15,9^{ème} édition , Rev (1974 - 1976).

[10]. P.Wuithier Raffinage et génie Chimique,

Edition tech.paris 1972 TOME 1.

[11]. Sherwood; Properties of Gaz and Liquids.

[12]. RUTHVEN D. M; Principles of Adsorption and Adsorption Process

John Wiley et sons, New York.

[13]. Grace ; les tamis moléculaire Caractéristiques et Applications Western Germany ; Juin 1980.

[14]. Revue de I.F.P.

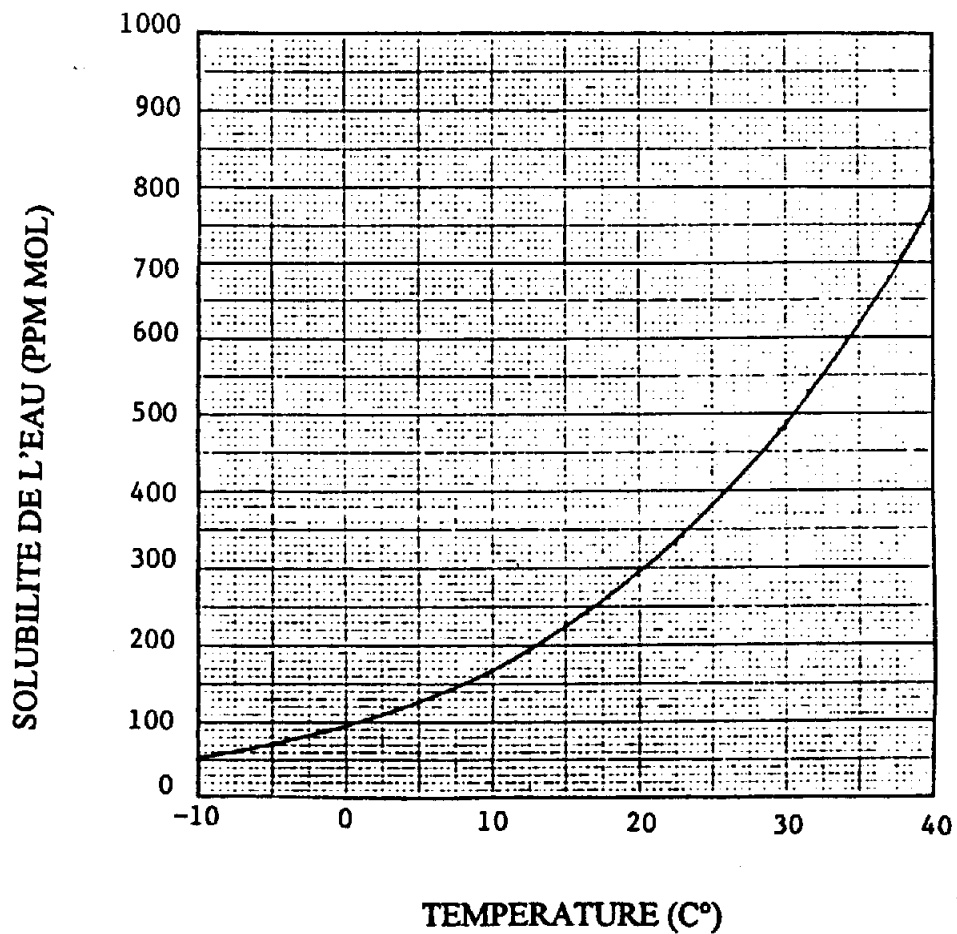
Gras pretreatment: w.w Weternan Institut of gas technology Chicago

[15]. Kohl & Richard - Gas Purification 5E [1]

ANNEXES

SOLUBILITE DE L'EAU DANS LA CHARGE DE GPL

- Note 1. Calcul selon la procédure API
- 2. Source de charge = 13 (moyenne)



ANNEX : 02

Coefficient de l'équation d'enthalpie H°

Tableau 2.1 - Coefficients des équations du pouvoir calorifique, de l'enthalpie et de l'entropie des mélanges de gaz parfaits.

No. CPT	Composant	A	B	C x 10 ³	D x 10 ⁶	E x 10 ⁶	F x 10 ⁹	G	Intervalle °C
<i>Non-Hydrocarbonées</i>									
1	Oxygène	-2,283574	0,952440	-0,281140	0,655223	-0,452316	1,087744	2,080310	-175 to 1200
2	Hydrogène	28,671997	13,396156	2,960131	-3,980744	2,661667	-6,099863	-11,801371	-175 to 1200
3	Eau	-5,729915	1,915007	-0,395741	0,876232	-0,495086	1,038613	0,702815	-175 to 1200
4	Sulfure d'hydrogène	-1,437049	0,998865	-0,184315	0,557087	-0,317734	0,636644	1,394812	-175 to 1200
5	Azote	-2,172507	1,068490	-0,134096	0,215569	-0,078632	0,069850	1,805409	-175 to 1200
6	Ammoniac	-2,202606	2,010317	-0,650061	2,373264	-1,597595	3,761739	0,990447	-175 to 1200
7	Carbone	9,572700	-0,199901	1,535456	0,267516	-0,811532	2,726889	1,687611	-175 to 1200
8	Monoxyde de carbone	-2,269176	1,074015	-0,172664	0,302237	-0,137533	0,200365	2,018445	-175 to 1200
9	Dioxyde de carbone	11,113744	0,479107	0,762159	-0,359392	0,084744	-0,057752	2,719180	-175 to 1200
10	Dioxyde de soufre	3,243188	0,461650	0,248915	0,120900	-0,188780	0,568232	2,086924	-175 to 1200
<i>Paraffines</i>									
11	Méthane	-16,228549	2,393594	-2,218007	5,740220	-3,727905	8,549685	-0,339779	-175 to 1200
12	Ethane	-0,049334	1,108992	-0,188512	3,965580	-3,140209	8,008187	1,995889	-175 to 1200
13	Propane	-1,717565	0,722648	0,708716	2,923895	-2,615071	7,000545	2,289659	-175 to 1200
14	n-Butane	17,283134	0,412696	2,028601	0,702953	-1,025871	2,883394	2,714861	-75 to 1200
15	2-Méthylpropane	26,744208	0,195448	2,523143	0,195651	-0,772615	2,386087	3,466595	-75 to 1200
16	n-Pentane	63,201677	-0,011701	3,316498	-1,170510	0,199648	-0,086652	4,075275	-20 to 1200
17	2-Méthylbutane	64,252075	-0,131900	3,541156	-1,333225	0,251463	-0,129589	4,572976	-20 to 1200
18	2,2-Diméthylpropane	27,380416	0,018305	3,063221	-0,375030	-0,530964	2,059134	3,388342	-75 to 1200
19	n-Hexane	-17,191071	0,959226	-0,614725	6,142101	-6,160952	20,868190	-0,207040	-75 to 700
20	2-Méthylpentane	33,798408	0,173685	2,348998	0,844100	-1,559115	5,534684	2,968423	-75 to 700
21	3-Méthylpentane	17,964768	0,397799	1,209870	3,254556	-3,942661	14,384148	2,149541	-75 to 700
22	2,2-Diméthylbutane	92,706801	-0,500323	4,525783	-2,415290	0,713199	-0,591097	5,617113	-20 to 700
23	n-Heptane	-0,153725	0,754499	0,261728	4,366358	-4,484510	14,842099	0,380048	-75 to 700
24	2-Méthylhexane	17,893709	0,404849	1,334653	2,877698	-3,511818	12,540055	1,823456	-75 to 700
25	3-Méthylhexane	36,807299	0,167431	2,262250	1,067097	-1,781538	6,169491	2,864993	-75 to 700
26	2,4-Diméthylpentane	11,508769	0,093303	2,598254	0,630349	1,428307	4,569218	2,847131	-20 to 700
27	n-Octane	2,604725	0,724670	0,367845	4,142833	-4,240199	13,734055	0,327588	-75 to 700
28	2,2-Diméthylhexane	21,451302	0,226073	2,074483	1,466277	-2,169048	7,742088	2,139163	-20 to 700
29	2-Méthylheptane	27,405630	0,305110	1,826883	1,744174	-2,311344	7,752627	2,038844	-75 to 700
30	2,2,4-Triméthylpentane	26,118096	0,039675	2,742294	0,328610	-1,206014	4,586420	2,846608	-75 to 700
31	n-Nonane	4,000278	0,707805	0,438048	3,969342	-4,043158	12,876028	0,257265	-75 to 700
32	n-Décane	-6,962020	0,851375	-0,263041	5,521816	-5,631733	18,885443	-0,412446	-75 to 700
33	n-Unidécane	65,290564	-0,099827	3,472495	-1,354336	0,264721	-0,145574	3,407959	-20 to 1200
34	m-Dodécane	60,967391	-0,077548	3,420649	-1,308559	0,247576	-0,130380	3,227042	-20 to 1200
35	n-Tridécane	62,748642	-0,096018	3,463033	-1,353243	0,264564	-0,145439	3,245905	-20 to 1200
36	n-Tétradécane	61,655096	-0,092312	3,452192	-1,345181	0,261574	-0,143007	3,172971	-20 to 1200
37	n-Pentadécane	62,217244	-0,100961	3,472075	-1,366935	0,269684	-0,150082	3,163060	-20 to 1200
38	n-Hexadécane	60,927011	-0,095563	3,459313	-1,356807	0,265935	-0,146753	3,095128	-20 to 1200
39	n-Heptadécane	60,853132	-0,098655	3,465969	-1,365537	0,269340	-0,149768	3,071276	-20 to 1200
40	n-Octadécane	60,419501	-0,098876	3,466295	-1,367430	0,270024	-0,150334	3,038272	-20 to 1200
41	n-Nonadécane	59,195816	-0,092752	3,451465	-1,354690	0,265281	-0,146249	2,979932	-20 to 1200
42	n-Eicosane	59,163624	-0,095147	3,456592	-1,360776	0,267410	-0,147933	2,963523	-20 to 1200

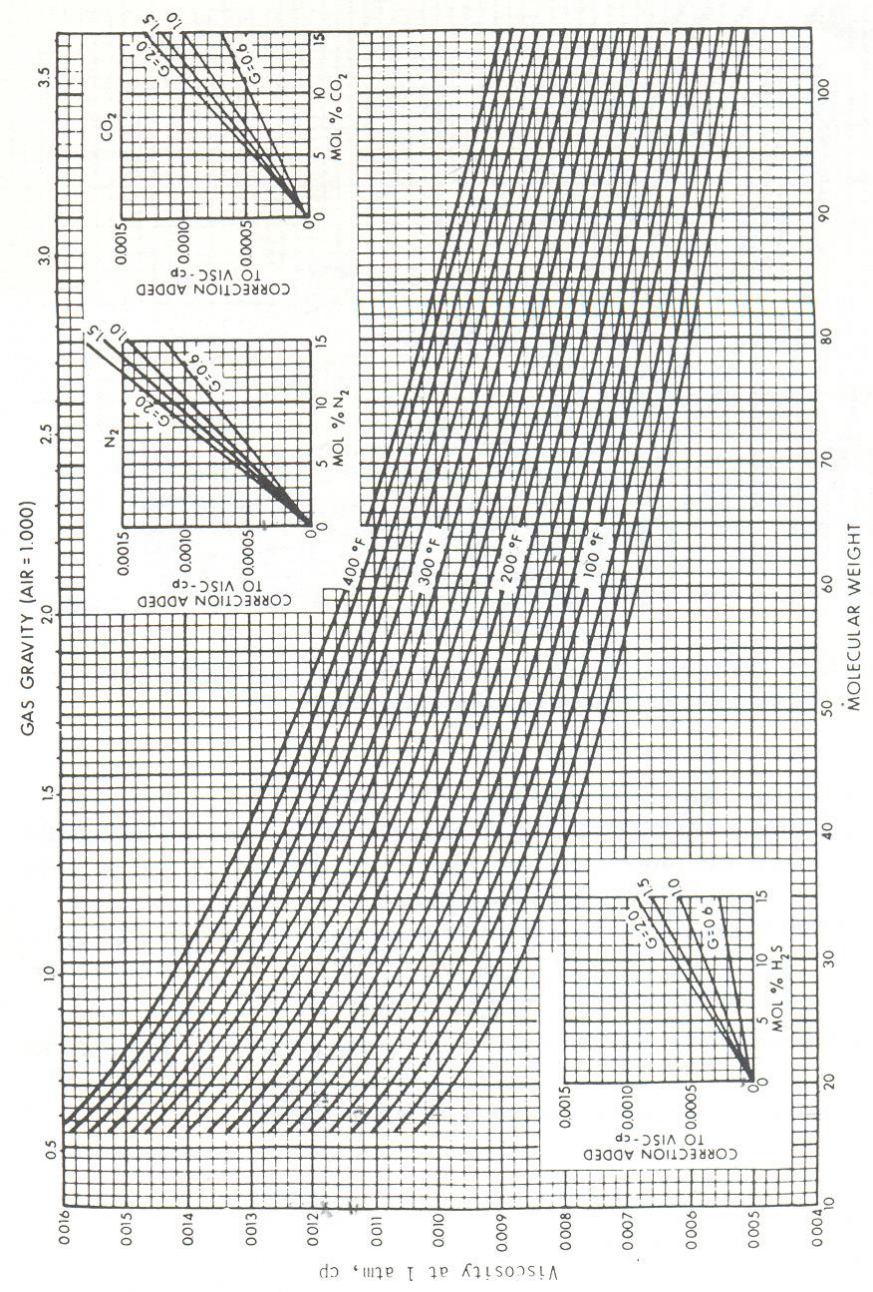
H = 0 kJ/kg pour le gaz parfait à 0 K.

S = 1 kJ/kg K pour le gaz parfait à 0 K et 1 kPa

Les unités sont le kJ/kg pour l'enthalpie, le kJ/kg K pour le pouvoir calorifique et l'entropie.

ANNEX 03 :

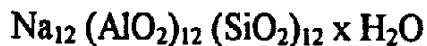
La viscosité μ_g du gaz à la pression et température d'intérêt.



ANNEX 04 :

PROPRIETES PHYSIQUE DE L'ADSORBANT (TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES)

CHEMICAL FORMULA



Conditions d'expédition

Le tamis moléculaire de type 4A-DG TRISIV 1/8 est disponible sous forme de granulés de 3,2 mm. Il est expédié sous containers acier, d'un poids net de 135 kg le container.

Propriétés typiques	Granulés 1/8"
Diamètre nominal des pores	4 angströms
Densité "non tassé" (moyenne)	640 kg/cm ³
Densité "tasse"	624 à 657 kg/m ³
Diamètre particule	3,2 mm
Résistance à l'écrasement	6,8 à 7,7 kg
Chaleur d'adsorption (max.)	1.000 kcal/kg H ₂ O
Capacité en eau à l'équilibre*	22% en poids
Teneur en eau (à l'emballage)	1,5% en poids

* En Lbs d'eau/100 lbs d'adsorbant activité à 17,5 mm Hg, 25°C.

ANNEX 05 :

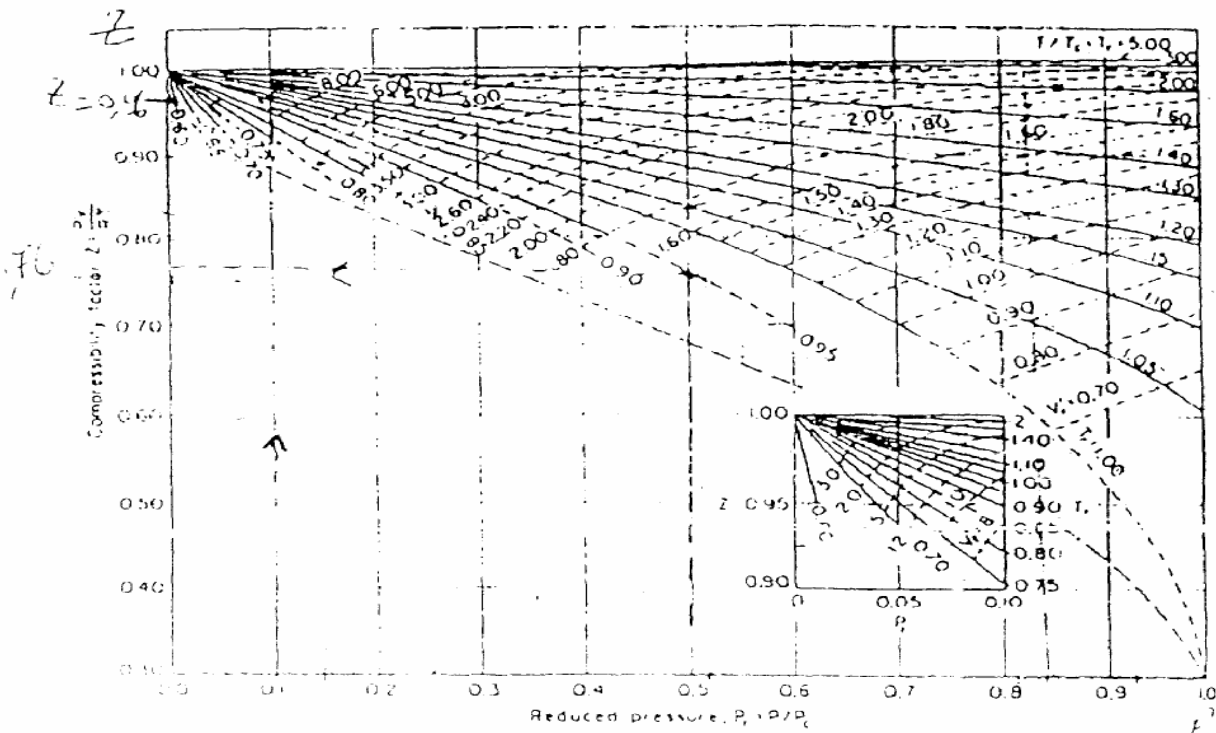


Figure 12a - Generalized compressibility charts

$$\frac{V}{V_c} = \frac{ZT}{Z_c T_c}$$

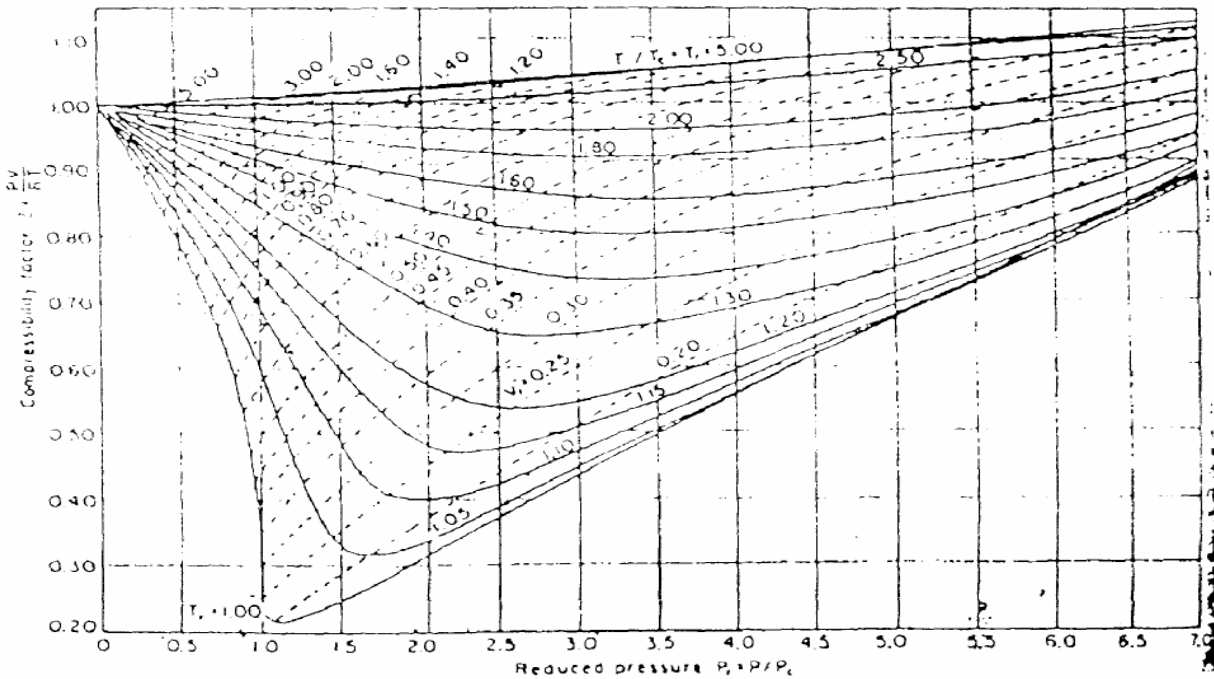


Figure VI- Détermination du coefficient de compressibilité Z.

ANNEX 06 :

Constantes critiques de pression et de température

NOTE: Numbers in this table do not have accuracies greater than 1 part in 1000; in some cases extra digits have been added to calculated values to achieve internal consistency or to permit recalculation of experimental values.

PHYSICAL CONSTANTS

*See the Table of Notes and References.

Number	See Note No. → Compound	Formula	A.		B.	C.	D.	Critical constants			Number
			Molar mass (molecular weight)	Bolting point, °F 14,696 psia				Vapor pressure, psia 100 °F	Freezing point, °F 14,696 psia	Refractive index, n_D 60 °F	
1	Methane	CH ₄	16.043	-258.72	(5000)*	-296.41*	1.00041*	667.0	-116.66	0.0988	1
2	Ethane	C ₂ H ₆	30.070	-127.46	(800)*	-297.02*	1.20971*	707.8	90.07	0.0783	2
3	Propane	C ₃ H ₈	44.097	-43.73	188.68	-305.72*	1.29480*	615.0	205.92	0.0727	3
4	Isobutane	C ₄ H ₁₀	58.123	10.78	72.598	-255.26	1.3245*	527.9	274.41	0.0714	4
5	n-Butane	C ₄ H ₁₀	58.123	31.08	51.719	-217.03	1.33588*	548.8	305.51	0.0703	5
6	Isopentane	C ₅ H ₁₂	72.150	82.09	20.450	-255.80	1.34771	490.4	368.96	0.0684	6
7	n-Pentane	C ₅ H ₁₂	72.150	96.89	15.580	-201.48	1.35165	488.1	385.7	0.0695	7
8	Neopentane	C ₅ H ₁₂	72.150	49.10	36.72	2.16	1.342*	464.0	321.01	0.0673	8
9	n-Hexane	C ₆ H ₁₄	86.177	155.70	4.9614	-139.56	1.37708	439.5	451.8	0.0688	9
10	2-Methylpentane	C ₆ H ₁₄	86.177	140.44	6.769	-244.60	1.36571	436.6	435.76	0.0682	10
11	3-Methylpentane	C ₆ H ₁₄	86.177	145.86	6.103	-261.20	1.37090	452.5	448.2	0.0682	11
12	Neohexane	C ₆ H ₁₄	86.177	121.50	9.859	-147.68	1.36283	446.7	419.92	0.0667	12
13	2,3-Dimethylbutane	C ₆ H ₁₄	86.177	136.33	7.406	-199.35	1.36938	454.0	440.08	0.0665	13
14	n-Heptane	C ₇ H ₁₆	100.204	209.07	1.6211	-130.99	1.38234	397.4	510.9	0.0682	14
15	2-Methylhexane	C ₇ H ₁₆	100.204	194.05	2.273	-180.87	1.37940	396.0	494.44	0.0673	15
16	3-Methylhexane	C ₇ H ₁₆	100.204	197.33	2.130	—	1.38326	407.6	503.62	0.0646	16
17	3-Ethylpentane	C ₇ H ₁₆	100.204	200.26	2.012	-181.44	1.38800	419.2	513.16	0.0665	17
18	2,2-Dimethylpentane	C ₇ H ₁₆	100.204	174.50	3.494	-190.80	1.37667	401.8	476.98	0.0665	18
19	2,4-Dimethylpentane	C ₇ H ₁₆	100.204	176.85	3.294	-182.59	1.37591	397.4	475.72	0.0667	19
20	3,3-Dimethylpentane	C ₇ H ₁₆	100.204	186.87	2.775	-209.99	1.38564	427.9	505.60	0.0662	20
21	Triptane	C ₇ H ₁₆	100.204	177.54	3.376	-12.21	1.38411	427.9	496.24	0.0636	21
22	n-Octane	C ₈ H ₁₈	114.231	258.17	0.5374	-70.17	1.39248	361.1	563.5	0.0673	22
23	Diisobutyl	C ₈ H ₁₈	114.231	228.34	1.102	-132.09	1.38735	361.1	530.26	0.0676	23
24	Isooctane	C ₈ H ₁₈	114.231	210.58	1.709	-161.23	1.38624	372.7	519.28	0.0657	24
25	n-Nonane	C ₉ H ₂₀	128.258	303.40	0.1716	-64.26	1.40054	330.7	610.8	0.0693	25
26	n-Decane	C ₁₀ H ₂₂	142.285	345.40	0.06091	-21.33	1.40720	304.6	652.2	0.0702	26
27	Cyclopentane	C ₅ H ₁₀	70.134	120.60	9.917	-136.89	1.40050	653.8	461.1	0.0594	27
28	Methylcyclopentane	C ₆ H ₁₂	84.161	161.29	4.491	-224.38	1.40400	548.8	499.28	0.0607	28
29	Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	84.161	177.40	3.267	43.79	1.42053	590.7	536.6	0.0586	29
30	Methylcyclohexane	C ₇ H ₁₄	98.188	213.69	1.609	-195.87	1.41778	503.4	570.20	0.0600	30
31	Ethene(Ethylene)	C ₂ H ₄	28.054	-154.71	(1400)*	-272.48*	(1.228)*	731.0	48.54	0.0746	31
32	Propene(Propylene)	C ₃ H ₆	42.081	-53.83	232.8	-301.45*	1.3006*	676.6	198.31	0.0717	32
33	1-Butene(Butylene)	C ₄ H ₈	56.108	20.79	62.55	-301.63*	1.3386*	586.4	296.18	0.0683	33
34	cis-2-Butene	C ₄ H ₈	56.108	38.69	45.97	-218.01	1.3556*	615.4	324.31	0.0667	34
35	trans-2-Butene	C ₄ H ₈	56.108	33.58	49.88	-157.97	1.3487*	574.9	311.80	0.0679	35
36	Isobutene	C ₄ H ₈	56.108	19.57	64.95	-220.60	1.3473*	580.2	292.49	0.0681	36
37	1-Pentene	C ₅ H ₁₀	70.134	85.92	19.12	-265.37	1.36487	509.5	376.86	0.0674	37
38	1,2-Butadiene	C ₄ H ₆	54.092	51.52	36.53	-213.14	—	(656.)*	(354.)*	(0.070)*	38
39	1,3-Butadiene	C ₄ H ₆	54.092	24.06	59.46	-164.00	1.3975*	620.3	306.	0.0653	39
40	Isoprene	C ₅ H ₈	68.119	93.29	16.68	-230.71	1.41472	(582.)*	(403.)*	(0.066)*	40
41	Acetylene	C ₂ H ₂	26.038	-119.21*	—	-113.4*	—	890.4	95.29	0.0693	41
42	Benzene	C ₆ H ₆	78.114	176.13	3.225	41.96	1.49436	710.4	552.15	0.0531	42
43	Toluene	C ₇ H ₈	92.141	231.08	1.033	-138.96	1.49102	595.5	605.50	0.0549	43
44	Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	106.167	277.10	0.3716	-138.933	1.49022	523.0	651.22	0.0564	44
45	o-Xylene	C ₈ H ₁₀	106.167	291.91	0.2643	-13.32	1.50017	541.6	674.85	0.0557	45
46	m-Xylene	C ₈ H ₁₀	106.167	282.35	0.3265	-54.16	1.49177	512.9	650.95	0.0567	46
47	p-Xylene	C ₈ H ₁₀	106.167	280.98	0.3424	55.87	1.49039	509.2	649.47	0.0572	47
48	Styrene	C ₈ H ₈	104.152	293.40	0.2582	-23.14	1.54937	587.8	(703.)*	0.0534	48
49	Isopropylbenzene	C ₉ H ₁₂	120.194	306.27	(0.188)	-140.838	1.48607	465.4	676.2	0.0569	49
50	Methyl alcohol	CH ₃ O	32.042	148.41	4.631	-143.77	1.32443	1174.	463.01	0.0590	50
51	Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ O	46.069	172.87	2.313	-173.4	1.35717	891.7	465.31	0.0581	51
52	Carbon monoxide	CO	28.010	-312.61	—	-336.99*	1.00028*	506.8	-220.51	0.0527	52
53	Carbon dioxide	CO ₂	44.010	-109.235*	—	-69.81*	1.00038*	1069.5	87.73	0.0342	53
54	Hydrogen sulfide	H ₂ S	34.082	-76.49	394.67	-121.86*	1.00057*	1300.	212.40	0.0461	54
55	Sulfur dioxide	SO ₂	64.065	14.11	85.46	-103.84*	1.00059*	1143.	315.7	0.0305	55
56	Ammonia	NH ₃	17.0305	-27.98	211.9	-107.85*	1.00033*	1647.	270.2	0.0681	56
57	Air	N ₂ +O ₂	28.9625	-317.81	—	—	1.00028*	546.9	-221.30	0.0517	57
58	Hydrogen	H ₂	2.0159	-423.130*	—	-434.824*	1.00013*	187.5*	-400.3*	0.5101*	58
59	Oxygen	O ₂	31.9988	-297.317*	—	-361.826*	1.00027*	731.4	-181.41	0.0367	59
60	Nitrogen	N ₂	28.0134	-320.436	—	-345.995*	1.00028*	492.8	-232.49	0.0510	60
61	Chlorine	Cl ₂	70.9054	-29.12	157.3	-149.70*	1.3735*	1157.	290.69	0.0280	61
62	Water	H ₂ O	18.0153	211.953*	0.95014	32.018	1.33335	3200.1	705.11	0.04975	62
63	Helium	He	4.0026	-452.110	—	—	1.00003*	32.99	-450.31	0.2300	63
64	Hydrogen chloride	HCl	36.4606	-121.25	906.71	-173.50*	1.00039*	1205.	124.75	0.0356	64