



Department of Process Engineering

Ref :...../U.M/F.S.T/2024

قسم هندسة الطرائق

رقم : / ج.م.ك.ع.ت//2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DEMASTER ACADEMIQUE

Filière : INDUSTRIES PÉTROCHIMIQUES

Option:GÉNIE PÉTROCHIMIQUE

THÈME

Optimisation du fonctionnement de la section
déshydratation du complexe GP1Z

Présenté par

- 1- Benabed yasser
- 2- Feddag abderrahmane

Soutenu le 30/06/ 2024 devant le jury composé de :

Président :	Dr. MEKHATRIA Djilali	MCB	Université de Mostaganem
Examineur :	Mm. FARES Zineb	MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Dr. MOHAMED SEGHIR Zahira	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2023/2024

Dédicace

Beaucoup de plaisir et d'émotion que j'ose maintenant écrire ces modestes mots.

*Des mots que, je l'espère, exprimeront ma profonde gratitude
envers les personnes qui me sont proches, celles à qui je dédie cet
humble travail.*

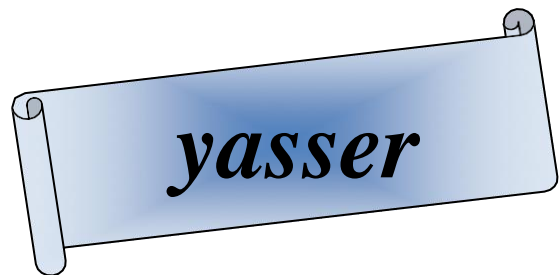
*Je dédie ce travail tout d'abord, à la plus merveilleuse personne sur terre,
à ma chère Maman, celle qui m'a soutenue, m'a encouragé, et m'a
appris à croire en moi et mes espoirs.*

*A mon père, mon chère ami, l'homme qui inspire mon existence et qui m'a appris à
être moi même*

A ma famille

*A mon binôme **Abderrahmane**, qui m'a beaucoup soutenue et encouragé pendant tout
mon parcours de Master et que je le remercie beaucoup.*

*A mes amis proches, avec qui j'ai partagé beaucoup de moment de joie, de Tristesse,
mais aussi des moments d'espoir, de bonheur et surtout d'aventure!*



Remerciements

Mes remerciements vont tout premièrement à ALLAH tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné durant toutes ces années.

*Mes remerciements à tous les membres du jury : Mr. MEKHATRIA Djilai et
M^{me} FARES Zineb pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.*

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements à ma promotrice M^{me} MOHAMED SEGHIR Zahira qui a été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail. Ses conseils, ses orientations ainsi que son soutien moral et scientifique m'ont permis de mener à bien ce projet.

J'adresse aussi mes remerciements à tous les enseignants de la faculté spécialement le personnel du département de génie des procédés pour avoir enrichi nos connaissances scientifiques et techniques.

Je tiens également à exprimer mes chaleureux remerciements à mes parents, mes sœurs, qui m'ont tous encouragé à mener à bien ce travail.

ملخص

من أجل إعداد أطروحة الوضع المهني لدينا، تم تخصيص موضوع لنا، وهو دراسة تأثير تقليل المحتوى المائي لغاز البترول المسال على معاملات التشغيل لقسم

تجفيف الحمل

بيانات المشكلة لتحسين وحدة التجفيف بقوة، أجرينا حسابًا لمقادير الحرارة المختلفة لقسم الجفاف بأكمله، بعد دراسة توازن كتلة عمود الامتصاص، بدأنا من تقديم

بالإضافة إلى المنهجية المستخدمة في إجراء حساباتنا

كما تم إجراء أعمال التحقق للتأكد من صحة طريقة الحساب

في نهاية دراستنا، اقترح لبرنامج حساب لتحديد معاملات التشغيل المثلى لمجفف الحمل للتعامل مع المشكلة

الكلمات المفتاحية: مجفف، عمود امتصاص، ماء، غاز البترول المسال

Résumer :

Afin de préparer notre mémoire de mise en situation professionnelle, un thème nous a été attribué, qui 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 énergétiquement l'unité de déshydratation, nous avons effectué un calcul des différentes quantités de chaleur De toute 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'un programme de calcul pour la détermination des paramètres optimums de Fonctionnement de déshydrateur de charge pour faire face au problème.

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

Abstract :

In order to prepare our professional situation thesis, a theme was assigned to us, which is the study of the impact of the

Reduction in the water content of LPG on the operating parameters of the load dehydration section.

To energetically optimize the dehydration unit, we performed a calculation of the different amounts of heat of the entire

Dehydration section, after a study of the mass balance of the adsorption column, starting by presenting the data of the

Problem as well as the methodology used to carry out our calculations.

Verification work was also carried out to ensure the validity of the calculation method.

At the end of our study, a proposal of a calculation program for the determination of the optimum parameters of operation of

Load dehydrator to face the problem.

Keywords : dehydrator, adsorption column, water, GPL.

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Situation géographique du complexe GP1/Z.....	04
Figure I-2 : Séparation du GPL (stockage à TA).....	08
Figure I-3 : Principe de réfrigération du GPL.....	08
Figure I-4 : Circulation de huile chaude.....	09
Figure I-5 : Schéma principal du procédé (GPL).....	12
Figure II-1- : Profil de Température de régénération [15].....	15
Figure II-2- : Schéma de la section déshydratation.....	17
Figure II-3- : L'emplacement de la zone ZMT.....	20
Figure II-4- : La courbe de percée.....	20
Figure II-5 : Tamis moléculaire sous ses différentes formes.....	23
Figure II-6- : Tamis moléculaire 3A et 4A.....	24
Figure III-3- : Evolution de la concentration de l'adsorbat (fluide) au cours de l'adsorption.....	28
Figure III-1 : la variation de la teneur en eau dans la charge durant le mois d'avril 2024.....	32
Figure III-2- : le temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau.....	60
Figure III-3- : le nombre de régénération par an en fonction de la teneur en eau.....	61
Figure III-4- : Le temps de réchauffage en fonction de la teneur en eau.....	62
Figure III-5: Quantité de GN utilisée pendant une régénération en fonction de la teneur en eau pour la deuxième solution.....	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1- : Section de stockage à basse température.....	10
Tableau I-2- : Section de stockage à basse température.....	10
Tableau II-1- : Les étapes de cycle de régénération.....	14
Tableau III-1- : Diamètres critiques de certaines molécules.....	26
Tableau III-2- : Vitesse et diamètre du lit.....	29
Tableau III-1 : La fiche technique du tamis moléculaire.....	34
Tableau III-2 : Composition de la charge du GPL.....	38
Tableau III-3 : La composition du gaz de régénération (cas réel).....	42
Tableau III-4 : Représentation des données de réchauffage du tamis.....	45
Tableau III-5 : Représentation des valeurs de design et des valeurs calculées.....	49
Tableau III-6 : La variation du temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau pour un temps de régénération fixé.....	60
Tableau III-7- : La variation du temps de régénération en fonction de la teneur en eau	62
Tableau IV-1- : Récapitulation des résu.....	67

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

PARTIE THEORIQUE

Chapitre I : Présentation du complexe GP1Z

I-1- Présentation du complexe.....	4
I-2- Principales installations.....	5
I-3- Les zones du complexe.....	5
I-3-1- Zones de démercurisation.....	5
I-3-2- Zone de stockage d'alimentation.....	5
I-3-3- Zones utilité.....	6
I-3-4- Zones process.....	6
I-4- Notions générales sur les GPL.....	11
I-4-1- L'origine des GPL.....	11
I-4-2- Les caractéristiques des GPL.....	11
I-4-3- L'utilisation des GPL.....	11
I-4-4- Risques des GPL.....	12

Chapitre II : SECTION DE DESHYDRATATION ET TAMIS MOLECULAIRE

II-1- Généralités.....	14
II-2- Le cycle de régénération.....	14
II-2-1- Drainage.....	14

II-2-2- Dépressurisation.....	14
II-2-3- Chauffage.....	15
II-2-4- Refroidissement.....	16
II-2-5- Remise sous pression.....	16
II-2-6- Remplissage en liquide.....	16
II-3- Les modes de déshydratation.....	18
II-3-1- Inhibition par injection d'inhibiteur de formation d'hydrates.....	18
II-3-1-1- Injection de glycol.....	18
II-3-1-2- Injection de méthanol.....	18
II-3-2- Déshydratation par adsorption dans un liquide.....	18
II-3-3- Déshydratation par adsorption sur un desséchant solide.....	19
II-3-3-1- Généralités.....	19
II-3-3-2- Description du phénomène d'adsorption.....	19
II-3-3-2-1- La zone de transfert de masse (ZMT).....	19
II-3-3-2-2- Principaux adsorbant.....	21
II-3-3-2-2-1- Silicagel.....	21
II-3-3-2-2-2- L'alumine activée.....	22
II-3-3-2-2-3- L'alumingel.....	22
II-3-3-2-2-4- Charbon actif.....	22
II-3-3-2-2-5- Tamis moléculaire.....	22
II-4- Les tamis moléculaire.....	23
II-4-1- Généralités.....	23
II-5- Type et dimension du tamis.....	25
II-6- Adsorption dynamique.....	27
II-7- Concept de la zone de transfert de masse.....	27
II-8- Effet de variables de conception du lit.....	28
II-8-1- Vitesse et diamètre du lit.....	28
II-8-2- Teneur adsorbant de l'effluent.....	29
II-9- Les hydrates.....	29
II-9-1 Définition.....	29

II-9-2- Les formules chimique des hydrates.....	29
II-9-3- Les conditions de forations d'hydrates.....	29
II-9-3-1- Les conditions primaires.....	30
II-9-3-2- Les conditions secondaires.....	30

Chapitre III : OPTIMISATION DE LA SECTION DE DESHYDRATATION DE CHARGE

III-1- Problématique.....	32
III-1-1- Interprétation des graphes.....	33
III-1-2- La méthode de calcul.....	33
III-2- Constitution d'un deshydrateur de charge.....	34
III-3- Les conditions opératoires d'adsorption / désorption (cas réel).....	34
III-4- Température d'entrée du gaz de régénération.....	35
III-5- La théorie de calcul.....	35
III-5-1- Le bilan énergétique.....	35
III-5-1-1- Calcul de la quantité totale de chaleur nécessaire a la régénération.....	35
III-5-1-2- Calcul de la chaleur nécessaire a la désorption de l'eau Q des	35
III-5-1-3- Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis Q tamis.....	35
III-5-1-4- Calcul de la chaleur nécessaire ou réchauffage de l'acier.....	35
III-5-1-5- Calcul des pertes de chaleur Q perte.....	36
III-5-1-6- Calcul de chaleur Hf fournie par le four.....	36
III-5-1-7- Calcul du temps de réchauffage du tamis (tr).....	36
III-5-1-8- Calcul de la chaleur fournie par le four par Hf / cycle.....	36
III-5-1-9- Calcul du temps de refroidissement du tamis (tref).....	37
III-6-1- Le bilan de matière de la régénération.....	37
III-6-2- Calcul de la chute de pression.....	37
III-6-3- Calcul du nombre de Reynolds.....	37
III-7- Validation de méthode.....	38
III-7-1- Iintroduction.....	38

III-7-2- Dimensionnement d'un deshydrateur.....	39
III-7-2-1- Calcul de la quantité d'eau adsorbée.....	39
III-7-2-2- Calcul du bilan thermique.....	42
III-7-2-3- Calcul du bilan de matière de la régénération.....	46
III-7-2-4- Récapitulation des résultats.....	49
III-8- Etude de la première solution.....	50
III-8-1- Calcul le débit d'eau.....	50
III-8-2- Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse.....	50
III-8-3- Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre.....	51
III-8-4- Calcul du temps d'adsorption.....	51
III-8-5- Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant (x).....	51
III-8-6- Détermination de l'efficacité d'adsorption.....	52
III-8-7- Calcul du bilan thermique.....	52
III-8-8- Calcul du bilan de matière de la régénération.....	54
III-8-9- Calcul des pertes de charge.....	54
III-8-10- Interprétation des résultats.....	56
III-9- Etude de la deuxième solution.....	56
III-9-1- Calcul le débit d'eau.....	56
III-9-2- Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse.....	56
III-9-3- Estimation de la quantité d'eau adsorbée M ads.....	56
III-9-4- Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre.....	56
III-9-5- Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant (x).....	57
III-9-6- Détermination de l'efficacité d'adsorption.....	57
III-9-7- Calcul du bilan thermique.....	57
III-9-8- Calcul du bilan de matière de la régénération.....	58
III-9-9- Interprétation des résultats.....	58
III-10- Interprétation et choix de la solution Optimale.....	59
III-11- Comparaison entre les deux solutions Optimales.....	59
III-11-1- Première solution.....	59
III-11-2- Deuxième solution.....	61

CHAPITRE IV : ETUDE ECONOMIQUE

IV-1- Calcul économique.....	65
IV-2- Etude économique des résultats de la solution Optimale.....	65
IV-2-1- Gain en gaz naturel.....	65
IV-2-2- Gain sur la durée de vie du tamis moléculaire.....	66
Conclusion général.....	69
Références bibliographiques.....	71
Annexes.....	73

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

L'histoire de l'humanité est largement marquée par la quête incessante d'énergie. À travers des avancées techniques toujours plus sophistiquées, les humains ont réussi à identifier et à exploiter progressivement les réserves d'énergie que la nature avait dissimulées : les mines de charbon, le pétrole et le gaz.

De nos jours, la consommation énergétique revêt une importance équivalente à celle de la sécurité, de la pollution et du contrôle de qualité pour les entreprises. Par conséquent, il est essentiel d'améliorer le fonctionnement des équipements afin d'atteindre un rendement optimal et une utilisation efficace de l'énergie.

Le pétrole et le gaz représentent les richesses naturelles les plus significatives de notre pays. Le gaz de pétrole liquéfié, souvent désigné sous l'acronyme GPL, joue un rôle crucial en tant que source d'énergie et de matière première pour diverses industries en plein essor. Il se compose principalement de propane et de butane, formant ainsi un mélange d'hydrocarbures essentiel pour de nombreuses applications.

La déshydratation sur tamis moléculaire est une étape essentielle du processus de traitement du GPL pour le rendre liquide. Elle est composée de trois sécheurs dont le fonctionnement est : un sécheur en fonction, le deuxième en régénération et le troisième en attente.

Pour notre projet, nous avons entrepris une étude visant à optimiser la section de déshydratation de la charge dans le complexe GP1/Z.

Notre principal objectif est d'analyser les raisons de la consommation excessive d'énergie constatée dans cette section, tout en recherchant des solutions qui n'altèrent pas le fonctionnement habituel du complexe et qui n'impliquent pas de dépenses importantes.

Nous débutons par une description détaillée du complexe GP1/Z. Ensuite, nous examinons en profondeur la section de déshydratation de la charge. Dans une troisième partie, nous nous concentrons sur la localisation du problème de la consommation excessive d'énergie en procédant au calcul des différentes quantités de chaleur dans toute la section.

Nous menons également une étude de bilan massique de cette colonne d'adsorption, en commençant par présenter les données du problème ainsi que la méthodologie utilisée pour nos calculs. Pour garantir la validité de notre méthode de calcul, nous commençons par effectuer les calculs pour un sécheur fonctionnant selon la conception, puis nous confrontons les résultats obtenus à la réalité. Enfin, nous concluons notre étude en proposant un programme de calcul pour déterminer les paramètres de fonctionnement optimaux du déshydrateur de charge.

CHAPITRE I PRESENTATION DU COMPLEXE
GP-1 Z ET GENERALITES SUR LE GPL

I-1 Présentation du Complexe

Le complexe de Production GPL dénommé GP1Z ou " JUMBO GPL " de l'Entreprise Nationale SONATRACH est le dernier né des Ensembles Industriels de la zone d'Arzew. Il est situé entre la Centrale Thermique Mers El Hadjadj à l'Est et les Complexes de GNL à l'Ouest.

Le " .JUMBO GPL " s'étend sur une surface de 120 hectares sur la bande de terre comprise entre la Route National 11 et le Bord de la Mer Méditerranée.

Le Complexe a été construit dans le cadre d'un contrat clé en main avec le concours d'un Consortium Japonais IHI- CITON, a été réceptionné le 02 Septembre 1984.

Le Complexe a pour mission de produire du Butane ; Propane et du mélange Butane / Propane à partir du GPL provenant du grand Sud Algérien : Complexe Hassi Messaoud, Hassi R'Mel, Ain Amenas etc.

La Capacité annuelle de production de l'Usine est de 10,8 millions de Tonne par an.

Par sa situation géographique proche du marché et par ses capacités de production, le GP 1Z fait occuper une place de choix à la SONATRACH dans le marché International des GPL. [2]



Figure I-1 : Situation géographique du complexe GP1/Z.

I-2 Principales installations

- Section "DEMERCURISATION".
- 22 Sphères de stockage de la charge d'alimentation de 1000 m³ chacune.
- 09 Trains de traitement du GPL.
- 04 Unités de reliquéfaction 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
- 01 Sphère de stockage gazoline (pentane).
- 02 Salles de contrôles (MCR&LCR).
- Deux Mini salles de contrôles : CCR (Chargement Camion) et JCR (Chargement Bateau).
- 01 Sous-station électrique alimentée par la SONEGAS. (Deux lignes L1&L2 de capacité 60kvolts).
- 06 Générateurs assurant l'énergie de secours du complexe en cas de coupure de courant. (01 diesel + turbine à Gaz dans chaque phase).
- 02 Quais de chargement pouvant recevoir des navires d'une capacité variante entre 4000 et 10000 tonnes.
- Une rampe de chargement par camions. [2]

I-3 Les Zones du complexe

I-3-1 Zones de démercuration

L'élimination du Mercure est réalisée à la température ambiante et pression du GPL. Les différents types de support utilisés dans les pièges à Mercure sont : l'Alumine, le Charbon Actif, ou les produits à base de Zéolite (Silice + alumine).

I-3-2 Zones de stockage d'alimentation

Cette zone comprend 22 sphères de stockage de GPL d'une capacité unitaire de 1000 m³. Le GPL est ensuite acheminé vers la zone de processus au moyen de neuf (09) pompes centrifuges (pompes de charge), avec une pression de refoulement de 30 Kg/cm².

I-3-3 Zones utilité

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 : On utilise le dessaleur pour avoir l'eau distillée et à partir de la chaudière on produit de la vapeur.
- Une ligne directe récemment installée KAHRAMA "Eau Distillée".
- Eaux : l'eau distillée, l'eau de refroidissement et 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 (hélios GL2Z/N2 local) : Circuit Gazeux (HELIOS), Circuit d'azote liquide (COGIZ)
- Six générateurs électriques de secours d'une capacité de 25.617 KW. (Moteurs Diesel +Turbine à Gaz pour les trois Phases).
- Un système de sécurité vide-vite (Blow-down). Dans chaque Zone.
- Les torches : trois hautes pressions et deux basses pressions servent à brûler la quantité de gaz provoquée par un dysfonctionnement des trains.

I-3-4 Zones process

Les trains de process sont identiques. Chaque train possède les sections suivantes :

a. Section de 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.

Cette opération se fait par l'évaporation de l'eau contenue dans les lits de tamis moléculaires en passant par les séquences suivantes : drainage, dépressurisation, réchauffage, refroidissement, pressurisation et remplissage.

b. Section de séparation

Cette section a pour but de séparer le GPL brut en produits commerciaux (propane (C₃) et butane (C₄) éventuellement C₅), avec un taux de récupération Tr maximum :

$$Tr = \frac{C_3 \text{ et } C_4 \text{ produit (commercialisé)}}{C_3 \text{ et } C_4 \text{ contenant dans la charge}}$$

La composition du GPL brut est le paramètre primaire qui détermine le fonctionnement global de la section séparation. La charge passe tout d'abord par le fractionnateur qui sépare le produit de tête (le propane et l'éthane) et le produit de fond (le butane et le pentane).

b-a). Le Fractionnateur :

La séparation du propane et de butane dans le fractionnateur est l'opération essentielle pour réaliser le taux de récupération voulu de chaque produit.

- La température d'entrée du fractionnateur est de 71°C.
- La pression à l'intérieur de la colonne est en moyenne de 20 Kg/cm².

b-b). Le dééthaniseur :

Cette colonne de fractionnement est mise en service lorsque le rapport C₂ / (C₂ + C₃) dans la charge est supérieur ou égal à 4.8 % (molaire), elle traitera le produit de tête du fractionnateur. L'alimentation se fait normalement sous forme de liquide sous-refroidi à 50°C.

La pression à l'intérieur de la colonne est de 22 Kg/cm².

b-c). Le dépentaniseur :

Le dépentaniseur qui traitera le produit de fond sera mis en marche, lorsque le rapport C₅ / (C₅ + C₄) est supérieur ou égal à 1,75 % -

- La température d'alimentation est de 60°C.
- La pression d'alimentation est de 7 Kg/cm².

Notons qu'il n'existe qu'un seul dépentaniseur pour tous les trains.

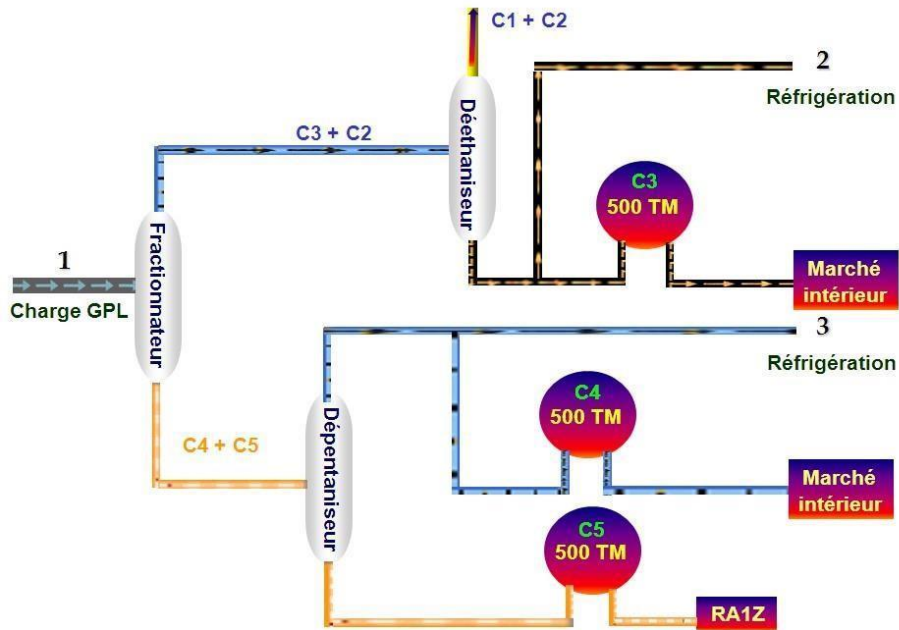


Figure I-2 : Séparation du GPL (stockage à TA).

c. Section de Réfrigération :

Cette section est conçue pour réfrigérer le propane et le butane commercial produit dans la section séparation, les réfrigère jusqu'aux basses températures correspondant au point de saturation liquide et les dirige vers les bacs de stockage à basse température - Les produits propane et butane sont réfrigérés à travers trois (03) échangeurs suivant un cycle fermé utilisant une boucle de réfrigération à propane. [2]

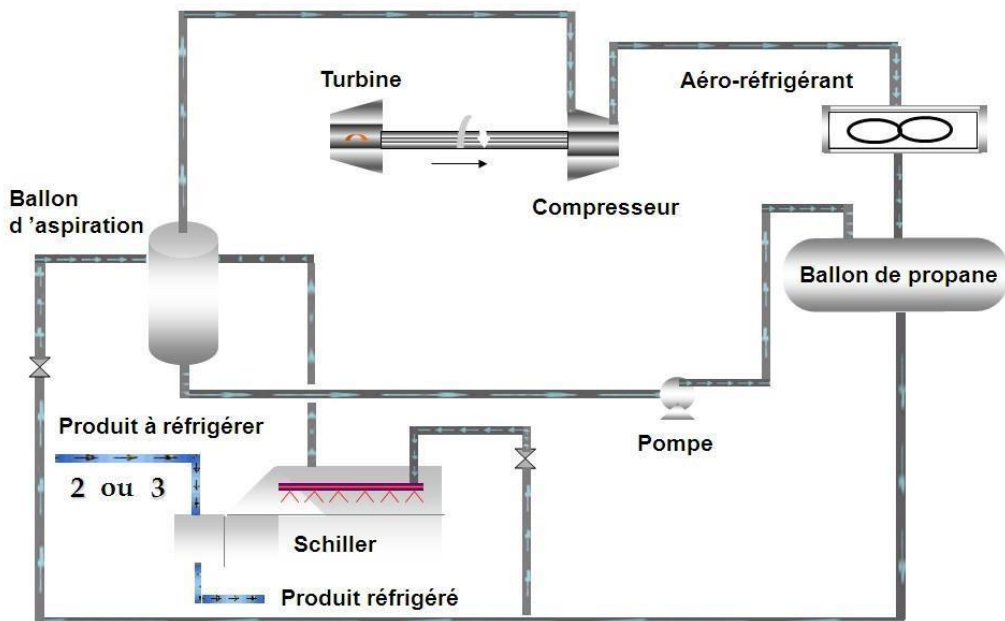


Figure I-3 : Principe de réfrigération du GPL.

d. Section d'Huile Chaude :

La section du fluide caloporteur est utilisée comme source de chaleur pour les rebouilleurs et le pré chauffeur final du fractionnateur.

Le four du fluide caloporteur fournit la chaleur nécessaire au gaz de régénération destiné à la section de déshydratation.

- La température d'entrée de l'huile dans le four est de 130°C.
- La température de sortie de l'huile du four est de 180°C. [2]

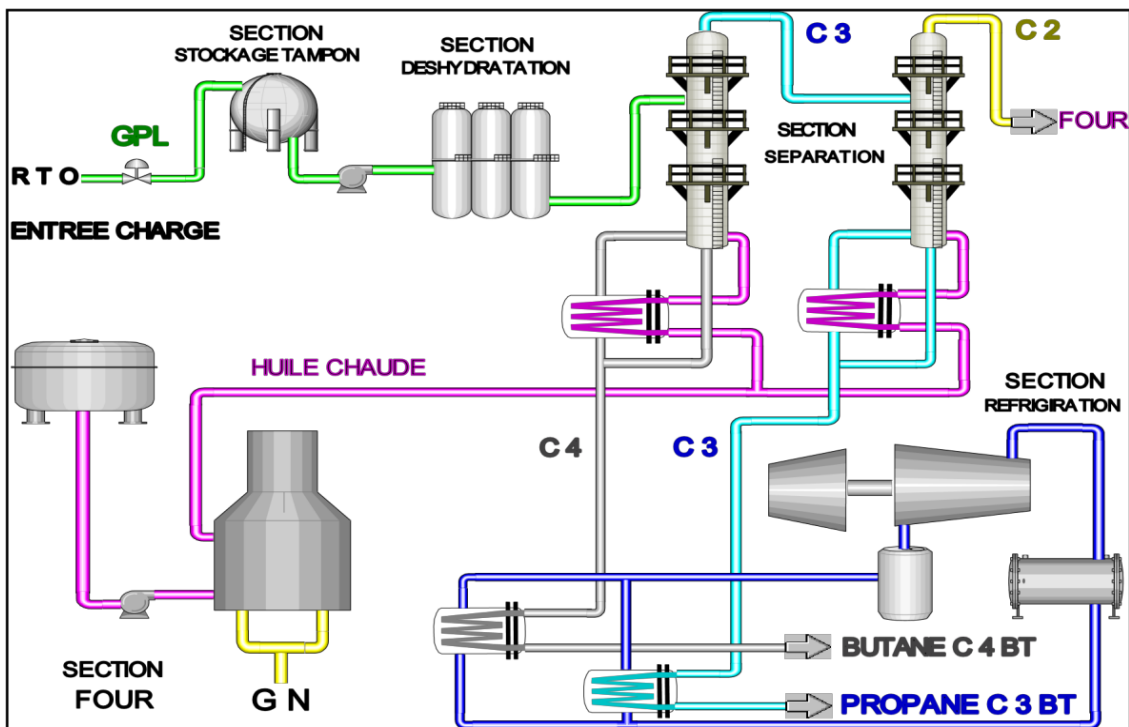


Figure I-4 : Ciculation de huile chaude.

e. Zones de stockage de produits finis

Cette zone assure la manutention des produits commerciaux. On distingue deux types de stockage de produits finis (bacs et sphères) : [2]

Tableau I-1- : Section de stockage à basse température.

		Quantité	Capacité (mm3)
Section de stockage BT	Propane	03	70000
	Butane	03	70000

Tableau I-2- : Section de stockage à basse température

		Quantité	Capacité (mm3)
Section de stockage TA	Propane	02	500
	Butane	02	500
	Pentane	01	500

f. Zones de chargement de produits finis

f-a) Chargement par Camions (CC) sous pression (Produit TA)

S’occupe de la gestion des enlèvements par camion au niveau de la rampe de par camion (Client NAFTAL et les opérateurs privés).

f-b) Chargement par navires (Produit BT)

Le complexe dispose de deux jetées D1 et M6, pour le chargement des bateaux à basse température ayant une capacité de :

○ 10.000 m³ /h pour le propane.

○ 10.000 m³ /h pour le butane.

f-c) Section de récupération et de reliqufaction des vapeurs boil-off- gas (BOG)

Cette section comprend une unité de reliqufaction de propane et une unité de reliqufaction de butane. Le système de récupération a pour but de condenser les gaz évaporés et les renvoyer au réservoir de stockage, pour maintenir la pression dans les bacs de stockage sans perte de produit.

Les sources de gaz à liquéfier sont les suivantes :

○ Gaz évaporés des réservoirs à basse température.

○ Gaz de retour des jetées (chargement de navire).

II- notions générales sur les GPL :

Le terme GPL ou gaz de pétrole liquéfié est 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 gazeux à l'état liquide par un abaissement de température ou par augmentation de la pression ou des deux à la fois. Il s'agit essentiellement du butane et de propane.

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

Les GPL appartiennent à la famille des paraffines et sont composés essentiellement du CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀ et C₅H₁₂. [2]

II -1 L'origine des GPL :

Les gaz de pétrole liquéfiés sont obtenus principalement :

- Dans les raffineries de pétrole, en cours de la distillation du pétrole brut.
- Au cours des opérations de dégazolinage du gaz naturel sur les champs de production, pour obtenir les produits condensables (butane et propane).
- Une grande partie des GPL proviennent des champs pétroliers. [2]

II -2 Les caractéristiques des GPL :

Aux conditions normales de pression et de température, les GPL sont un gaz plus lourd que l'air.

Le butane commercial en phase vapeur est deux fois plus lourd que l'air, et le propane commercial est une fois et demie plus lourd.

Les GPL sont non corrosifs à l'acier et généralement au cuivre et à l'alliage du cuivre et d'aluminium.

Les GPL sont incolores, que ce soit en phase liquide ou vapeur.

Les GPL sont légèrement toxiques à l'état liquide ou vapeur.

Les GPL purs sont inodores, pour des raisons de sécurité, un odorant doit être ajouté.

II -3 L'utilisation des GPL :

Parmi les principales utilisations des GPL, on peut citer :

- ❖ La combustion (carburant auto).
- ❖ La climatisation : deux principes peuvent être réalisés :
 - Les GPL absorbent la chaleur de l'environnement et créent du froid.

- Un moteur qui fonctionne aux GPL peut entraîner un compresseur qui comprime ce gaz, la détente absorbe de la chaleur et crée du froid.
- ❖ Matières premières pour l'industrie .exemple : Utilisation des GPL dans les centrales pour la création d'électricité.

II -4 Risques des GPL :

- 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 est 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 allumé par un élément chaud ou une étincelle à une distance d'un point de fuite.
- Les GPL liquides par évaporation rapide et diminution (chute) de température de l'entourage, peuvent causer des brûlures sévères. Des vêtements de protection doivent être portés (des gants, des lunettes). [8]

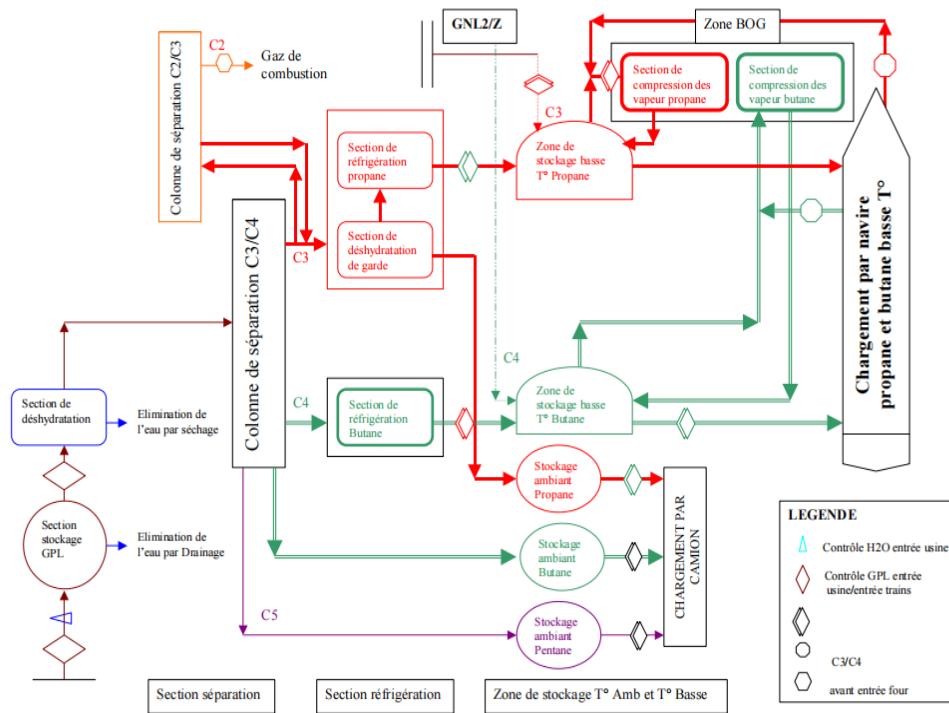


Figure I-5 : Schéma principal du procédé (GPL).

**CHAPITRE II : SECTION DE DESHYDRATATION ET TAMIS
MOLECULAIRE**

II-1-Généralités

La section déshydratation liquide de la charge met en œuvre trois colonnes d'adsorption remplies de tamis moléculaire, fonctionnant en parallèle. En permanence, une colonne est en service pour l'adsorption, une autre en régénération et la troisième en réserve.

Le cycle d'adsorption dure 36 heures. À son terme, la colonne en réserve est activée, tandis que la colonne en service passe en régénération. Simultanément, la troisième colonne, ayant achevé sa régénération, devient la colonne de réserve.

Le flux traverse la colonne d'adsorption de bas en haut. La section de déshydratation peut fonctionner avec seulement deux adsorbants, permettant la révision d'une colonne pendant que les deux autres assurent le séchage.

II-2-Le cycle de régénération [4]

Tableau II.1.Les étapes de cycle de régénération

Etapes	Temps (H)	P (bar)	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

II-2-1-Drainage

Dès l'activation de V-1001B, la vanne 2A se ferme, enclenchant la séquence de régénération. Cette séquence débute par le drainage du GPL résiduel dans la colonne d'adsorption. Sous la pression du gaz naturel (20 kg/cm²) injecté en haut de la colonne, le GPL brut est évacué vers les réservoirs sphériques d'alimentation à l'état liquide. Les vannes 3A et 4A s'ouvrent pour permettre ce refoulement. Le contact de niveau LS-1 est alors activé. Lorsque le niveau de liquide atteint LS-1, les vannes 3A puis 4A se ferment, signalant la fin du drainage. LS-1 est ensuite désactivé. La durée totale du drainage est estimée à une heure environ. [4]

II-2-2-Dépressurisation

Une fois la colonne d'adsorption entièrement drainée, la pression dans V-1001A atteint 20 kg/cm² eff. Avant de lancer la séquence de chauffage, cette pression doit être abaissée à 4,5 kg/cm² eff.

Les vannes 3A et 4A étant fermées, la commande automatique chronologique ouvre d'abord la vanne 11 puis la vanne 7A, et active le contact de pression différentielle PDS-2. V-1001A est alors dépressurisée lentement vers le réseau de fuel gaz. À la détection d'un débit nul par PDS-2, la vanne 11 se ferme automatiquement tandis que la vanne 7A reste ouverte. La pression dans la colonne atteint alors 4,5 kg/cm² eff. Cette opération de dépressurisation dure environ une demi-heure. [4]

II-2-3-Chauffage

La séquence de chauffage constitue l'étape clé de la régénération, permettant d'éliminer totalement l'eau adsorbée par les tamis moléculaires. Le lit d'adsorbant est chauffé de haut en bas à l'aide de gaz naturel chaud, porté à 280°C dans le four de fluide caloporteur.

Pour lancer le chauffage, les vannes 8A, 6A et 10A s'ouvrent. Le contrôleur de débit régule l'injection d'un flux constant de gaz chaud dans le lit, qui s'échauffe graduellement pour chasser l'eau adsorbée. L'aéroréfrigérant E-1001 refroidit le gaz sortant du lit et condense une partie de l'eau qu'il contient. Le gaz refroidi traverse le séparateur de drainage V-1002 où l'eau libre se sépare et s'écoule, sous contrôle de niveau, vers les égouts des eaux huileuses. Le gaz refroidi rejoint ensuite le réseau de fuel gaz. Le condensat d'hydrocarbures éventuellement formé au-dessus de l'eau libre est envoyé, sous contrôle de niveau, vers le réseau de purge. Le gaz refroidi peut également être dirigé directement vers la torche, sous contrôle de pression.

La phase de chauffage dure 11 heures. À son terme, le cycle est arrêté par le programmeur et par TS-1, indiquant que la température de régénération de 280°C a été atteinte au fond du lit.

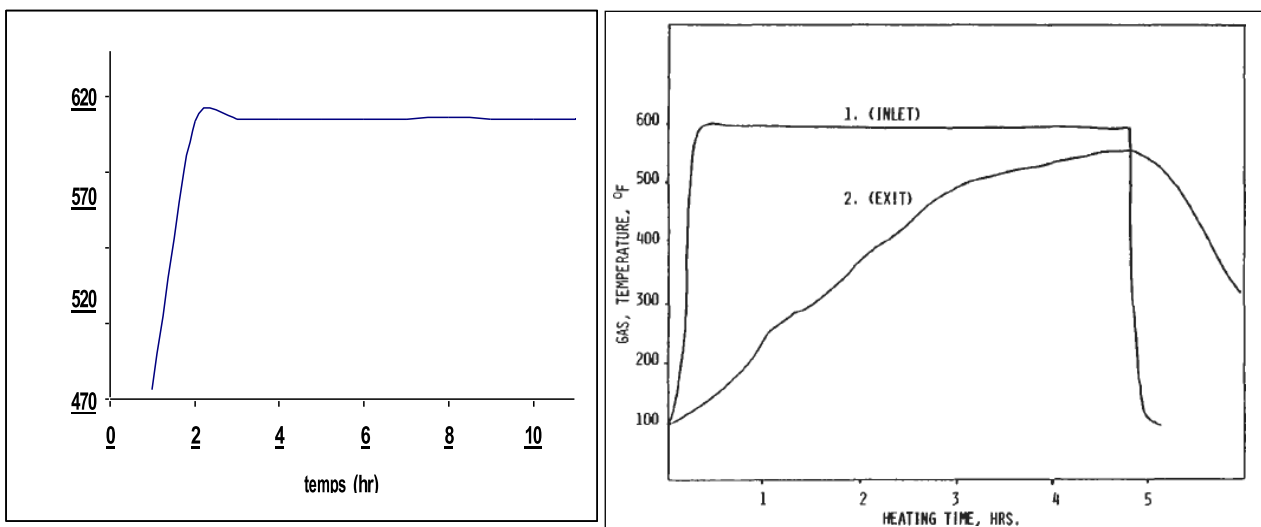


Figure II.1. Profil de Température de régénération [15].

II-2-4-Refroidissement

Le lit est refroidi de bas en haut, contrairement au chauffage qui se fait de haut en bas. Pour cette étape, du gaz naturel froid (12,7°C) est utilisé. Le refroidissement est déclenché par l'ouverture des vannes 5 et 9 et la mise en service de TS-2. Les vannes 7A et 10A restent ouvertes après la séquence de chauffage et E-1001 continue de fonctionner.

Le débit du gaz froid entrant dans le lit est régulé par un contrôleur. Le refroidissement dure environ 5 heures et sa fin est signalée par TS-2 lorsque la température du dessus du lit atteint 45°C. Le gaz utilisé pendant le refroidissement est ensuite dirigé vers le réseau de fuel gaz.

Une fois le refroidissement terminé, les vannes 9, 7A et 5 du lit sont fermées et TS-2 est mis hors service.

II-2-5-Remise sous pression

Avant de recharger V-1001A en GPL liquide, il est nécessaire de le remettre sous pression avec du gaz naturel (20 kg/cm² eff.) pour éviter une détente du GPL brut et une perte de produit. Cette opération s'effectue en introduisant un faible débit de gaz naturel haute pression dans la colonne. Les vannes 13 et 4A s'ouvrent automatiquement et le système de contrôle de pression différentielle PDS-3 est activé. La pression dans la colonne augmente progressivement jusqu'au point de consigne de PDS-3. La vanne 4A se ferme alors et PDS-3 est désactivé. La pression finale dans V-1001A atteint 20 kg/cm² eff. Cette étape de remise sous pression dure environ une demi-heure. [4]

II-2-6-Remplissage en liquide

Une fois la remise sous pression effectuée, le GPL liquide peut être rechargé dans la colonne en toute sécurité. Le gaz est progressivement refoulé vers la sortie de la colonne au fur et à mesure de la montée du GPL liquide. Lorsque le niveau du liquide atteint LS-2, la vanne 12A se ferme, signalant la fin du remplissage. Cette opération dure environ une heure.

V-1001A a ainsi achevé son cycle de régénération et se met en mode réserve pour une durée approximative de 53 heures. La durée totale de la régénération est de 15 heures.

17 heures plus tard, le cycle d'adsorption de V-1001B s'achève et son cycle de régénération débute. V-1001C prend le relais et entame son cycle d'adsorption pendant que V-1001A reste en réserve. [4]

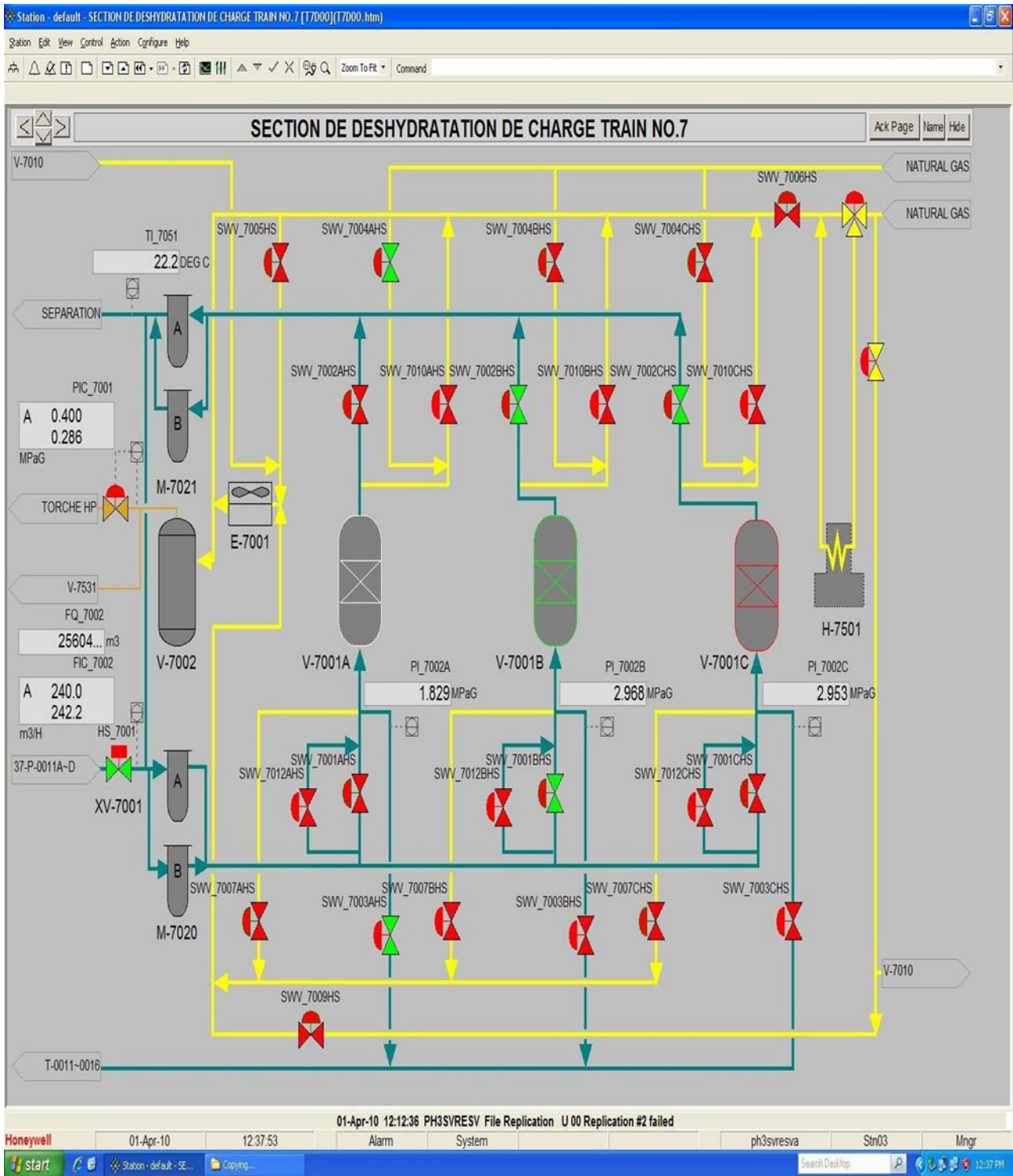


Figure II.2.Schéma de la section déshydratation

III-1- Les modes de déshydratation :

Plusieurs techniques ont été mises en œuvre pour empêcher l'obstruction des canalisations de transport ou des unités de traitement du GPL par les hydrates. Parmi les plus courantes, on trouve la réduction de la teneur en eau par déshydratation.

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

- Inhibition par injection d'inhibiteur de formation d'hydrates.
- Déshydratation par absorption dans le liquide.
- Adsorption sur un agent desséchant solide activé. [6] [9]

III-1-1-Inhibition par injection d'inhibiteur de formation d'hydrates :**III-1-1-1 Injection de glycol :**

La formation d'hydrates lors du refroidissement peut être évitée par plusieurs moyens, dont l'injection de glycol liquide, généralement de l'éthylène glycol ou du di éthylène glycol. Ce dernier est privilégié en raison de son coût moindre et de sa solubilité réduite dans les hydrocarbures liquides.

Le glycol agit en absorbant l'eau, empêchant ainsi la création des conditions propices à la formation d'hydrates d'hydrocarbures solides.

III-1-1-2 Injection de méthanol :

L'injection de méthanol dans un courant gazeux est une méthode courante pour prévenir la formation d'hydrates. Cependant, lorsque la formation d'hydrates est minime, des injections intermittentes de méthanol sont souvent privilégiées.

III-1-2-Déshydratation par absorption dans un liquide

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

- Affinité élevée pour l'eau.
- Non corrosif et non coûteux.
- Stabilité de sa régénération.
- Faible pression de vapeur à la température de contact.
- déshydratation Faible tendance à former une mousse et une faible viscosité

En effet deux composés organiques répondent d'une manière satisfaisante à toute ces

Exigences : Le di-éthylène glycol (DEG) et le tri-éthylène glycol (TEG).

III-1-3-Déshydratation par adsorption sur un desséchant solide**III-1-3-1- Généralités**

L'adsorption, un processus physique de séparation des mélanges, se produit lorsqu'un fluide et un solide entrent en contact. Elle se caractérise par une différence de composition entre la fine couche du fluide adhérant à la surface du solide (phase adsorbée) et le reste du fluide (phase fluide).

L'étude des équilibres d'adsorption permet de déterminer la quantité maximale d'un composant du mélange pouvant être séparée dans des conditions thermodynamiques données.

La vitesse d'atteinte de l'équilibre, relevant de la cinétique d'adsorption, dépend de la diffusion des constituants du mélange dans l'adsorbant et le fluide, ainsi que des conditions de contact. Elle permet d'évaluer l'efficacité du procédé et du système d'adsorption.

III-1-3-2- Description du phénomène d'adsorption

Les atomes à la surface d'un solide se distinguent de ceux situés en profondeur par l'équilibre des forces qui s'exercent sur eux.

Contrairement aux atomes internes, ceux de la surface ne sont pas entourés de manière symétrique par d'autres atomes. Ils subissent donc des forces déséquilibrées qui créent un champ d'attraction à courte portée (quelques angströms).

Ce champ attire les molécules du fluide adjacent, les fixant à la surface du solide. C'est ce phénomène qui explique l'adsorption, la formation d'une couche de molécules à la surface du solide avec une répartition différente de celle du fluide en vrac.

Lorsqu'un adsorbant est plongé dans un fluide, la composition de ce dernier change progressivement jusqu'à atteindre un équilibre. L'adsorption est un processus spontané et généralement exothermique.

En fonction de l'énergie impliquée, l'adsorption peut être classée comme physique (forces intermoléculaires faibles) ou chimique (liens chimiques plus forts).

III-1-3-2-1- 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 (macropores) à l'intérieur des particules

D'adsorbant, et la taille des pores actuels adsorbants.

Dans le processus de transfert de gaz entre une phase gazeuse et une phase solide, la zone de transfert de matière (ZMT) représente la longueur du lit parcourue par un incrément de gaz.

La ZMT est précédée d'une zone d'équilibre, et sa longueur correspond environ à un tiers de la zone de saturation.

Par mesure de sécurité, il est courant d'ajouter 0,3 à 0,6 mètre de desséchant au fond du lit, ce qui permet d'éviter que le point de percée ne se situe dans la zone active.

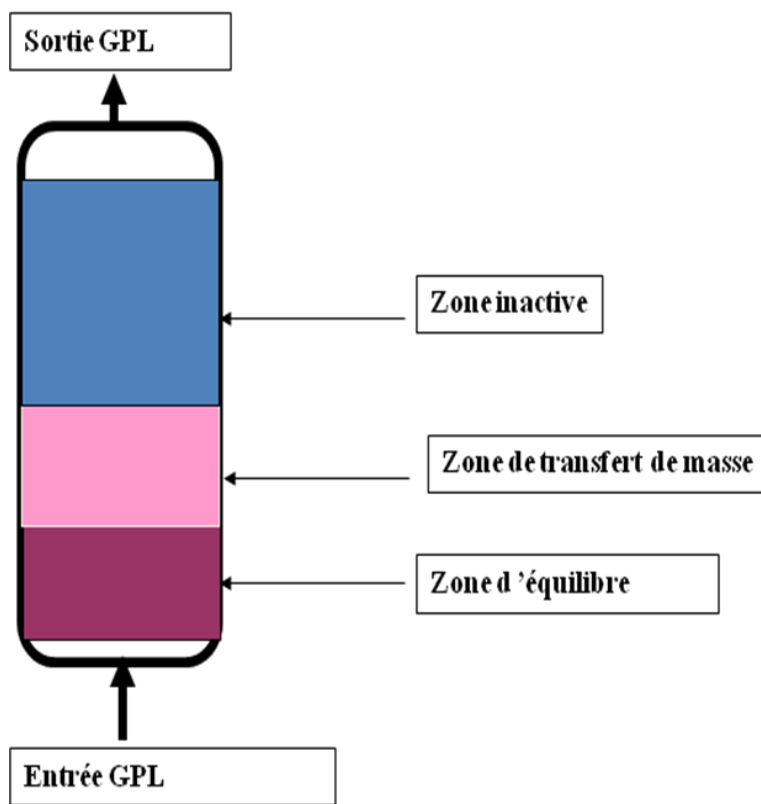


Figure II.3. L'emplacement de la zone ZMT

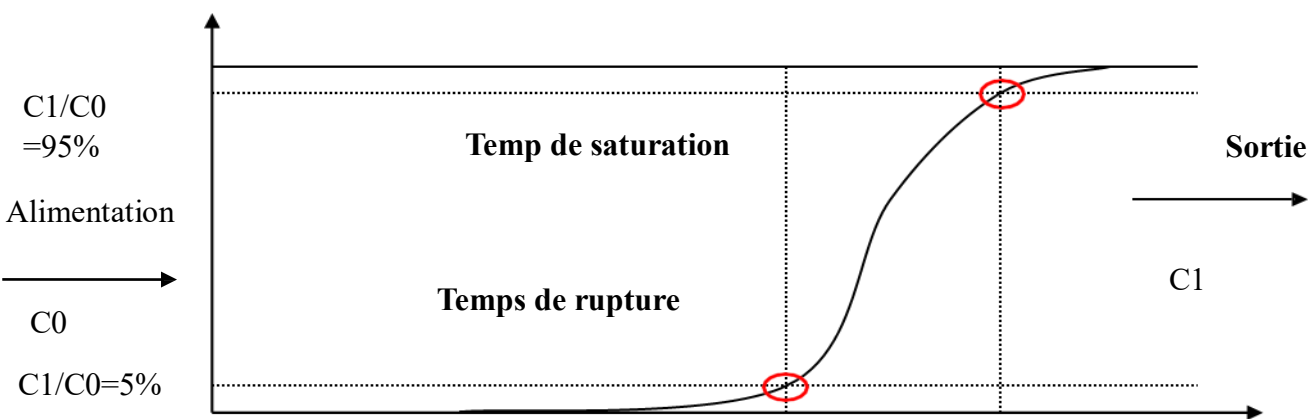


Figure II.4. La courbe de percée

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 alimentation.
- la nature ou de la composition du mélange à traiter.
- de la saturation relative du mélange en adsorbat.

III-1-3-2-2- Principaux adsorbants

Quatre types d'agents desséchants sont couramment utilisés :

- Le gel de silice
- L'alumine activée
- Le charbon actif
- Le tamis moléculaire

Leur fonctionnement exact n'est pas entièrement compris, mais il repose sur l'adsorption.

Dans les solides, les forces de cohésion maintiennent les atomes ensemble. A la surface, ces forces sont déséquilibrées, créant une faible attraction pour les molécules du fluide environnant, semblable à une attraction magnétique.

Cette attraction force les molécules à adhérer à la surface du desséchant.

Deux autres phénomènes interviennent dans l'adsorption sur surface :

Concentration des forces d'adsorption: Les forces d'adsorption sont plus fortes au niveau des courbures de la surface, comme dans les cylindres ou les pores.

Forces de condensation: Lorsque le diamètre d'un pore se rapproche du diamètre de la molécule à adsorber, des forces de condensation plus intenses entrent en jeu.

III-1-3-2-2-1- Silicagel :

Le silicagel est un matériau poreux utilisé comme agent desséchant.

Il se présente sous forme de poudre ou de granulés de différentes tailles et sa formule chimique est $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Le silicagel est amorphe, c'est-à-dire qu'il n'a pas de structure cristalline définie. Il possède également une grande porosité, avec des pores d'un diamètre moyen d'environ 40 Å.

Sa capacité d'adsorption d'eau est la plus élevée de tous les agents desséchants courants, atteignant 40 kg d'eau pour 100 kg de silicagel.

Cela permet d'abaisser le point de rosée jusqu'à -60°C (environ 10 ppm d'humidité).

III-1-3-2-2-2- L'alumine activée :

L'alumine activée est une forme poreuse et partiellement hydratée de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3).

Elle est amorphe, ce qui signifie qu'elle n'a pas de structure cristalline définie.

Sa capacité d'adsorption d'eau est inférieure à celle du silicagel, mais elle permet d'atteindre un point de rosée très bas, jusqu'à $-75^{\circ}C$ (environ 1 ppm d'humidité).

III-1-3-2-2-3- L'aluminagel :

L'aluminagel est un agent desséchant efficace capable de réduire la teneur en eau d'un fluide jusqu'à un point de rosée de $-60^{\circ}C$ (environ 10 ppm d'humidité).

Ses capacités de séchage sont comparables à celles du silicagel et inférieures à celles de l'alumine activée.

III-1-3-2-2-4- Charbon actif :

Les charbons actifs sont des agents desséchants particulièrement efficaces pour les hydrocarbures et les matières organiques en général.

Ils sont couramment utilisés pour la récupération des solvants.

La fabrication des charbons actifs implique la transformation thermique de matières premières telles que les coquilles de noix ou le charbon, en l'absence d'air.

Le produit final se présente sous forme de granulés.

La régénération des charbons actifs s'effectue à des températures inférieures à $150^{\circ}C$.

III-1-3-2-2-5- Tamis moléculaire :

Les tamis moléculaires sont des matériaux cristallins à base d'aluminosilicates, présentant une structure poreuse aux dimensions moléculaires précises.

Ils possèdent une capacité d'adsorption d'eau d'environ 10% de leur poids.

La régénération des tamis moléculaires s'effectue par passage d'un gaz sec à une température de $280^{\circ}C$.

IV- les tamis moléculaires

IV-1- Généralités

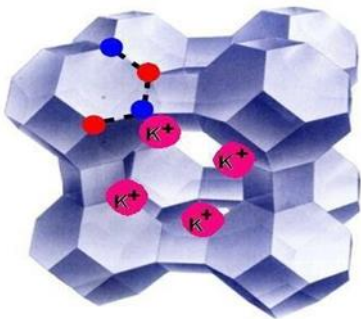
Les tamis moléculaires des miracles de la science pour des séparations ultra-précises.

Dans le domaine de l'adsorption, les tamis moléculaires se distinguent comme une technologie hors du commun. Contrairement aux agents adsorbants traditionnels, ils ont la capacité remarquable de capturer les petites molécules tout en excluant les plus grosses. Cette propriété unique permet de réaliser des séparations d'une précision inégalée, comme l'illustrent les annexes 1 et 2. Le tableau III.1 quant à lui, résume les dimensions moléculaires à prendre en compte pour choisir le tamis moléculaire adapté à une application spécifique. Des merveilles de la nature au service de l'industrie Les tamis moléculaires, également connus sous le nom de zéolithes, sont des composés à base d'aluminosilicates de métaux hydratés cristallins. Ils représentent une classe d'adsorbants fascinants et uniques disponibles sur le marché. Leurs propriétés hors du commun les rendent particulièrement précieux dans une multitude de domaines d'application. Inspiration naturelle pour des performances exceptionnelles Bien que synthétiques, les tamis moléculaires s'inspirent fortement de certains minéraux naturels. Leur structure cristalline unique se caractérise par un réseau microporeux à l'échelle moléculaire, composé de cavités poreuses de tailles variables définies par les cations présents. Ce réseau de canaux agit comme un filtre sélectif, permettant l'adsorption de molécules spécifiques en fonction de leur taille.

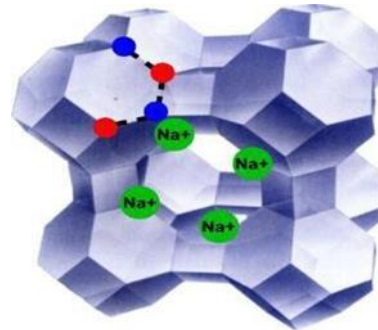


Figure II.5 : Tamis moléculaire sous ses différentes formes

Rôle des cations et diversité des tamis moléculaires La présence de cations dans la structure des tamis moléculaires joue un rôle crucial dans la compensation des charges électriques. Bien que leurs structures cristallines puissent présenter de légères variations, les types les plus courants et les plus importants sont les types **A** et **X** (voir l'annexe 1). Ces tamis trouvent de nombreuses applications en tant qu'agents adsorbants commerciaux. Tamis de type A : des cavités sélectives pour des séparations précises Les tamis de type A se distinguent par des cavités d'accès de tailles différentes, déterminées par le cation de compensation présent. On trouve ainsi des tamis **3Å** (tamis 3A), **4Å** (tamis 4A) et **5Å** (tamis 5A). Cette diversité de tailles permet une adsorption sélective : les tamis 3A et 4A, par exemple, peuvent capturer l'eau à l'intérieur de leur structure microporeuse tout en excluant les hydrocarbures [1].



Tamis moléculaire 3A



Tamis moléculaire 4A

Figure II.6: Tamis moléculaire 3A et 4A

Les tamis moléculaires sont des matériaux cristallins poreux qui possèdent des propriétés remarquables d'adsorption, les rendant particulièrement utiles pour la déshumidification et la purification des gaz. Leur structure unique leur permet de piéger sélectivement certaines molécules, comme l'eau, tout en laissant passer d'autres. Les tamis moléculaires sont constitués d'aluminosilicates de métal, arrangés dans une structure tridimensionnelle formée de tétraèdres d'alumine et de silice. Ces tétraèdres, liés entre eux par des atomes d'oxygène, créent un réseau de pores de tailles définies. La taille et la disposition de ces pores déterminent quelles molécules peuvent être adsorbées. L'adsorption sur les tamis moléculaires implique deux mécanismes principaux :

1. Condensation capillaire : Les molécules sont attirées par les forces intermoléculaires à l'intérieur des pores, similaires à la condensation de l'eau sur les parois d'un verre.

2. Adsorption par interaction électrostatique : La distribution inégale des charges dans la structure du tamis moléculaire crée une surface polaire qui attire les molécules polaires, comme l'eau, par des forces électrostatiques.

Par rapport à d'autres déshydratants tels que le gel de silice ou l'alumine, les tamis moléculaires offrent plusieurs avantages :

- Déshydratation plus efficace : Ils permettent d'atteindre des teneurs en eau très faibles, de l'ordre de 1 ppm.
- Sélectivité : Ils peuvent adsorber sélectivement certaines molécules, comme l'eau, tout en laissant passer d'autres gaz.
- Capacité d'adsorption élevée : Ils possèdent une grande surface interne, permettant d'adsorber une grande quantité de molécules.
- Résistance à la régénération : Ils peuvent être régénérés et réutilisés à maintes reprises sans perte de performance.

Les tamis moléculaires sont utilisés dans une large gamme d'applications, notamment :

- Déshumidification de l'air : Ils sont utilisés pour sécher l'air dans les industries pharmaceutiques, chimiques et alimentaires.
- Purification des gaz : Ils sont utilisés pour éliminer l'eau, le CO₂ et d'autres contaminants des gaz industriels.
- Séchage des solvants : Ils sont utilisés pour déshydrater les solvants dans les industries pharmaceutiques et chimiques.
- Catalyse : Ils sont utilisés comme catalyseurs dans certaines réactions chimiques.

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.

IV-2- Type et dimension du tamis

Le tamis moléculaire utilisé pour la déshydratation du GPL est de type 4°A. Ce dessiccant 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. □1]

Tableau III.1. Diamètres critiques de certaines molécules

Molécule	Diamètre critique (A)
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-C ₂₂ H ₄₆	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
Ttriethylamine lamine	8,4

La structure finale des tamis moléculaires zéolitiques intègre des cations sodium, potassium ou calcium au sein de leur réseau cristallin.

Ces cations, appelés "cations équilibrants", assurent la neutralité électrique de la structure et constituent les sites d'échange ionique caractéristiques des zéolites.

Les propriétés des tamis moléculaires, telles que les données d'équilibre, peuvent être représentées sous forme d'isothermes (voir Annexe 1).

Ces isothermes illustrent la relation d'équilibre entre le fluide et le solide, où la concentration de l'adsorbat (l'eau dans notre cas) dépend à la fois de la concentration de l'eau dans la phase fluide (pression partielle) et de la température d'adsorption.

Une caractéristique notable des tamis moléculaires est leur capacité d'adsorption élevée même à faibles concentrations de l'adsorbat.

De plus, ils présentent une affinité particulière pour les composés polaires et non saturés.

IV-3- Adsorption dynamique

L'adsorption est un processus qui se produit à la surface d'un solide, où des molécules d'un fluide se fixent sur la surface du solide.

Les solides poreux, avec leur grande surface interne et leur structure cristalline à pores de dimensions définies, offrent une surface de support importante (pouvant atteindre plusieurs centaines de m^2/g) favorisant une adsorption sélective maximale.

Dans le cas de l'adsorption dynamique, un lit granulaire de matériau adsorbant est placé dans une colonne d'adsorption ou adsorbeur et traversé par le fluide vecteur contenant les molécules à séparer par adsorption.

IV-4- Concept de la zone de transfert de masse

La zone de transfert de masse correspond à la portion du lit adsorbant nécessaire à l'adsorption effective, où la concentration de l'adsorbat à la sortie varie en fonction de sa concentration initiale.

En amont de cette zone, l'adsorbat est saturé, c'est-à-dire qu'il a atteint sa capacité maximale d'adsorption. En aval, l'adsorbat est "vierge" ou régénéré, et prêt à être utilisé à nouveau. [1]

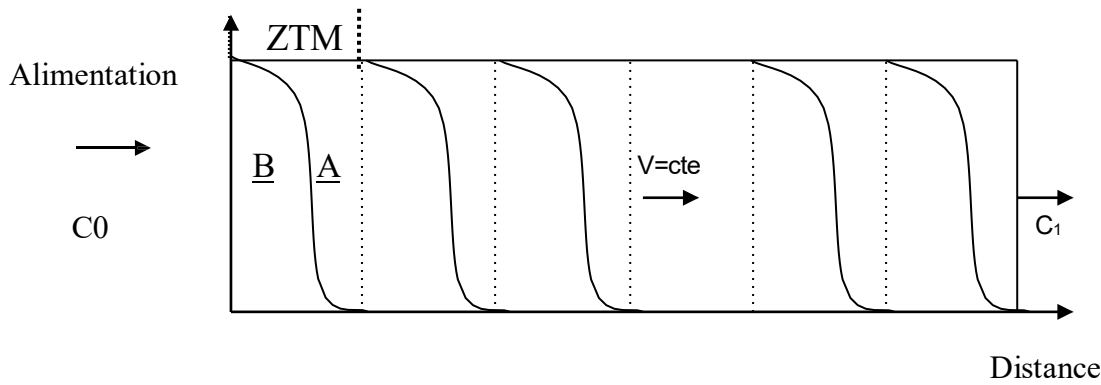


Figure III.3. Evolution de la concentration de l'adsorbant (fluide) au cours de l'adsorption

IV-5- Effet des variables de conception du lit

L'adsorption est un processus qui s'effectue au fil du temps, c'est-à-dire qu'elle dépend de la vitesse à laquelle les molécules du fluide se fixent sur la surface du solide.

La zone de transfert de masse correspond à la longueur du lit adsorbant requise pour que le phénomène d'adsorption se produise de manière optimale.

En d'autres termes, c'est la distance que doit parcourir une unité de fluide pour que sa concentration en eau d'entrée atteigne pratiquement zéro.

La longueur de cette zone dépend de plusieurs facteurs, tels que :

- Les propriétés de l'adsorbant et de l'adsorbant (nature des molécules, surface spécifique du matériau, etc.)
- Les conditions d'opération (débit, température, pression)
- La géométrie du lit adsorbant (longueur, diamètre, arrangement des particules)

IV-5-1- Vitesse et diamètre du lit :

En général, les lits adsorbants longs et de faible diamètre s'avèrent plus efficaces que les lits courts et de grand diamètre.

Le tableau ci-dessous présente trois configurations de lit pour le séchage de l'air sur tamis moléculaire. Bien que toutes ces configurations soient fonctionnelles, il est important de noter que les lits de petit diamètre offrent une meilleure efficacité.

Tableau III.2. Vitesse et diamètre du lit

Tamis moléculaire	Capacité utile Adsorp d'eau(%)	Diamètres du lit (ft)	Haut du lit (ft)	Chute de P (PSI)
8900	10	4.5	12.1	4.3
9610	9.3	6	7.4	0.9
10200	8.7	7	5.8	0.4

IV-5-2- Teneur en adsorbat de l'effluent :

La capacité utile d'un lit adsorbant dépend également de la concentration d'adsorbat souhaitée dans l'effluent.

En effet, plus on cherche à réduire la concentration d'adsorbat dans l'effluent, plus la longueur de la zone de transfert de masse augmente.

Par conséquent, une faible concentration d'adsorbat se traduit par une capacité d'adsorption du lit diminuée.

IV-6- Les hydrates :

IV-6-1- Définition

Les hydrates sont des composés formés par l'association d'une molécule d'eau avec une autre molécule ou un ion, ce qui donne un solide cristallin à l'apparence de la glace, mais avec une structure différente.

IV-6-2- Les formules chimiques des hydrates

IV-6-2-1- Les hydrates des gaz de pétrole liquéfiés (GPL) présentent deux structures distinctes :

- **Structure I** : Les petites molécules, telles que le méthane (CH_4), l'éthane (C_2H_6) et l'hydrogène sulfuré (H_2S), forment des hydrates à structure cubique centrée.
- **Structure II** : Les molécules plus grandes, comme le propane (C_3H_8) et l'isobutane ($\text{i-C}_4\text{H}_{10}$), forment des hydrates à structure en diamant. [13]

IV-6-3- Les conditions de formations d'hydrates

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

IV-6-3-1- Les conditions primaires

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

IV-6-3-2- Les conditions secondaires

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

CHAPITRE III OPTIMISATION DE LA SECTION DE DESHYDRATATION

III.1 Problématique

Dans notre étude nous allons traiter 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 100ppm 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 de ce fait le tamis n'est pas totalement utilisé.

Le suivi de la teneur en eau dans le GPL à l'entrée du deshydrateur a été effectué sur une durée d'un mois suivant la courbe ci-dessous. Le problème persiste et est permanent et ceci conduit à de considérables pertes économiques vu que le lit d'adsorption travaille au-dessous de sa capacité d'adsorption.

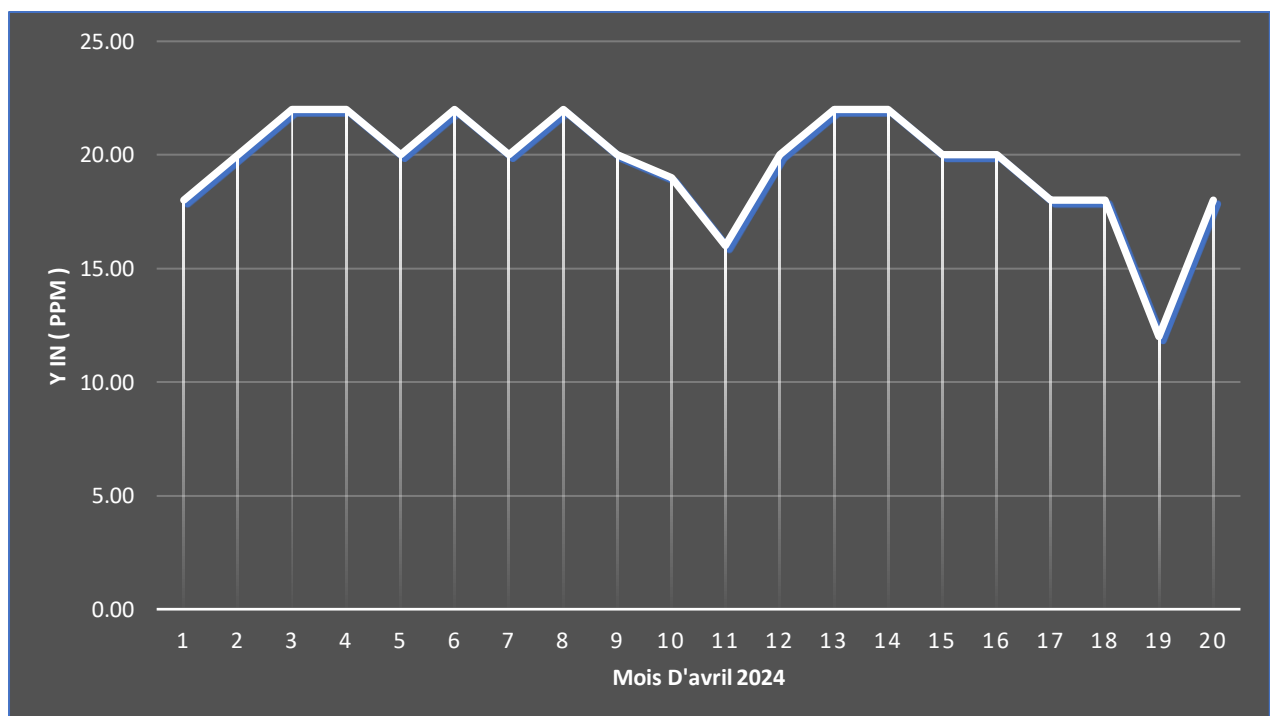


Figure III.1 : la variation de la teneur en eau dans la charge durant le mois d'avril 2024

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 les trois solutions qui sont les suivantes :

- la prolongation du temps d'adsorption.
- la réduction du temps de régénération
- la réduction de la masse du tamis moléculaire.

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

On choisira la solution qui nous permet le plus d'économiser de l'énergie et de préserver la durée de vie du dessiccant sans pour autant perturber la capacité de production et la qualité du produit final.

Il a été remarqué qu'il va y avoir moins de dépôt de coke sur la surface du tamis ; Grâce à la réduction du nombre de cycles de chauffage. Par conséquent la durée de vie du desséchant augment suite à cette diminution par ce qu'il va être moins exposé aux contraintes des séquences : dépressuration, pressurisation, chauffage, refroidissement.

III.1.1 Interprétation du Graphe

D'après les relevés qu'on a effectués durant la période de notre stage on a fait un bulletin d'analyse de la teneur en eau de la charge GPL à l'entrée du sécheur, on a fait le suivi pendant un mois « figure (III.1) » donc la concentration de la charge en eau ne dépasse pas les 25 ppm qui sont une teneur inférieure à la valeur design (100 ppm).

Donc le sécheur travaille bien au-dessous de sa capacité d'adsorption ; et ceci induit à des pertes considérables en énergie.

III.1.2 La Méthode de calcul

Le but de cette partie de travail est d'optimiser le fonctionnement de la section de déshydratation de la charge, en déterminant le temps d'adsorption nécessaire pour faire fonctionner l'adsorbeur 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, partie calcul comprend :

- Un bilan thermique.
- Un bilan de matière.

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 chapitre intitulé « Validité de la méthode » où les calculs seront faits pour un déshydrateur de charge fonctionnant selon le design. [2]

III.2 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. [2]

Tableau III.1 : La fiche technique du tamis moléculaire

Diamètre nominal des pores	4° A
Diamètre des particules	3.2 mm
Densité tassée	640kg/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

III.3 Les conditions opératoires d'adsorption / désorption (cas réel)

- ↳ Durée d'adsorption : 36 heures.
- ↳ Durée de régénération : 19 heures.
- Réchauffage = 11 heures.
- Refroidissement = 5 heures. [6]

III.4 Température d'entrée du gaz de régénération

Réchauffage T = 280°C.

Refroidissement T= 12.7°C. [6]

III.5 La théorie de calcul [2]

III.5.1 Le Bilan Energétique

III.5.1.1 Calcul de la quantité totale de chaleur nécessaire à la régénération

La quantité de chaleur nécessaire à la régénération est :

$$Q \text{ totale} = Q \text{ tamis} + Q \text{ acier} + Q \text{ des} + Q \text{ pertes} \dots\dots\dots(1)$$

$$Q \text{ totale} = Q \text{ tamis} + Q \text{ acier} + Q \text{ des} + Q \text{ pertes}$$

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 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).

III.5.1.2 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 :

$$Q \text{ des} = Mads * \Delta H \dots\dots\dots (2)$$

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

III.5.1.3 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis Q tamis

$$Q \text{ tamis} = mt * Cpt * (T - Tads) \dots\dots\dots (3)$$

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

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

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

Tads : La température d'adsorption (°F).

III.5.1.4 Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier Q acier

$$Q \text{ acier} = mc * CpC * (T - Tads) \dots\dots\dots(4)$$

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

Cpc : La capacité calorifique de l'acier (BTU / lb. °F).

III.5.1.5 Calcul des pertes de chaleur Q perte

$$Q \text{ pertes} = 0.1 * (Q \text{ des} + Q \text{ tamis} + Q \text{ acier}) \dots \dots \dots (5)$$

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

❖ Calcul de la température du lit « T » [2]

On peut l'obtenir par la relation suivante :

$$T = T_s - (T_e - T_s) / 2 \dots \dots \dots (6)$$

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

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

III.5.1.6 Calcul de la chaleur Hf fournie par le four [2]

$$H_f = Q_{\text{totale}} / (1/\epsilon) \dots \dots \dots (7)$$

(1/ε) : L'efficacité thermique de four.

III.5.1.7 Calcul du temps de réchauffage du tamis « tr » [2]

$$tr = H_f / (\Delta H (T_i - T_e) * M_g) \dots \dots \dots (8)$$

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

ΔH(Te– Tads) : La différence de l'enthalpie du gaz (BTU/Nm³).

tr : Le temps de chauffage (hr).

III.5.1.8 Calcul de la chaleur fournie par le four par Hf /cycle

$$H \text{ f/cycle} = (3 * H_f * tr) / \text{Cycle}$$

$$\text{Cycle} = 3 * \text{tads}$$

$$H \text{ f/cycle} = (H_f * tr) / \text{tads} \dots \dots \dots (9)$$

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

tads : le temps d'adsorption (hr).

III.5.1.9 Calcul du temps de refroidissement du tamis « tref »

$$t_{ref} = ((Q_{tamis} + Q_{acier}) / Q_{totale}) * t_{r} \dots\dots\dots(10)$$

III.5.1.10 Calcul de la chaleur soutirée au système Qref

$$Q_{ref} = (Q_{tamis} + Q_{acier}) / t_{ref} \dots\dots\dots(11)$$

III.6.1 Le bilan de matière de la régénération [2]

❖ Calcul du débit du gaz de refroidissement

Le débit du gaz de refroidissement est calculé comme suit :

$$M_{ref} = Q_{ref} / \Delta H(T_s - T_e) \dots\dots\dots(12)$$

$\Delta H(T_s - T_e)$: 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]**

III.6.2 Calcul de la chute de pression [2]

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

Ou :

$$\Delta P/L = A * VIS * U + B * \rho_{GN} * U^2 \dots\dots\dots(13)$$

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

VIS : 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]**

$$A = 0.0561, \quad B = 0.0000889.$$

III.6.3 Calcul du nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est calculé par la formule suivante :

$$Re = (G * D_p) / VIS \dots\dots\dots (14)$$

III.7 Validation de méthode

III.7.1 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.

⇒ Propriété du GPL

- ✓ Débit de traitement à 100% : $Q = 240 \text{ m}^3 / \text{hr} = 8675.09 \text{ ft}^3 / \text{hr}$
- ✓ $P = 30.7 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
- ✓ $T = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298.15 \text{ K}$

Tableau III.2 : Composition de la charge du GPL

COMPOSANT	Mi g/mole	Yi molaire %	Yi*Mi
C1	16.043	0.24	0.04
C2	30.07	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	72.15	0.20	0.14
n-C5	72.15	0.05	0.04

Poids moléculaire du GPL : $MGPL = \sum Yi*Mi$

$MGPL = 49.19 \text{ Kg} / \text{K mole}$

- ✓ Solubilité de l'eau dans le GPL à $T=25^\circ\text{C}$ (voir Annexe 3)
- ✓ 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 : $\rho_{GPL} = 530 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 33.09 \text{ Lb} / \text{ft}^3$.

III.7.2 Dimensionnement d'un deshydrateur [2]

III.7.2.1 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]

$$D_{\min} = [(4 * (\rho_{\text{GPL}} * Q) / (\pi * G))]^{0.5} \dots\dots\dots(15)$$

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 :

$$G = 3600 * (C * \rho_{\text{tamis}} * \rho * D_p)^{0.5} \dots\dots\dots(16)$$

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

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

C : Constante relative aux tamis moléculaire ($C = 1.06$)

❖ Application Numérique

$D_p = 0.01$ ft.

$\rho_{\text{tamis}} = 640$ kg/m³ = 40.02 Lb/ft³.

$\rho_{\text{GPL}} = 530$ kg / m³ = 33.09 Lb / ft³.

$g = 32.2$ ft / sec².

$C = 1.06$.

$G = 1.38 \cdot 10^6$ (lb / ft² .hr).

$Q = 240$ m³ / hr = 8675.09 ft³ /hr

$$D_{\min} = 5.2 \text{ ft} = 1.58 \text{ m}$$

$$G = 13476.03 \text{ Lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$$

❖ La hauteur total du lit

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

Avec :

$$H_t = H_s + H_z \dots\dots\dots (17)$$

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}) [12]**

$$U_{act} = Q / S$$

$$S = (\pi * D_L^2) / 4 \dots\dots\dots(18)$$

$$S = (3.14 * 5.22) / 4 = 21.226ft$$

D_L : le diamètre du lit. (D_L=2.1 m =6.89 ft).

$$U_{act} = 8652.1 (ft / hr) / 21.2269 (ft^2)$$

❖ **Calcul le debit d'eau**

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

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

$$H_z = (225 * q_{0.7895}) / (U_{0.5506} * Y_{0.2646}) \dots\dots\dots(20)$$

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

q_w : Le débit d'eau

$$U_{act} = 407.618 (ft/hr)$$

$$q_w = 0.77 (Lb / ft^2 .hr)$$

$$H_z = 18.82 inch = 1.56 ft = 0.47 m$$

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

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

$$H_s = 4.34 ft = 1.33 m$$

H_t : la hauteur total 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 [2]**

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

Saturation complète du tamis moléculaire. (Voir l'annexe 4).

$$X_s = (22 - X_1)$$

X₁ : la teneur en eau résiduelle, X₁ = 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.

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 $X_s = (22 - X_1) * 0.7$

$$\text{Alors : } \mathbf{X_s = 14.35 \text{ Lb d'eau / 100 Lb adsorbant}}$$

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

$$X = X_s * [1 - (C * (H_z / H_s))] \dots\dots\dots (22)$$

$$\mathbf{X = 12.02 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de dessicant}}$$

C : une constante empirique qu'on prend généralement égale à 0.45 et qui dépend de la forme des particules de tamis moléculaire. [12]

❖ **Estimation de la quantité d'eau adsorbée M ads**

$$M_{ads} = ((H_s - (C * H_z)) * (X_s * DL_2 * \rho_{tamis})) / 127.38 \dots\dots\dots (23)$$

$$\mathbf{M_{ads} = 1.11 \cdot 10^3 \text{ Lb}}$$

❖ **Calcul du temps d'adsorption**

$$t_{ads} = 0.01 * X * H_t * \rho_{tamis} / q_w$$

$$\mathbf{t_{ads} = 36.80 \text{ hr}}$$

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

$$\text{Eff} = X / X_s$$

$$\mathbf{EFF = 83.7}$$

III.7.2.2 calcul du bilan thermique [2]

❖ Propriété du gaz de régénération [7]

Tableau III.3 : La composition du gaz de régénération (cas réel)

Composant	Xi en mole	Tref (K)=12.7°C	Trec (K)=280°C	ΔH° (Kj/Kg)	Mi (Kg/Kmole)	Xi '% en poids	ΔH° *Xi ' (Kj/Kg)
C1	0.8386	285.85	553.15	698.30	16	0.72	500.69
C2	0.0743	285.85	553.15	599.60	30	0.12	71.42
C3	0.0186	285.85	553.15	586.64	44	0.04	25.66
iC4	0.0026	285.85	553.15	591.34	58	0.01	4.77
nC4	0.0008	285.85	553.15	592.58	58	0.00	1.47
iC5	0.004	285.85	553.15	585.59	72	0.02	9.01
nC5	0.0009	285.85	553.15	586.78	72	0.00	2.03
C6	0.0003	285.85	553.15	589.15	86	0.00	0.81
N2	0.0557	285.85	553.15	280.49	28	0.08	23.38
CO2	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

Poids moléculaire du GN : $MGN = \sum Y_i * M_i$.

$$MGN = 18.71 \text{ Kg / Kmole}$$

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

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

* Le gaz naturel de Refroidissement : T= 12.7 °C P = 4.5 kg / cm²

❖ Calcul de la masse volumique du GN dans les conditions normal ρGN

T=0 °C, P=1 atm.

$$\rho_{GN} = (P * MGN) / (Z * R * T)$$

Z =1.

MGN =18.71Kg/Kmole.

T = 0 °C =273.15 °K.

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

P=1.01351 kg / cm² = 1 atm.

R = 0.0821 l .atm / mole. °K

❖ **Calcul de l'enthalpie de chauffage du gaz de 12.7°C à 280°C [2]**

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

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

ΔH : l'enthalpie qui fournit par le four exprimée en (KJ / Kg), Tableau (III.3).

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 corrélation (**voir l'annexe 6**).

$$\Delta H = 640.66 \text{ KJ / Kg} = 2.75 \cdot 10^2 \text{ BTU/Lb}$$

❖ **Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage du tamis Q tamis**▪ **Calcul de la masse du tamis mt**

$$m_t = \frac{1}{4} \cdot (\pi \cdot D^2) \cdot H_t \cdot \rho_{\text{tamis}}$$

$$D_L = 2.1 \text{ m} = 6.89 \text{ ft}$$

$$m_t = 8812 \text{ Lb}$$

$$m_t = 10257.561 \text{ Lb} = 4652 \text{ Kg}$$

$$H_t = 2.1 \text{ m} = 6.89 \text{ ft}$$

$$\rho_{\text{tamis}} = 640 \text{ kg/m}^3 = 39.95 \text{ Lb/ft}^3$$

▪ **Calcul de la température moyenne du lit en fin de chauffage [2]**

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

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

⇒ D'après l'équation (6) : **[12]**

$$C_{pt} = 0.22 \text{ BTU/ Lb °f}$$

$$T = 253.5 \text{ °C} = 487.9 \text{ °F} = 526 \text{ °K}$$

$$m_t = 10257.56 \text{ Lb}$$

$$T = 253.5 \text{ °C} = 487.9 \text{ °F} = 526 \text{ °K}$$

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

⇒ D'après l'équation (3) :

$$Q_{\text{tamis}} = 7.13 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

▪ **Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage de l'acier****Calcul du volume de l'acier (Vc) [2]**

Avec :

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

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]

$$V_c = (\pi/4) * [(d + (2 * E_p))^2 - d_2] * L.$$

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

E_p : L'épaisseur de l'acier. $E_p = 0.12 \text{ ft} = 36.8 \text{ mm}$.

d : Le diamètre de l'acier.

$$d = 6.89 \text{ ft} = 2100 \text{ mm}.$$

$$L = 15.19 \text{ ft} = 4630 \text{ mm}.$$

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

Calcul de la masse de l'acier m_c

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

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

$$V_c = 40,12 \text{ ft}^3.$$

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

$$\rho_{acier} = 500 \text{ Lb} / \text{ft}^3$$

On doit ajouter la quantité d'acier relatives aux supports, aux pipes et aux brides estimées à 35% (accessoires)

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

C_{pc} : La capacité calorifique de l'acier (BTU / lb. °F) $C_{pc} = 0.12 \text{ BTU} / \text{lb. °F}$. [4].

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

⇒ D'après l'équation (4) :

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

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

La quantité d'eau adsorbée $M_{ads} = 1.11 \cdot 10^3 \text{ Lb}$.

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

⇒ D'après l'équation (4) :
$$Q_{des} = 2 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ **Calcul des pertes de chaleur Qperte**

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

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

$Q_{tamis} = 7.13 \cdot 10^5 \text{ BTU}$.

⇒ D'après l'équation (5) : **$Q_{perte} = 3.74 \cdot 10^5 \text{ BTU}$**

❖ **Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Qtotale**

⇒ D'après l'équation (1) : **$Q_{totale} = 4.11 \cdot 10^6 \text{ BTU}$**

❖ **Calcul de la chaleur fournie par le four pendant le réchauffage Hf [2]**

▪ **Calcul de l'efficacité thermique du four $1/\epsilon$ [2]**

Efficacité thermique du four pendant le réchauffage :

$1/\epsilon = 2.25 + (0.03113 \cdot T)$ **$1/\epsilon = 0.38$**

T : Temps de chauffage (hr).

▪ **Calcul de la chaleur totale fourni par le four lors de réchauffage Hf**

⇒ D'après l'équation (7) : à partir le tableau (III.1) :

$H_f = Q_{totale} / (1/\epsilon)$

$1/\epsilon = 0.38$ **$H_f = 1.08 \cdot 10^7 \text{ BTU}$**

$Q_{totale} = 4.11 \cdot 10^6 \text{ BTU}$.

▪ **Calcul du temps de réchauffage du tamis « tr » [12]**

Tableau III.4 : Représentation des données de réchauffage du tamis

Quantité de chaleur apportée par le GN : Hf (BTU)	1.08 107
Différence de L'enthalpie ($\Delta H (280-12.7) \text{ }^\circ\text{C} : \text{BTU} / \text{Nm}^3$)	1179,47
Masse volumique du $\rho_{GN} (\text{Lb}/ \text{Nm}^3)$	1,8298
Température finale (Tf : $^\circ\text{F}$)	536
Température initiale (Ti : $^\circ\text{F}$)	54,86

Pour ΔH en Kj/ Nm^3 : $\Delta H = \Delta H (\text{Kj/ Kg}) * \rho_{\text{GN}}$

$$\Delta H = 640.66 \text{ Kj/ Kg.} \quad \Delta H = 504,34 \text{ BTU/ Nm}^3$$

$$\rho_{\text{GN}} = 0.83 \text{ Kg/ Nm}^3 = 1,83 \text{ Lb/ Nm}^3.$$

\Rightarrow D'après l'équation (8) : $tr = H_f / \Delta H * MGN$

$$H_f = 1.08 \ 10^7 \text{ BTU}$$

$$\Delta H = 504,34 \text{ BTU/ Nm}^3. \quad tr = 10,7 \text{ hr}$$

$$MGN = 2000 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

H_f : La chaleur fournie par le four pour le GN exprimée en (BTU/ Nm^3).

MGN : Le débit du GN sortant du four exprimé en (Nm^3 / hr).

$\Delta H(T_e - T_{ads})$: La différence de l'enthalpie du gaz (BTU / Nm^3) [12]

❖ Calcul de la chaleur fournie par le four par de **H_f / CYCLE** [2]

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

$$H_f = 1.08 \ 10^7 \text{ BTU.}$$

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

\Rightarrow D'après l'équation (9) : $H_f / \text{CYCLE} = 3.14 \ 10^6 \text{ BTU}$

❖ Calcul du temps de refroidissement du tamis « tref »

\Rightarrow D'après l'équation (10) :

$$Q_{\text{totale}} = 4.11 \ 10^6 \text{ BTU.}$$

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

$$Q_{\text{tamis}} = 7.13 \ 10^5 \text{ BTU.} \quad t_{\text{ref}} = 4,53 \text{ hr} \cong 5 \text{ hr}$$

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

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

\Rightarrow D'après l'équation (11) :

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

$$Q_{\text{tamis}} = 7.13 \ 10^5 \text{ BTU.} \quad Q_{\text{ref}} = 3.85 \ 10^5 \text{ BTU/ hr}$$

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

III.7.2.3 Calcul du bilan de matière de la régénération [2]

❖ Calcul du débit du gaz de refroidissement

\Rightarrow D'après l'équation (12) $M_{\text{ref}} = Q_{\text{ref}} / \Delta H(T_s - T_e)$

$$Q_{\text{ref}} = 3.85 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr.}$$

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

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

$$M_{\text{ref}} = 7.6 \cdot 10^2 \text{ Nm}^3/\text{hr.}$$

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

❖ Calcul des pertes des charges [2]

Calcul de la perte de charge $\Delta P/L1$ 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

$$\rho_{\text{GN}} = (P \cdot M_{\text{GN}}) / (Z \cdot R \cdot T)$$

Calcul du coefficient de compressibilité (Z)

Le facteur de compressibilité est calculé par la formule suivante :

$$Z = 1.046 - (2.034 \cdot 10^{-9}) \cdot P + (4.571 \cdot 10^{-8}) \cdot P^2.$$

Avec P est la pression du travail exprimé en Psia.

$$Z = 1.03 \text{ Kg/m}^3.$$

$$Z = 1.03$$

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

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

$$P = 4.5 \text{ kg/cm}^2 = 4.44 \text{ atm.}$$

$$\rho_{\text{GN}} = 1.77 \text{ Kg/m}^3$$

$$R = 0.082 \text{ L. atm / mole. }^\circ\text{K.}$$

❖ Calcul de la vitesse superficielle $U1$ à Travers le lit [2]

$$S = (\pi \cdot D^2) / 4 = 5.411 \text{ ft}^2 \text{ (Voir l'annexe 2)}$$

$$\rho_{\text{GN}} = 1.77 \text{ Kg / Nm}^3 = 0.11 \text{ Lb / ft}^3.$$

$$M_g = 2000 \text{ Nm}^3 / \text{hr} = 3.68 \cdot 10^3 \text{ Lb / hr}$$

$$U1 = M_g / (60 \cdot S \cdot \rho_{\text{GN}})$$

$$U1 = 103.09 \text{ ft / min.}$$

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

Connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération :

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

$$d_r = \text{MGN} / \text{Mair} = 0.64.$$

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

$$\mu_1 = 0.02 \text{ Cp} = 0.043 \text{ Lb / ft .hr . (Voir annexes 6).}$$

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (13) :} \quad \Delta P/L1 = 0.22 \text{ psi / ft}$$

❖ **Calcul de Re_1**

$$D_p = 0.01 \text{ ft.}$$

$$\mu_1 = 0.02 \text{ Cp} = 0.04 \text{ Lb / ft .hr}$$

$$G = M_g / S = 680.37 \text{ Lb / ft}^2 \text{ .hr}$$

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (14) :} \quad \text{Rel} = 170.09$$

❖ **Calcul de la perte de charge $\Delta P/L_2$ pour le GN froid [2]**▪ **Calcul du coefficient de compressibilité (Z)**

$$Z = f(T_r, P_r) \quad [5] [11]$$

$$T_r = T / T_c$$

$$P_r = P / P_c$$

T_c, P_c : paramètres pseudo critiques.

T_r, P_r : température et pression réduites.

$$T_c = \sum Y_i * T_{ci} \quad T_c = 194.3^\circ\text{K.}$$

$$P_c = \sum y_i * P_{ci} \quad P_c = 45.12 \text{ atm}$$

$$Z = f(T_r = 1.47 ; P_r = 0.1).$$

$$\text{Et selon l'annexe (7 et 8) :} \quad Z = 0.91$$

$$Z = 0.91$$

$$\text{MGN} = 18.71 \text{ Kg / Kmole.}$$

$$T = 12.7^\circ\text{C} = 285.7 \text{ }^\circ\text{K.} \quad \rho_{\text{GN}} = 3.88 \text{ Kg/m}^3$$

$$P = 4.5 \text{ kg / cm}^2 = 4.44 \text{ atm.}$$

$$R = 0.082 \text{ l. atm / mole. }^\circ\text{K.}$$

❖ **Calcul de la vitesse superficielle U_2 à travers le lit [2]**

$$S = (\pi * D^2) / 4 = 5.411 \text{ ft}^2$$

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

$$M_g = M_{ref} = 760 \text{ Nm}^3 / \text{hr} = 1.4 \text{ 103 Lb / hr}$$

$$U_2 = M_g / (60 * S * \rho_{GN})$$

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

❖ Calcul de la viscosité du GN froid μ_2 [12]

▪ Calcul de la densité relative d_r et la pression de régénération

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

$$\text{Le densité relative : } d_r = M_{GN} / M_{air} = 0.64$$

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

$$\mu_2 = 0.01 \text{ Cp} = 0.03 \text{ Lb / ft} \cdot \text{hr. (Voir annexes 6).}$$

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (13) : } \Delta P / L_2 = 1.7 \cdot 10^{-2} \text{ psi / ft}$$

▪ Calcul de Re_2

$$D_p = 0.01 \text{ ft. (Voir annexes 2).}$$

$$\mu_2 = 0.03 \text{ Lb / ft.}$$

$$G = M_g / S = 258.73 \text{ lb / ft}^2 \cdot \text{hr}$$

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (14) : } Re_2 = 86.24$$

III.7.2.4 Récapitulation des résultats

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

Les valeurs calculées	Les valeurs de design
Mt = 4652.75 Kg	Mt = 4653 Kg
Ht = 2.1 m	Ht = 2.1 m
Hf = 2.72 * 10 ⁶ Kcal / hr	0.15 * 10 ⁶ < Hf < 3.3 * 10 ⁶ Kcal / hr
tr = 10.7 hr	tr = 11 hr
tref = 4.53 hr	tref = 5 hr
Mg = 2000 Nm ³ / hr Mref = 760 Nm ³ / hr	1000 < Débit < 2500 Nm ³ / 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 psi / ft
Re 1 = 170.09 Re 2 = 86.24	Re > 100
tads = 36.80 hr	tads = 36 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.

III.8 Etude de la première solution [2]

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

III.8.1 Calcul le débit d'eau

$$q_w = (4 * Y_{in} * Q * \rho_{GPL}) / (\pi * DL)$$

DL : le diamètre du lit. (DL=2.1 m =6.89 ft). (Voir annexes 7).

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} : la teneur en eau dans la charge de GPL, Y_{in} = 25 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.

III.8.2 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse

$$H_z = (225 * q_w^{0.7895}) / (U_{act}^{0.5506} * Y_{in}^{0.2646})$$

q_w : le débit d'eau en Lb/ft² .hr.

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

Y_{in} : la teneur en eau dans la charge de GPL, Y_{in} = 25 ppm

$$H z = 9.09 \text{ inch} = 0.75 \text{ ft} = 0.23 \text{ m}$$

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

III.8.3 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 ($H t = 2.1 \text{ m} = 6.89 \text{ ft}^3$). (Voir annexes 2).

$$M ads = 1187.69 \text{ Lb}$$

$X S$: la capacité d'adsorption à l'équilibre neuf à 25°C, $X S = 22 \%$ en poids (voir l'annexes 2).

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 $C=0.45$.

III.8.5 Calcul du temps d'adsorption

$$tads = Mads / (Yin * Q * \rho GPL)$$

$$tads = 164 \text{ hr}$$

$Y in$: la teneur en eau dans la charge de GPL,

ρGPL : Masse volumique de la charge (Lb/ ft³)

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

III.8.6 Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant (X)

$$X = Xs * [1 - (C * (H z / H s))]$$

$X S$: la capacité d'adsorption à l'équilibre neuf à 25°C,

$$X = 13.40 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de dessicant}$$

III.8.7 Détermination de l'efficacité d'adsorption

$$\text{Eff} = X / X_s$$

$$\text{EFF} = 93.36$$

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

III.8.8 Calcul du bilan thermique [2]**❖ Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q des**

La quantité d'eau adsorbée $M_{\text{ads}} = 1187,69 \text{ Lb}$.

La chaleur de désorption $\Delta H = 1800 \text{ BTU/Lb}$. (Voir annexes 2).

⇒ D'après l'équation (7) :

$$Q_{\text{des}} = 2.14 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ Calcul des pertes de chaleur Q perte

On estime les pertes par :

$$Q_{\text{perte}} = 0.1 (Q_{\text{acier}} + Q_{\text{des}} + Q_{\text{tamis}})$$

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

$$Q_{\text{tamis}} = 7.14 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

$$Q_{\text{des}} = 2.1 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

⇒ D'après l'équation (5) :

$$Q_{\text{perte}} = 3.88 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

Q des : la chaleur de désorption

Q tamis: la chaleur de chauffage du tamis

Q acier : la chaleur de chauffage de l'acier

❖ Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Q totale [2]

⇒ D'après l'équation (1) :

$$Q_{\text{totale}} = Q_{\text{perte}} + Q_{\text{acier}} + Q_{\text{des}} + Q_{\text{tamis}}$$

$$Q_{\text{totale}} = 4.27 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ Calcul de la chaleur fournie par le four H f [5].

⇒ D'après l'équation (7) :

$$H_f = Q_{\text{totale}} / (1/\varepsilon)$$

$$1/\varepsilon = 0.38$$

$$H_f = 1.12 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr}$$

$Q_{\text{totale}} = 4.27 \cdot 10^6 \text{ BTU}$

❖ **Calcul du temps de réchauffage du tamis « tr »**

⇒ D'après l'équation (8) :

$$tr = H_f / \Delta H \cdot MGN$$

MGN : La quantité de chaleur du 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 annexes 5).

$$H_f = 1.12 \cdot 10^7 \text{ BTU} / \text{hr}$$

$$\Delta H = 507,3 \text{ BTU} / \text{Nm}^3.$$

$$tr = 11.14 \text{ hr}$$

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

❖ **Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle H F/ cycle [2]**

$$tr = 11.14 \text{ hr}.$$

$$H_f = 1.12 \cdot 10^7 \text{ BTU} / \text{hr}.$$

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

⇒ D'après l'équation (9) :

$$H F / CYCLE = 7.63 \cdot 10^5 \text{ BTU} / \text{hr}$$

❖ **Calcul du temps de refroidissement du tamis « t ref »**

⇒ D'après l'équation (10) :

$$t_{ref} = ((Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{acier}}) / Q_{\text{totale}}) \cdot tr$$

$$Q_{\text{totale}} = 4.27 \cdot 10^6 \text{ BTU}.$$

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

$$T_{ref} = 4,55 \text{ hr} \cong 5 \text{ hr}$$

$$Q_{\text{tamis}} = 7.14 \cdot 10^5 \text{ BTU}.$$

$$Tr = 11.14 \text{ hr}.$$

❖ **Calcul de la chaleur soutirée au système Q ref [2]**

⇒ D'après l'équation (11) :

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

$$Q_{\text{tamis}} = 7.14 \cdot 10^5 \text{ BTU}.$$

$$Q_{ref} = 3.83 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr}$$

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

III.8.9 Calcul du bilan de matière de la régénération

❖ Calcul du débit du gaz de refroidissement [2]

⇒ D'après l'équation (12) :

$$M_{ref} = Q_{ref} / \Delta H(T_s - T_e)$$

M ref : Le débit du gaz de refroidissement (Lb/ hr).

Q ref : la chaleur soutirée au système. (BTU/ hr).

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

$\Delta H(T_s - T_e)$: La différence de l'enthalpie du gaz de refroidissement (BTU / Nm³)

$$Q_{ref} = 3.83 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr.}$$

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

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

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

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

III.8.10 Calcul des pertes de charges

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

❖ Calcul de la vitesse superficielle U_1 à travers le lit

$$S = (\pi * D^2) / 4 = 5,41 \text{ ft}^2$$

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

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

$$U_1 = M_g / (60 * S * \rho_{GN})$$

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

❖ Calcul de la viscosité du GN chaud μ_1 [12]

Connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération :

$$P = 450 \text{ Kpas.}$$

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

$$T = 280 \text{ °C.}$$

$$\mu_1 = 0,02 \text{ CP. (Annexe 6).}$$

⇒ D'après l'équation (13) :

$\Delta P/L$: 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

$DP = 0.01 \text{ ft.}$

$\mu_1 = 0.02CP = 0.04 \text{ Lb /ft. hr. (Voir annexes 5).}$

$G=Mg/S=680.37\text{Lb/ft}^2 \text{ .hr.}$

\Rightarrow D'après l'équation (14) :

$$\mathbf{Re_1 = 170.09}$$

❖ Calcul de la perte de charge $\Delta P/L_2$ pour le GN froid [2]

❖ Calcul de la vitesse superficielle U_2 à travers le lit

$S = (\pi * D^2) / 4 = 5.411 \text{ ft}^2.$

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

$M_g = M_{ref} = 760 \text{ Nm}^3 / \text{hr} = 1.4 \text{ 103 Lb / hr.}$

$U_2 = M_g / (60 * S * \rho_{GN}).$

$$\mathbf{U_2 = 17.96 \text{ ft /mn.}}$$

❖ Calcul de la viscosité du GN froid μ_2

Connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération :

$P = 450 \text{ Kpas.}$

$d_r = M_{GN} / M_{air} = 0.64$

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

$\mu_2 = 0.01 \text{ CP} = 0.03 \text{ Lb /ft .hr. (Voir annexes 5).}$

\Rightarrow D'après l'équation (13) :

❖ Calcul de Re_2

$DP = 0.01\text{ft (Voir annexes 2).}$

$\mu_2 = 0.01 \text{ CP} = 0.03 \text{ Lb / ft. hr.}$

$G=Mg/S=258.73 \text{ lb/ft}^2 \text{ .hr.}$

\Rightarrow D'après l'équation (14) :

$$\mathbf{Re_2 = 86.24}$$

III.8.11 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.

III.9 Etude de la deuxième solution

Cette solution est basée sur l'optimisation des paramètres de la régénération sans modifier le cycle d'adsorption (36 hr)

On veut étudier l'impact de du temps de chauffage sur la quantité de chaleur nécessaire à la régénération du sécheur est celle fournie par le four par cycle.

III.9.1 Calcul le débit d'eau [2]

$$q_w = (4 * Y_{in} * Q * \rho_{GPL}) / (\pi * DL)$$

Y_{in} : la teneur en eau dans la charge de GPL, $Y_{in} = 25$ ppm.

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

III.9.2 Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse [2]

$$H_z = (225 * q_w 0.7895) / (U_{act} 0.5506 * Y 0.2646).$$

$$H_z = 9.09 \text{ inch} = 0.75 \text{ ft} = 0.23 \text{ m}$$

III.9.3 Estimation de la quantité d'eau adsorbée M_{ads}

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

$$M_{ads} = 258.35 \text{ Lb}$$

III.9.4 Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre

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

$$H_s = 5.15 \text{ ft} = 1.56 \text{ m}$$

III.9.5 Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant (X)

$$X = X_s * [1 - (C * (H_z / H_s))]$$

$$X = 13,39 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de dessicant}$$

III.9.6 Détermination de l'efficacité d'adsorption

$$\text{Eff} = X / X_s$$

$$\text{EFF} = 0,93$$

III.9.7 Calcul du bilan thermique [2]**❖ Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q des**

La quantité d'eau adsorbée $M_{\text{ads}} = 258.35 \text{ Lb}$.

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

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (2)} : \quad Q_{\text{des}} = 4.65 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

❖ Calcul des pertes de chaleur Q perte

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

$$Q_{\text{tamis}} = 7.14 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$Q_{\text{des}} = 4.64 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (5)} : \quad Q_{\text{pertes}} = 2.21 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Q totale [2]

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (1)} : \quad Q_{\text{totale}} = 2.43 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

❖ Calcul de la chaleur fournie par le four H f [5]

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (7)} :$$

$$H_f = Q_{\text{totale}} / (1/\varepsilon)$$

$$1/\varepsilon = 0.3898.$$

$$H_f = 6.23 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

$$Q_{\text{totale}} = 2.43 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

❖ Calcul du temps de réchauffage du tamis « tr » [2]

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (8)} :$$

$$H_f = 6.23 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

$$\Delta H = 504.30 \text{ BTU/Nm}^3.$$

$$\text{tr} = 6,17 \text{ hr}$$

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

❖ **Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle HF/CYCLE [2]**

$$t_r = 6,17 \text{ hr.}$$

$$H_f = 6.23 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

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

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (9) :} \quad \mathbf{HF / CYCLE = 1.06 \cdot 10^6 \text{ BTU}}$$

❖ **Calcul du temps de refroidissement du tamis « t ref »**

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (10) :}$$

$$Q_{\text{totale}} = 2.43 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$\mathbf{T_{ref} = 4.4 \text{ hr}}$$

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

$$Q_{\text{tamis}} = 7.14 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$t_r = 6,13 \text{ hr}$$

❖ **Calcul de la chaleur soutirée au système Q ref**

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (11) :}$$

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

$$Q_{\text{tamis}} = 7.14 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$\mathbf{Q_{ref} = 3.9 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr}}$$

$$T_{ref} = 4.4 \text{ hr.}$$

III.9.8 Calcul du bilan de matière de la régénération [2]❖ **Calcul du débit du gaz de refroidissement**

$$\Rightarrow \text{D'après l'équation (12) :}$$

$$Q_{ref} = 3.9 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr.}$$

$$\mathbf{M_{ref} = Q_{ref} / \Delta H(T_s - T_e)}$$

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

$$\mathbf{M_{ref} = 768.59 \text{ Nm}^3 / \text{hr.}}$$

$$T_s = 227 \text{ }^\circ\text{C} = 440.6 \text{ }^\circ\text{F} = 500 \text{ }^\circ\text{K.}$$

$$T_e = 12.7 \text{ }^\circ\text{C} = 54.86 \text{ }^\circ\text{F} = 285.7 \text{ }^\circ\text{K.}$$

III.9.9 Interprétation des résultats

Selon les résultats obtenus, il est clairement appaissant que la durée de régénération est modifiée, une diminution du temps de chauffage jusqu'à 6 heures 10 minutes et une durée de 4 heures 24 minutes pour le refroidissement sans perturber la durée du cycle d'adsorption de 36 heures.

Cette modification présente une économie moins importante d'énergie fournie par le four par cycle de fonctionnement puisque la même quantité de gaz naturel que pour le cycle d'adsorption de 36 hr dépensée pour un cycle d'adsorption plus long.

Au cours de l'étape d'adsorption, les dessiccant sont chargés d'humidité ceci se traduit à l'équilibre par un état de saturation, le dessiccant saturé n'adsorbe plus, une régénération doit succéder au chargement au cours de cette dernière, l'humidité est éliminée par un chauffage ; et dans notre cas où le lit n'est pas totalement saturé le chauffage de la partie sèche du lit devient inutile et peut provoquer la dégradation du tamis et par conséquent diminution de son efficacité ; ce résultat est vérifié quel que soit la teneur d'eau dans la charge.

III.10 Interprétation et Choix de la Solution Optimale

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.

III.11 Comparaison entre les deux Solutions Optimales

III.11.1 Première solution

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

Les résultats obtenus sont représentés sur le tableau III.6.

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

Teneur en eau en ppm	100	80	60	40	25
Temps d'adsorption	36	47.23	64.77	100.05	164
Temps de Réchauffage	11	11	11	11	11
Nombre d'heures par ans	8760	8760	8760	8760	8760
Débit de Réchauffage	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	22000	22000	22000	22000	22000
Quantité de GN pour le réchauffage pendant un an	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.

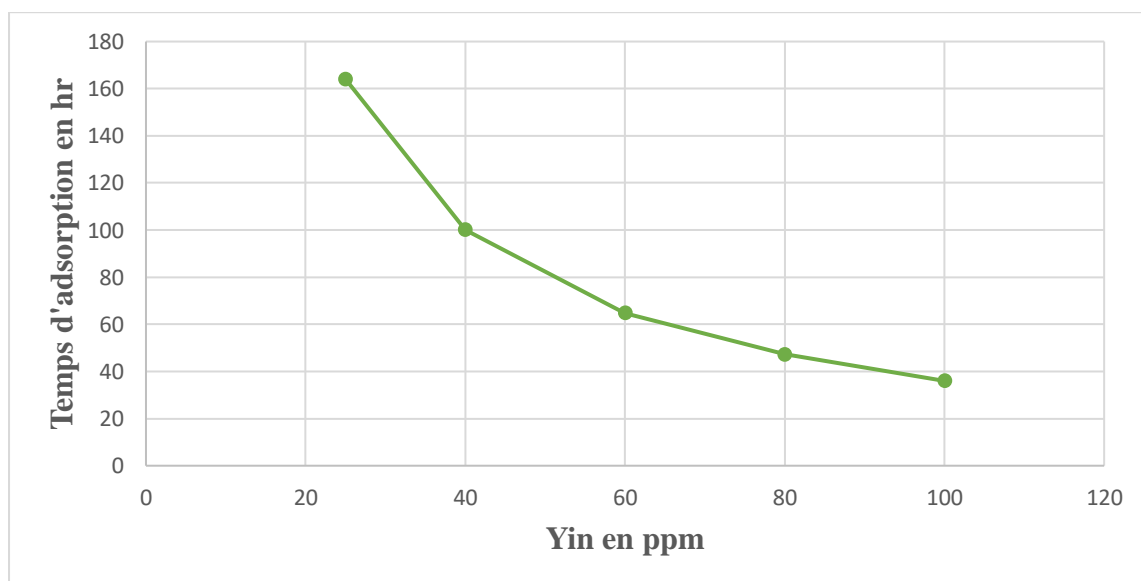


Figure III.2 : le temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau.

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.

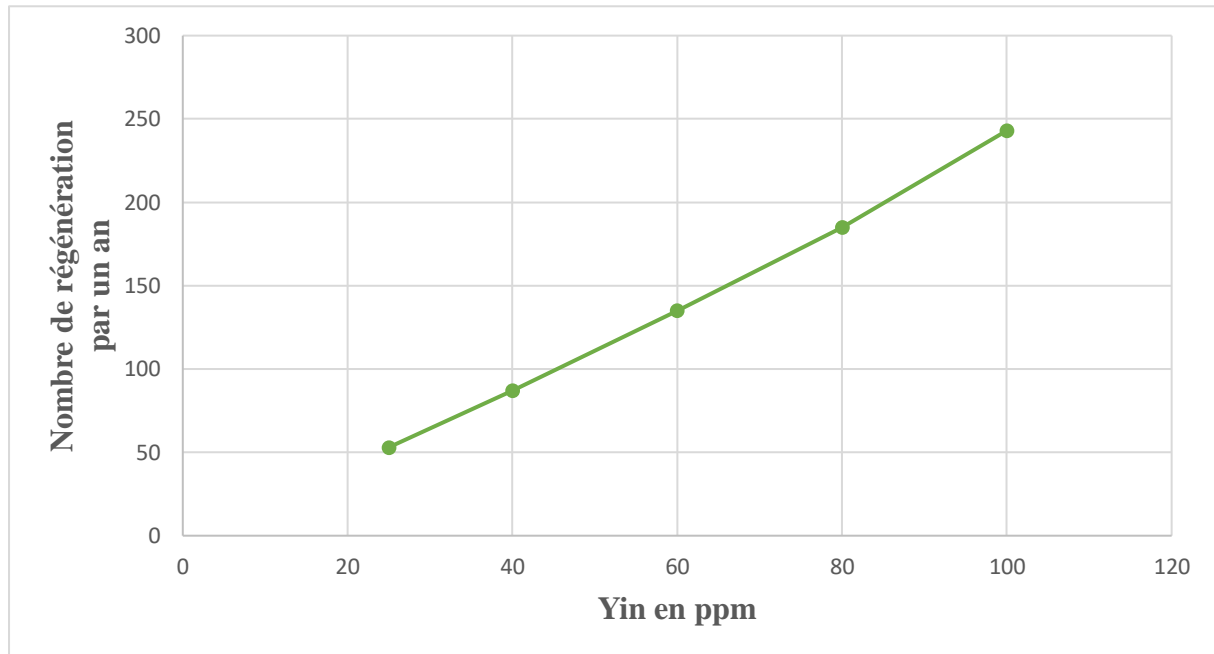


Figure III.3 : le nombre de régénération par an en fonction de la teneur en eau.

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

III.11.2 Deuxième solution

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

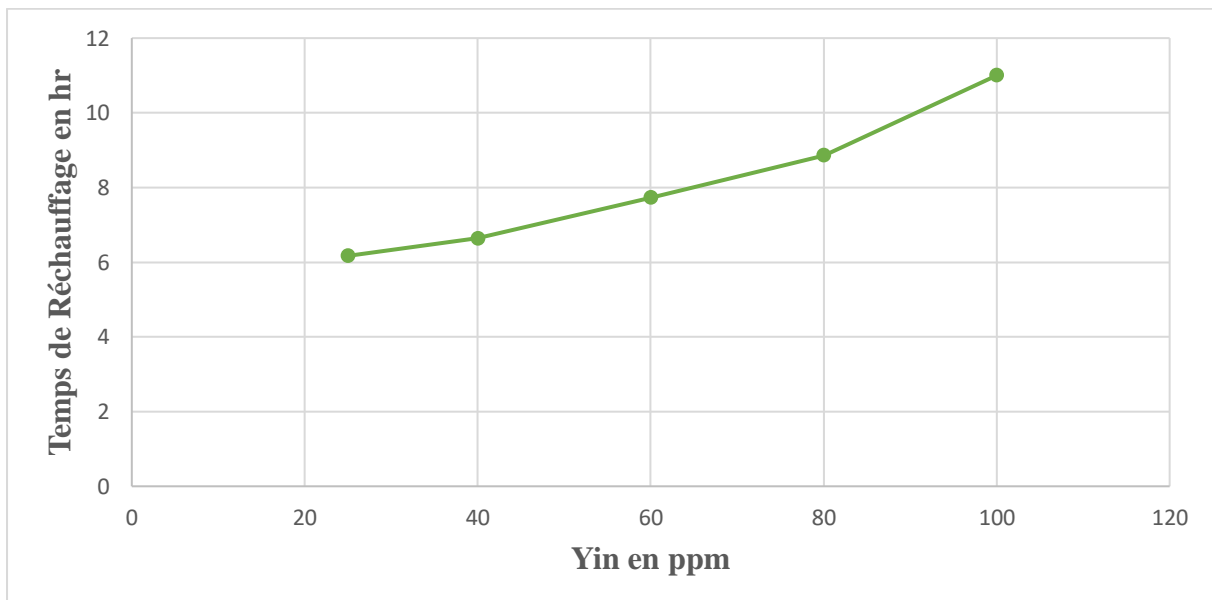
Les résultats obtenus sont montrés par le tableau III.7

Tableau III.7 : La variation du temps de régénération en fonction de la teneur en eau

Teneur en eau en ppm	100	80	60	40	25
Temps d'adsorption	36	36	36	36	36
Temps de Réchauffage	11	8.86	7.73	6.64	6.17
Nombre d'heures par ans	8760	8760	8760	8760	8760
Débit de Réchauffage	2000	2000	2000	2000	2000
Nombre de régénération par un an	243	243	243	243	243
Quantité de GN pour le réchauffage pendant une régénération	22000	17720	15460	13280	12340
Quantité de GN pour le réchauffage pendant un an	5346000	4305960	3756780	3227040	2998620
Gain en GN par ans et par train en Nm ³		1040040	1589220	2118960	2347380

pour un temps d'adsorption fixé.

Le temps de chauffage calculé en fonction de la teneur en eau dans la charge, tout en gardant le temps d'adsorption fixé à 36 h, est illustré par la figure suivante.

**Figure III.4 : Le temps de réchauffage en fonction de la teneur en eau.**

Nous remarquons que le temps de réchauffage diminue proportionnellement avec la diminution de la teneur en eau dans la charge GPL. Cela n'implique que l'énergie dépensée pour la séquence de chauffage diminue en fonction de la diminution du temps de chauffage et par conséquent en fonction de la diminution de la teneur en eau dans la charge GPL. La figure ci-dessous montre cette conclusion.

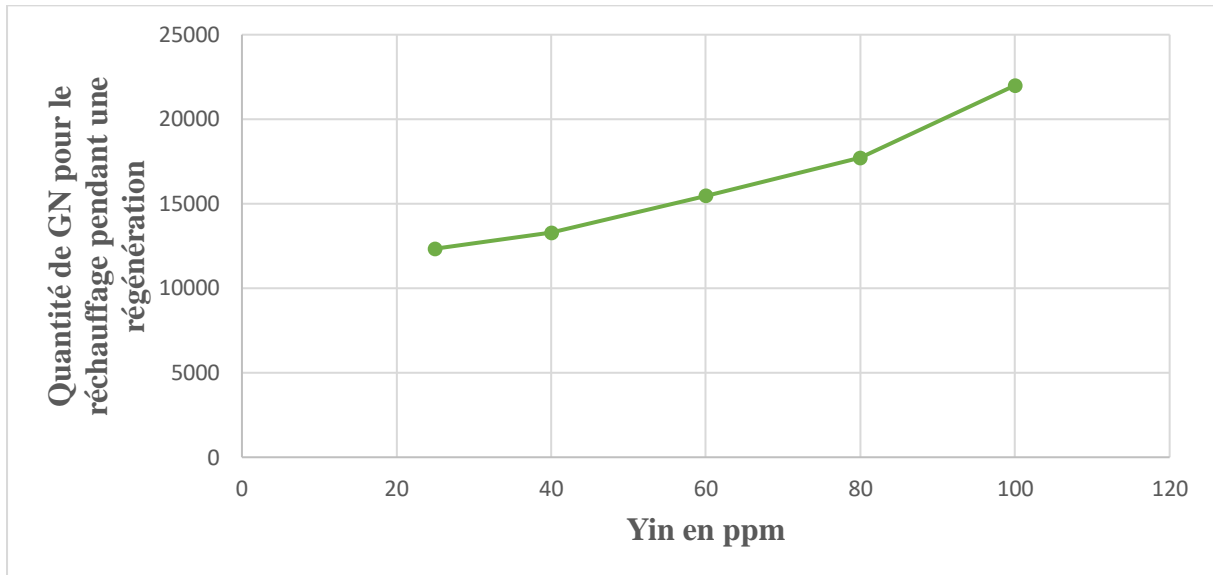


Figure III.5 : Quantité de GN utilisée pendant une régénération en fonction de la teneur en eau pour la deuxième solution.

CHAPITRE IV ETUDE ECONOMIQUE

VII-1- Calcul économique

Notre étude se conclut par une analyse économique détaillée, quantifiant les gains substantiels que le complexe GP1/Z peut réaliser en mettant en œuvre nos recommandations. [14]

VII-2-Etude économique des résultats de la solution optimale**VII-2-1- Gain en gaz naturel**

Pour un cycle d'adsorption de 200 heures (pour une teneur en eau à l'entrée du déshydrateur de charge égale à 25 ppm maximal et une teneur à la sortie de l'ordre de 1 ppm on a trouvé que le temps d'adsorption s'élève à 200 hr) est détaillé ci-dessous

- Le nombre de cycle /mois = nombre d'heures par mois / durée d'un cycle = $720 / 219 = 4.0$ cycles.
- (10.71 heures de réchauffage et 4.76 heures de refroidissement).
- Le débit horaire de GN durant :
Le chauffage : $2000 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$
Le refroidissement : $781.45 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$.
- Le nombre de cycle actuel = $720 / (36 + 19) = 720 / 55 = 13.09$ cycles.
- Le nombre de cycle gagnés par mois pour un train = (nombre de cycle actuel – le nombre de cycle plus long) = $13.09 - 4.0 = 9.11$ cycles.
- Le gain en GN chaud pour un train par mois = $9.11 * 10.71 * 2000 = 195136.2 \text{ Nm}^3$
- Et pour 9 trains = $195136.2 * 9 = 1756622.8 \text{ Nm}^3$.
- Le gain en GN froid pour un train par mois = $9.11 * 4.76 * 781.45 = 33886.48 \text{ Nm}^3 / \text{mois}$,
et pour 9 trains = $33886.48 * 9 = 304978.367 \text{ Nm}^3$
- $1.069 \text{ Nm}^3 = 1 \text{ Contra m}^3$
- Prix unitaire du GN : $10^3 \text{ C/m}^3 = 1341.39 \text{ DA}$
- Le gain en GN pour 9 trains par mois (sur la base d'un prix unitaire de 1380.29 DA pour 1 Nm^3 . Soit 1.255 DA pour Nm^3 / hr)
Le GN de chauffage : $1.255 * 1756622.8 = 2.20 * 10^6 \text{ DA}$.
Le GN de refroidissement : $1.255 * 304978.367 = 0.38 * 10^6 \text{ DA}$.

La moitié de la quantité du GN de régénération est récupérée au niveau du four. Ainsi le gain réel mensuel pour un train sera : $= \frac{1}{2} * (2.20 + 0.38) * 10^6 = 1.29 * 10^6 \text{ DA}$

- Le gain réel annuel pour 9 trains par an = $12 * 1.29 * 10^6 = 15.5 * 10^6 \text{ DA}$. [11]

VII-2-2- Gain sur la vie du tamis moléculaire

- La quantité totale de tamis moléculaire d'un déshydrateur est de 4 660.93 kg
- Le prix du tamis est de 275.88 DA/kg.
- Un déshydrateur revient 1 285 857.36 DA (4660.93×275.88).
- La durée de vie actuelle du tamis moléculaire est de 3 ans
- Le changement des tamis de la phase I se fait tous les 9 ans du fait qu'il y a 3 déshydrateurs par train.
- Le changement des tamis de la phase II se fait tous les 6 ans du fait qu'il y a 2 déshydrateurs par train.
- Le changement des tamis de la phase III se fait tous les 9 ans du fait qu'il y a 3 déshydrateurs par train.
- Le coût de l'opération de changement du tamis moléculaire d'un déshydrateur chaque année revient :
 - Pour la phase I 142 873 DA ($1\,285\,857/9$).
 - Pour la phase II 214 309 DA ($1\,285\,857/6$).
 - Pour la phase III 142 873 DA ($1\,285\,857/9$).
- Avec un cycle d'adsorption de 219 heures (200 heure adsorption et 19 heures de régénération) pour un déshydrateur :
 - le tamis moléculaire de la phase I avec le nouveau cycle reviendrait à 35881 DA ($142\,873 \times 55/219$) soit un gain annuel de 106 991 DA ($142\,873 - 35881$).
 - Le tamis moléculaire de la phase II avec le nouveau cycle reviendrait à 53821 DA ($214\,309 \times 55/219$). Soit un gain annuel de 160 478 DA ($214\,309 - 53821$).
 - Le tamis moléculaire de la phase III avec le nouveau cycle reviendrait à 35881 DA ($142\,873 \times 55/181$) soit un gain annuel de 106 991 DA ($142\,873 - 35881$).
- Un gain annuel total pour le complexe de 2887763 DA ($106\,991 \times 12 + 160\,478 \times 4 + 106\,991 \times 9$).

Tableau VII.1. Récapitulation des résu

	cycle calculé
Gain réel en GN annuel pour 9 trains par an en DA	15.5 10 ⁶
Gain en vie des tamis annuel total pour le complexe en DA	2.88 10 ⁶

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Les sources d'énergie occupent une place prépondérante dans l'économie nationale. Par conséquent, toute perte d'énergie, quelle que soit son origine ou son ampleur, se répercute directement sur les coûts d'exploitation et la qualité des produits finis.

Dans cette optique, le complexe GP1/Z accorde une grande importance à la réduction de la teneur en eau dans son alimentation en gaz. L'objectif est de passer d'une valeur maximale de 100 ppm à seulement 1 ppm dans la section de déshydratation.

Notre stage a consisté à analyser ce problème et à rechercher des solutions pour optimiser les paramètres de fonctionnement de la section déshydratation. Nos travaux ont mis en évidence qu'un allongement du temps d'adsorption permet de réaliser des économies d'énergie substantielles. En effet, la même quantité de gaz naturel est utilisée sur un cycle plus long, ce qui se traduit par une consommation globale réduite.

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.

Cette optimisation nous permettra d'économisée une quantité de GN de $(2.74 \cdot 10^7 \text{ Nm}^3)$ qui se traduit par une valeur annuelle de $(15.5 \cdot 10^6 \text{ DA})$.

Et un gain annuel de valeur de $2,88 \cdot 10^6 \text{ DA}$ pour les tamis moléculaire.

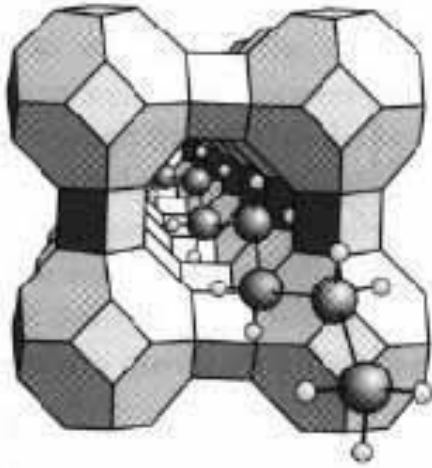
Références bibliographiques

Références bibliographiques

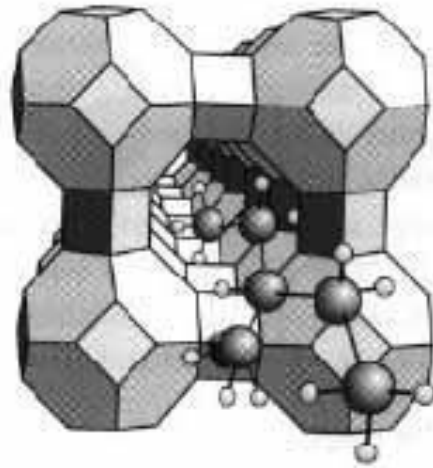
- [1]. Polycopie I.A.P “propane liquide déshydratation usine moléculaire Seive”
- [2]. Manuel opératoire; process: volume 1 et 2.
Document GP1-Z
- [3]. Catalogue mécanique; manuel: volume 1.
Document GP1-Z
- [4]. Manuel opératoire; section déshydratation.
Document GP1-Z
- [5]. Formation perfectionnement 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; propriétés des 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 Weterman Institut of gas technology Chicago
- [15]. Kohl & Richard - Gas Purification.

ANNEXES

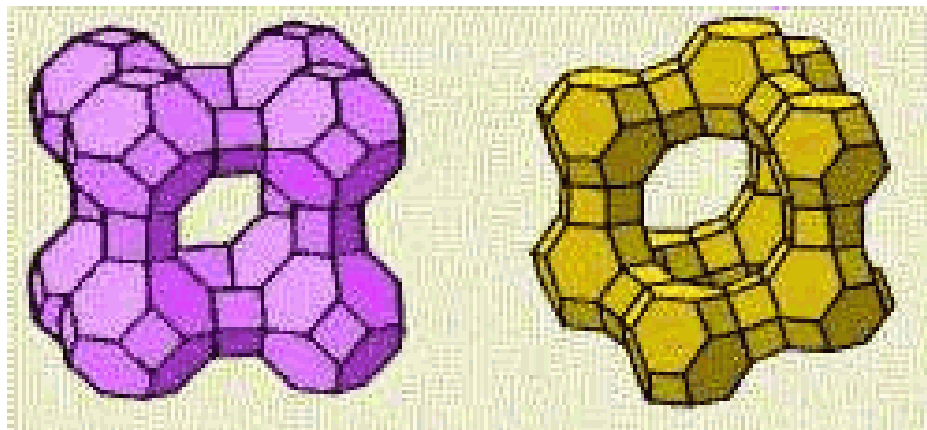
Annexe 1 : Tamis moléculaires



Structure de zéolithe de type A

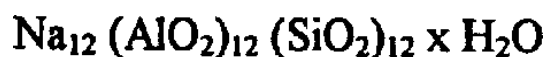


Structure de zéolithe de type X



Annexe 2 : PROPRIETES PHYSIQUE DE L'ADSORBANT

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.

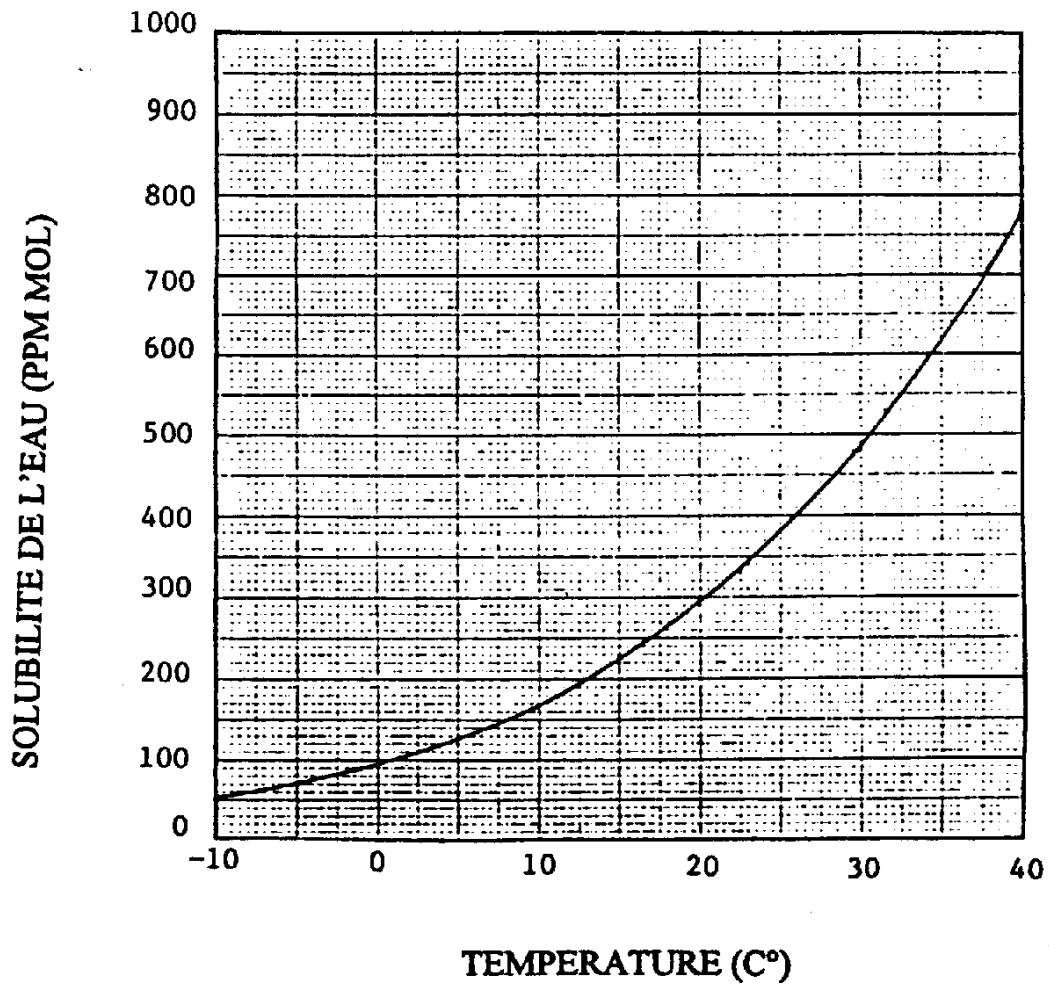
Propriétés typiques	Granulés 1/8"
Diamètre nominal des pores	4 angströms
Densité "non tassé" (moyenne)	640 kg/cm ³
Densité "tasse"	624 à 657 kg/m ³
Diamètre particule	3,2 mm
Résistance à l'écrasement	6,8 à 7,7 kg
Chaleur d'adsorption (max.)	1.000 kcal/kg H ₂ O
Capacité en eau à l'équilibre*	22% en poids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

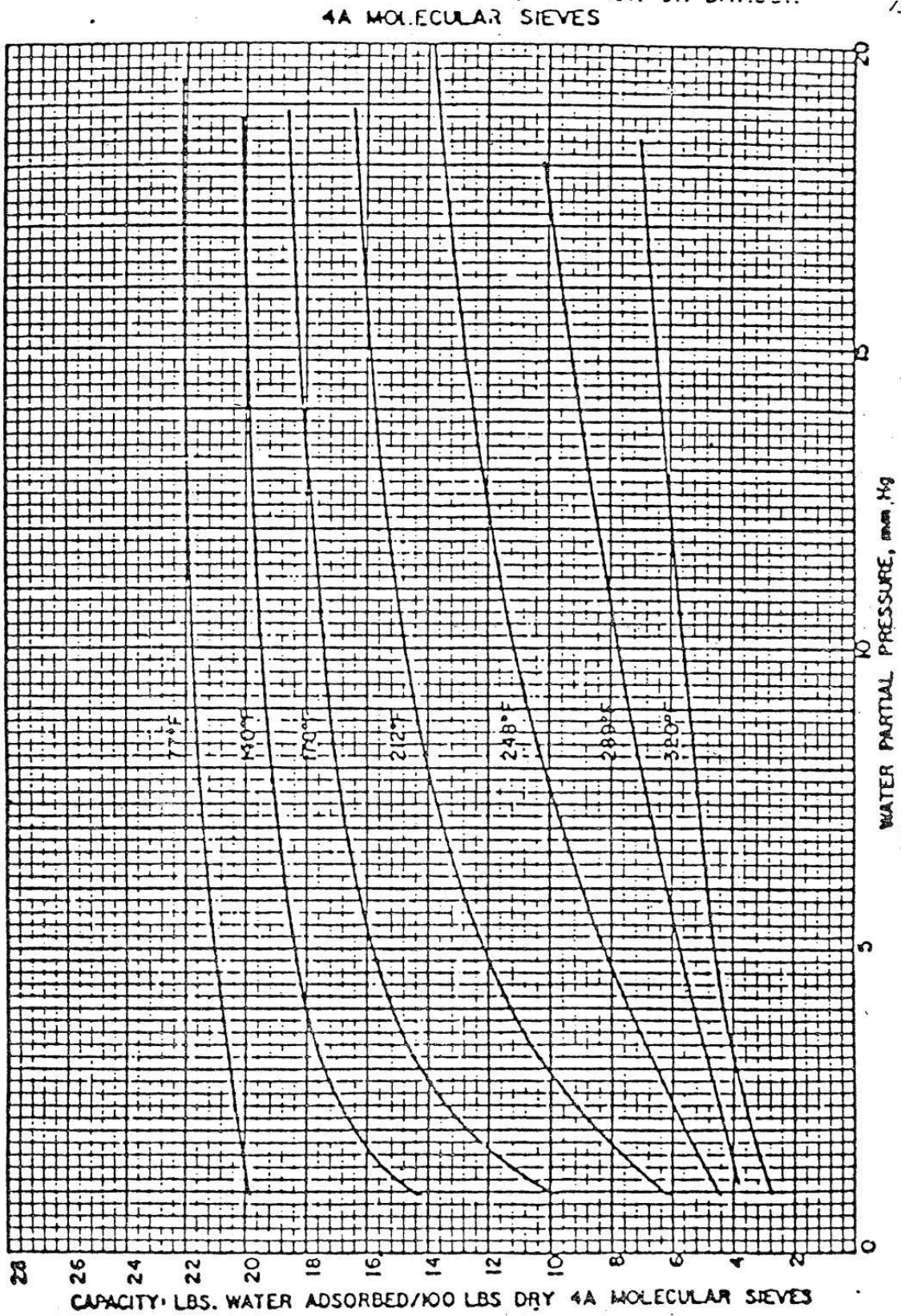
Annexe 3 : solubilité de l'eau dans la charge

SOLUBILITE DE L'EAU DANS LA CHARGE DE GPL

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



Annexe 4 : Capacité d'adsorption de l'eau en fonction de température



Annexe 5 : 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.

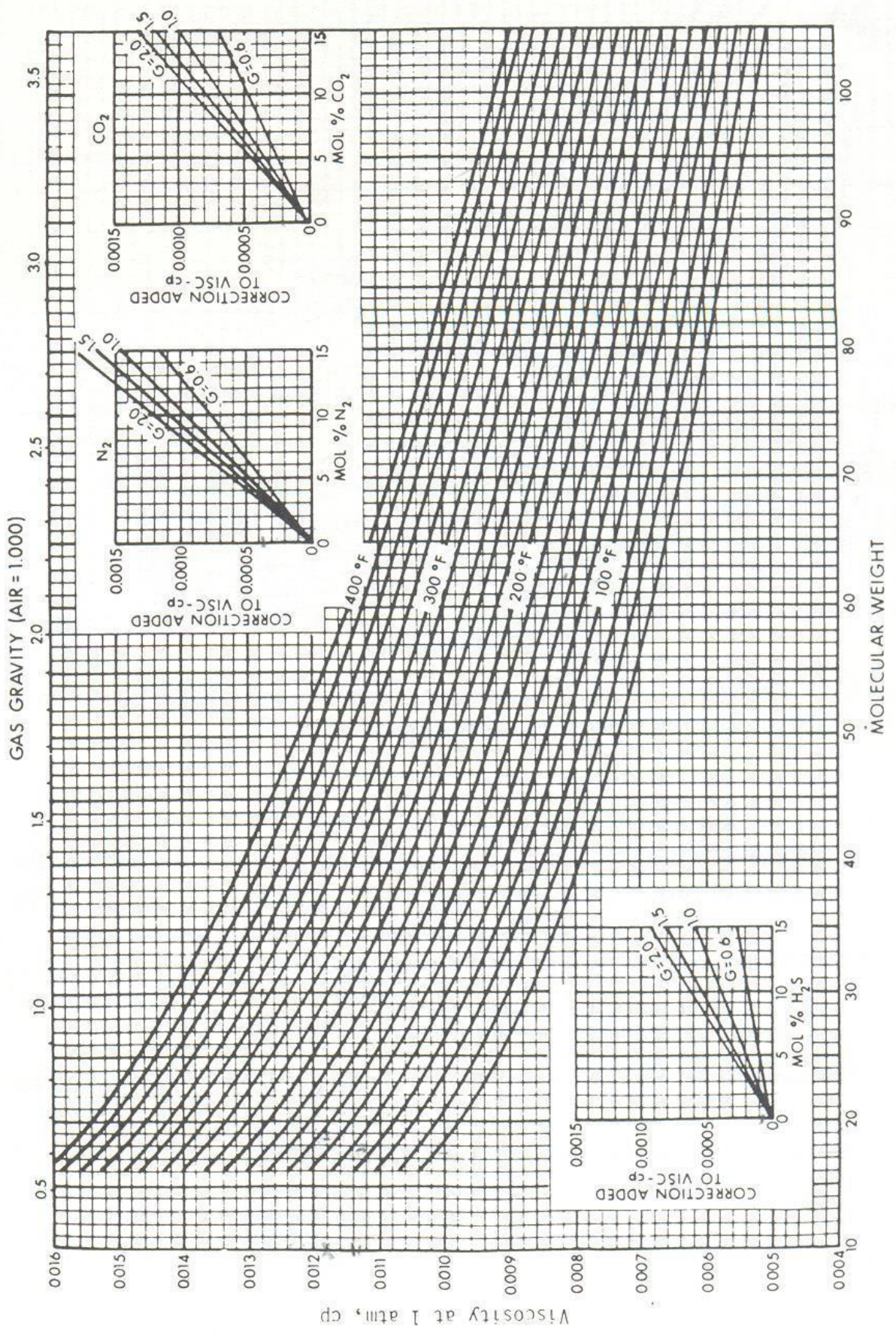
No. CPT	Composant	A	B	C x 10 ³	D x 10 ⁶	E x 10 ⁸	F x 10 ¹⁰	G	Intervalle °C
<i>Non-Hydrocarbures</i>									
1	Oxygène	-2,283574	0,952440	-0,281140	0,655223	-0,452316	1,087744	2,080310	-175 to 1200
2	Hydrogène	28,671997	13,396156	2,960131	-3,980744	2,661667	-6,099863	-11,801371	-175 to 1200
3	Eau	-5,729915	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-Undécane	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.

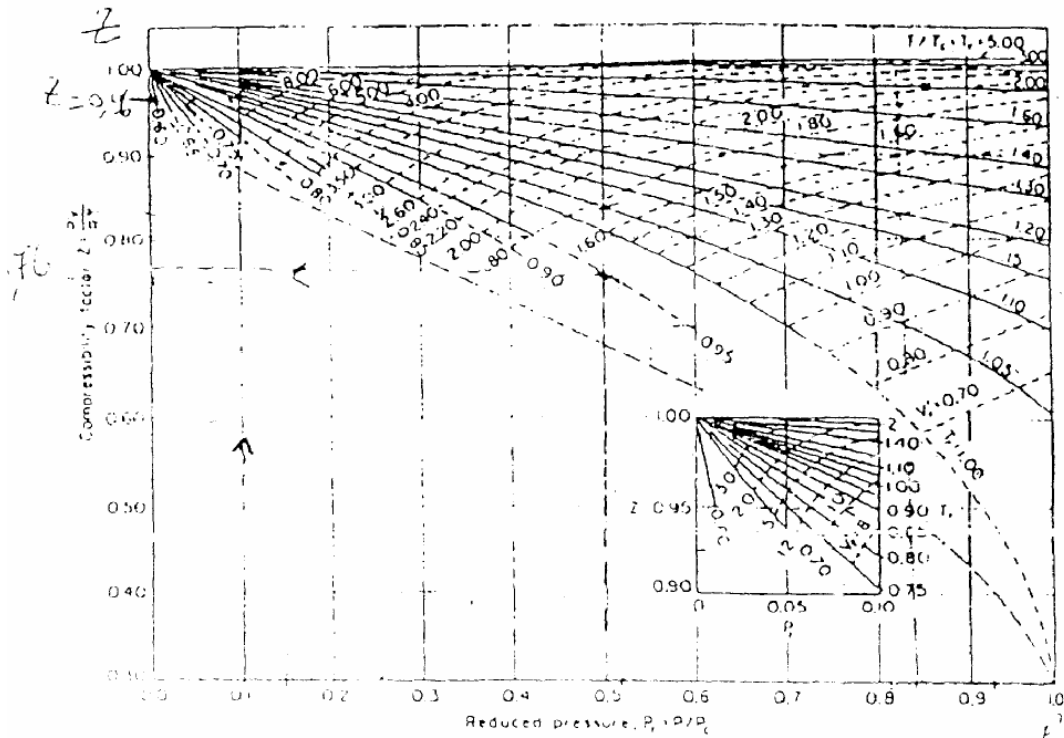
S = 1 kJ/kg K pour le gaz parfait à 0 K et 1 kPa

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

Annexe 6 : La viscosité μ_g du gaz à la pression et température d'intérêt.



Annexe 7



12. Generalized compressibility charts

$$\frac{v}{RT_c} = \frac{Z}{T_r}$$

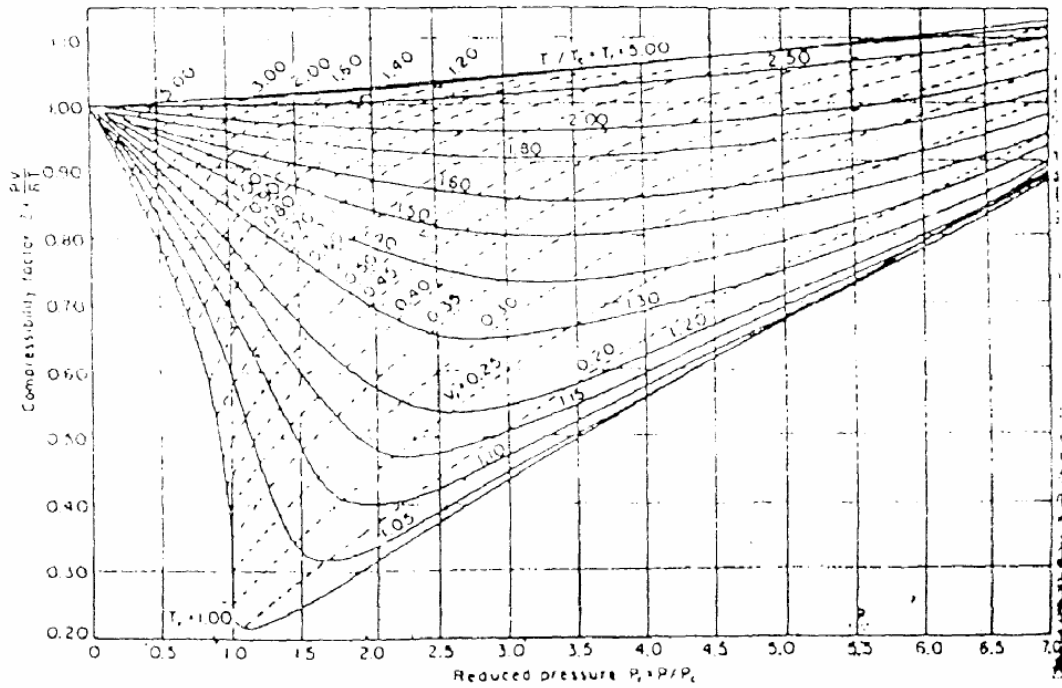


Figure VI- Détermination du coefficient de compressibilité Z.

Annexe 8 : 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	Compound	Formula	A.		B.		C.		D.			Number
			Molar mass (molecular weight)	Boiling point, °F 14.696 psia	Vapor pressure, psia 100 °F	Freezing point, °F 14.696 psia	Refractive index, n_D 60 °F	Critical constants				
								Pressure, psia	Temperature, °F	Volume, ft ³ /lb		
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	

9/15/95