



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES



N° Ordre : M.....GP/2019

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Option : GENIE PETROCHIMIQUE

Par

LIDRICI Khadidja

Intitulé du sujet

**Optimisation du fonctionnement de la
section déshydratation du complexe GP1Z**

Soutenue le : 23-06-2019 devant le jury composé de :

Présidente :	MAHREZ Nouria	MCB	Université de Mostaganem
Examinatrice :	DOUARA Nadia	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	CHERID Samira	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2018/2019

REMERCIEMENTS

Je désire exprimer mon profonde et vive reconnaissance à mon encadreur, **M^{me} CHERID SAMIRA**, qui a mis toute sa compétence à ma disposition, pour ces directives et Conseils judicieux et pour son suivi régulier à l'élaboration de ce modeste travail.

Je tiens à remercier également les membres du jury **M^{me} MAHREZ Nouria** et **M^{me} DOUARA Nadia** pour leur patience et leurs remarques précises .

Je tiens à remercier également mon encadreur de GP1 /Z **M^r HAMADOUCH Djamel** et **M^r BENSOUA** pour leurs aide et pour leurs suivi durant la période du stage PFE.

En remerciant aussi l'ensemble des enseignants de la faculté de Mostaganem, sans oublier tous le staff du complexe GP1 /Z d'Arzew pour leur coopération.

Dédicace

Je remercie le bon dieu de m'avoir donné le courage d'accomplir ce travail.

Tout d'abord je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents,

A mes frères,

A mes sœurs Malika et Fatima,

A mes cousins & cousines,

A mes amis Bouchra, Wahiba et Rouba,

Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

PARTIE THEORIQUE

Chapitre I : présentation du complexe GP1Z

I-1-Généralités.....	3
I-2-Les installations du complexe GP1Z.....	4
I-2-1-Les installations de stockage d'alimentation.....	4
I-2-2-Les installations de production GPL.....	5
- section de déshydratation	5
- section de séparation de GPL	5
>>Le fractionnateur	5
>>Le dééthaniseur.....	5
>>Le dépenthaniseur.....	6
- section de réfrigération.....	6
- section de l'huile chaude.....	6
I-2-3- Les installations de stockage des produits finis	6
>>Section de stockage des produit finis.....	6
>>Section de récupération des gaz évaporés (BOG).....	7
I-2-4-Les installations de chargements	7
>>Section de chargement de bateaux a basse température.....	7
>>Section de Chargement de Camions à Température Ambiante	7
I-2-5-Les installations de d'utilité	8
I-3- Notions et générales sur les GPL.....	8
I-3-1-L'origine des GPL	8
I-3-2-Les caractéristiques des GPL	8
I-3-3-L'utilisation des GPL.....	10
I-3-4- Risques des GPL	11

Chapitre II : Section de déshydratation de charge

II-1-Généralités.....	12
II-2-Le cycle de régénération.....	12
II-2-1-Drainage	13
II-2-2-Dépressurisation	13
II-2-3-Chauffage	13
II-2-4-Refroidissement	14
II-2-5-Remise de pression	15
II-2-6-Remplissage de liquide	15

Chapitre III : Les modes de déshydratation et tamis moléculaires

III-1-Généralités	17
III-2- les modes de déshydratation	17
III-2-1-Inhibition par injection d'inhibiteur de formation.....	17
- d'hydrates	17
- Injection de glycol	17
- injection de méthanol.....	17
III-2-2-Déshydratation par absorption dans un liquide.....	18
III-2-3-déshydratation par adsorption sur un desséchant solide.....	18
-Généralités	18
- Description du phénomène d'adsorption	18
- La zone de transfert de masse (ZMT)	19
-Principaux adsorbant	21
>>silicagel	21
>>alumine activée	21
>>L'aluminagel.....	22
>>charbon actif	22
>>tamis moléculaire	22
III-3-1-Généralités.....	23
-Adsorption dynamique	25
-Concept de la zone de transfert de masse	25
-Effet des variables de conception du lit.....	26
>>vitesse et diamètre de lit.....	26

>>Teneur en adsorbat de l'effluent.....	26
-Les hydrates.....	27
>>Définition.....	27
>>Les formules chimiques des hydrates.....	27
>>Les conditions de formations d'hydrates.....	27
-les conditions primaires.....	27
-les conditions secondaires.....	27

PARTIE PRATIQUE

Chapitre IV : Présentation du problème et la méthode de calcul

IV-1-Introduction	28
IV-2-Interprétation des graphes.....	29
IV-3-méthode de calcul	30
IV-4-Constitution d'un deshydrateur de charge.....	30
IV-5-La théorie de calcul.....	31
IV-5-1- Bilan énergétique	31
IV-5-2-Bilan de matière de régénération.....	34

Chapitre V : la validité de la méthode

V-1-Le dimensionnement d'un déshydrateur.....	35
V-1-1-Calcul de la quantité d'eau adsorbée.....	36
V-2-Calcul du bilan thermique.....	40
V-3-Calcul du bilan de matière de la régénération.....	46
V-4-Récapitulations des résultats	49

Chapitre VI : Etude des solutions

VI-1-Etude de la première solution.....	51
VI-2- Etude de la deuxième solution.....	59
VI-3- Etude de la troisième solution.....	63
VI-4-Choix de la Solution Optimale.....	66
VI-5-Comparaison entre les deux Solutions Optimales	68

VI-6-Représentation graphique des avantages de solution optimale	68
VI-6-1-prolongation du temps d'adsorption.....	68
VI-6-2-modification du temps de régénération.....	69

Chapitre VII : Etude économique

VII-1-Calcul économique.....	70
VII-2- Etude économique des résultats de la solution optimale	70
-Gains en gaz naturel.....	70
-Gain sur la vie du tamis moléculaire.....	71

Conclusion générale	73
----------------------------------	-----------

Bibliographie.

Annexes.

La liste des figures

Figure I.1.Schéma du procédé GPL	
Figure I.2.Schéma du procédé de liquéfaction du GPL	
Figure I.3.Schéma principale de procédé du GPL	
Figure I.4.La demande nationale de GPL	
Figure II.1.Profil de température de régénération	
Figure II.2.Schéma de la section déshydratation	
Figure III.1.L'emplacement de la zone ZMT	
Figure III.2.La courbe de percée	
Figure III.3.Evolution de la concentration de l'adsorbat au cours de l'adsorption	
Figure IV.1.Variation de la teneur en eau dans la charge durant le mois de mars 2019	
Figure VI.1.Le temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau	
Figure VI.2.Quantité de GN utilisée pendant une régénération en fonction de la teneur en eau pour la première solution	
Figure VI.3.Le temps de réchauffage en fonction de la teneur en eau	
Figure VI.4.Quantité de GN utilisée pendant une régénération en fonction de la teneur en eau pour la deuxième solution	

La liste des tableaux

Tableau II.1.Les étapes de cycle de régénération

Tableau III.1.Diamètre critiques de certaines molécules

Tableau III.2.Vitesse et diamètre du lit

Tableau IV.1.La fiche technique du tamis moléculaire

Tableau V.1.Composition de la charge GPL

Tableau V.2.La composition de gaz de régénération

Tableau V.3.Récapitulation des résultats du bilan thermique

Tableau V.4.Récapitulation des résultats totaux

Tableau VI.1.Les différentes hauteurs du lit non utilisés

Tableau VI.2.L'influence de temps de régénération sur l'adsorption

Tableau VI.3.L'influence de temps d'adsorption sur le temps de régénération

Tableau VII.1.Récapitulation des résultats économiques

Abréviations

BOG	Boil of gaz → le nom de station de récupération et liquéfaction des gaz évaporées au niveau du complexe GP1Z
BTU	British thermal unit → l'unité de chaleur thermique dans le système d'unités anglais
Lb	Livre → l'unité de poids dans le système d'unités anglais
ft	Foot → l'unité de longueur dans le système d'unités anglais
Yin	La teneur en eau dans la charge GPL
PSI	Psia → unité de pression
Nm³	Normal m³
Cm³	Contra m³

INTRODUCTION

Introduction générale

Le gaz de pétrole liquéfié connu sous le terme GPL, est de notre temps le challenge dans le marché mondial des combustibles tels que le kérosène et le naphta.

Nous savons que tous les procédés consomment une certaine quantité d'énergie.

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

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

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

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

L'objectif de notre travail qui s'inscrit dans le cadre du projet de mise en situation professionnelle consiste à optimiser le fonctionnement de la section déshydratation de la charge, car une consommation excessive d'énergie a été observée au niveau de cette dernière.

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

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

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

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

Nous ferons également l'étude du bilan massique de cette colonne d'adsorption, en commençant par présenter les données du problème ainsi que la méthodologie poursuivie pour mener à bien nos calculs.

Afin de nous assurer de la validité de la méthode de calcul, nous effectuons les calculs d'abord pour un sécheur fonctionnant selon le design et conforterons les résultats obtenus à la réalité.

Nous proposerons en suite, une série de solution ou recommandations, pour remédier à ce problème et qui sont :

1. Prolongation du temps d'adsorption du sécheur selon la teneur en eau dans la charge.
2. Diminution du temps de chauffage de la séquence de régénération.
3. La réduction de la masse du tamis moléculaire.

Des remarques et des commentaires seront donnés au fur et à mesure que nous avancerons dans notre travail.

Nous terminerons, enfin, notre étude par une conclusion dans laquelle les résultats trouvés seront récapitulé, suivie de quelques recommandations.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I

PRESENTATION DU COMPLEXE GP1Z

I-1-Généralités

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. [2]

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. [2]

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.

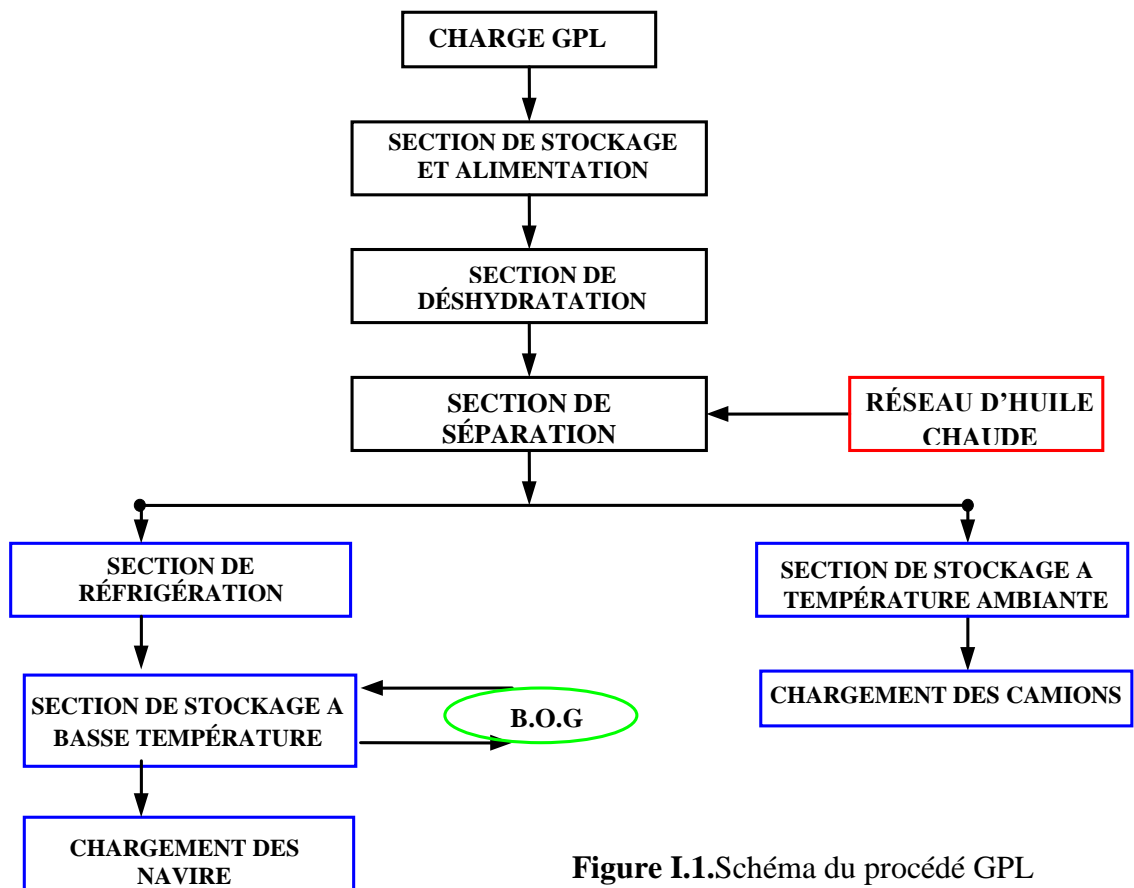


Figure I.1.Schéma du procédé GPL

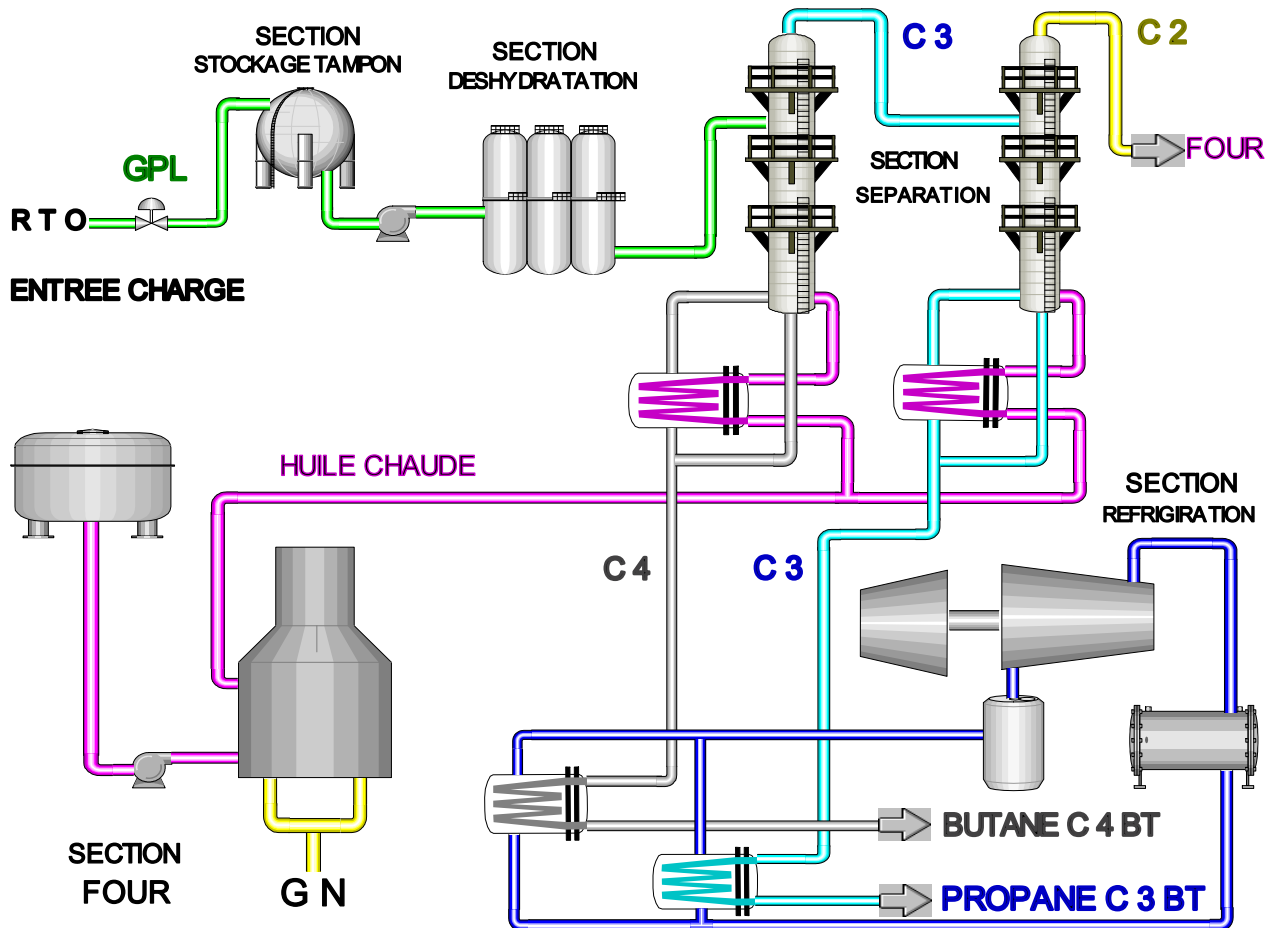


Figure I.2. Schéma du procédé de liquéfaction du GPL

I-2-Les installations du complexe GP1Z [2]

Le Complexe **GP1Z** est constitué de plusieurs Installations qui sont comme suites :

- Les installations de stockage d'alimentation.
- Les installations de Production **GPL**.
- Les installations de Stockage des Produits Finis.
- Les installations de Chargement.
- Les installations d'Utilité.

I-2-1-Les installations de stockage d'alimentation [2]

Ces Installations se composent de vingt deux sphères qui stockent temporairement la charge, et ont une capacité globale de 22000 m³, et de 1000 m³ chacune. Les vingt deux sphères sont réparties en quatre groupes comportant chacun quatre sphères et quatorze

pompes d'alimentations plus un nouveau groupe qui comporte six sphères : dont trois groupes pour la phase I et un seul groupe identique pour la phase II, et un seul groupe identique pour la phase III.

I-2-2. Les installations de production [2]

Ces installations comprennent neuf (09) trains de production dont trois nouvellement installés { phase III), et chaque train est composé des sections suivantes :

-Section de déshydratation [2], [4]

Cette Section permet d'éliminer l'eau contenue dans le GPL d'alimentation en utilisant des Tamis moléculaires qui adsorbent les molécules d'eau afin d'éviter tout givrage dans la Section de réfrigération.

L'étude de la section de déshydratation sera détaillée dans le chapitre suivant, étant donné son étroite relation avec le sujet traité.

-Section de séparation de GPL

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 T_r maximum :

$$T_r = \frac{\text{C}_3 \text{ et C}_4 \text{ produit (commercialisé)}}{\text{C}_3 \text{ et C}_4 \text{ contenant dans la charge}}$$

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). Les équipements de la section séparation sont :

>>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.

>> Le déethaniseur

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.

>>Le dépentaniseur

Le dépentaniseur qui traitera le produit de fond sera mis en marche, lorsque le rapport $C_5 / (C_5 + C_4)$ 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 que deux dépentaniseur pour tous les trains.

- Section de réfrigération [2]

Cette section est conçu 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.

-Section d'huile chaude [2]

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 du l'huile du four est de 180°C.

I-2-3-les installations de stockage des produits finis [3]

Elles comprennent Deux Sections :

>>Section de stockage des produits

Cette section assure le stockage des produits finis. Elle comprend : huit bacs de stockage à basse température dont :

- Quatre bacs pour le propane à $T = -42$ °C.
- Quatre bacs pour le butane à $T = -7$ °C.

La capacité de chaque bac est de 70000 m³.

Cinq sphères de stockage à température ambiante dont :

- Une sphère pour le propane à P = de 3,8 à 18 Kg/ cm².
- Trois sphères pour le butane à P = de 0,5 à 6,5 Kg / cm².
- Une sphère pour le pentane à P = de 0,1 à 1,3 Kg /cm²

la capacité de chaque sphère est de 500 m³.

>>**Section de récupération des gaz évaporés (Boil of Gas)**

Le but de cette récupération est la liquéfaction des gaz d'évaporation pour les renvoyer dans les systèmes de stockage.

Ces gaz d'évaporation proviennent des différentes capacités de l'usine (ex. les bacs de stockage et l'évaporation des gaz contenus dans les citernes, des navires au moment de leur chargement).

I-2-4-Les installations de chargements [7]

Les produits stockés sont expédiés vers les acheteurs par deux façons différentes.

Expédition par navires : cela concerne les produits à basse température (marché extérieur).

Expédition par camions : destinée au marché national et concerne les produits à température ambiante.

>>**Section de chargement de bateaux à basse températures**

Deux systèmes de chargements sont respectivement installés au bout des jetées

D1 et **M6**, le débit de chargement est le suivant :

Propane maximum 10 000m³/hr.

Poste **D1** 4 000 m³/hr.

Poste **M6** 10 000 m³/hr.

Butane maximum 10 000 m³

>>**Section de chargement de camions à température ambiante**

Dans cette zone s'effectue le chargement du butane et du propane à température ambiante à partir de quatre (04) Sphères.

Les sphères sont alimentées par les sections de séparation (Voir le schéma de principe de procédé).

I-2-5-Les installations d'utilité [2]

Les utilités sont tout produit autre que les matières premières et les produits Finis qui participent activement à leur fabrication (énergie électrique, production de vapeur, d'air comprimé, d'eau distillé, azote, méthanoletc.).

I-3-notions et généralités sur les GPL [1], [14]

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 stoker 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.

I-3-1-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.

I-3-2-Les caractéristiques des GPL

Aux conditions normales de pression et de température, les GPL sont des 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 demi plus lourd.

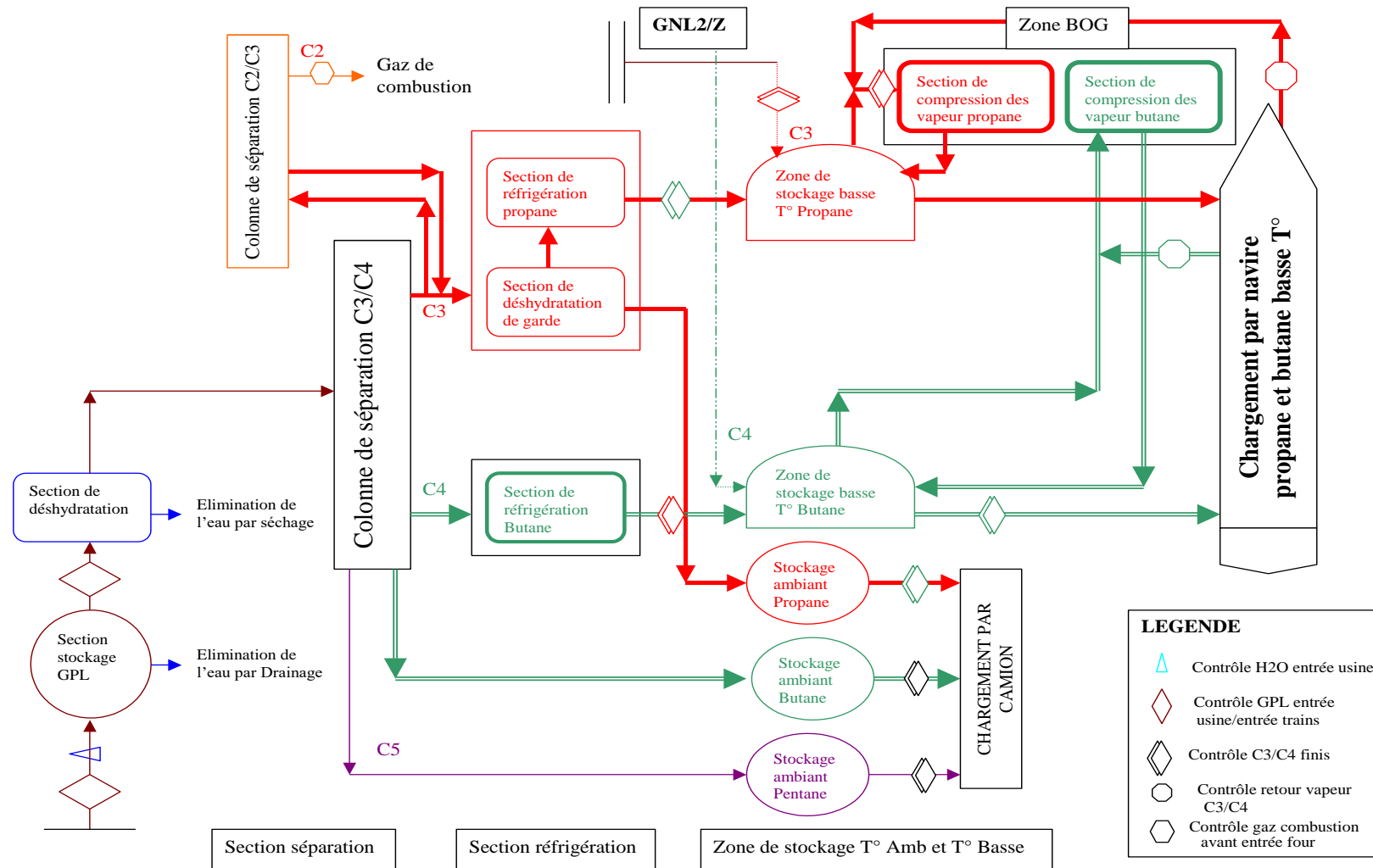


Figure I.3. Schéma principale de procédé du (GPL)

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.

I-3-3-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.

A- La consommation nationale en GPL

Le niveau de la demande nationale de **GPL** est de l'ordre de **1,4 millions de t/an** (sources NAFTAL Année 2007) dont **90%** de butane, **5%** de propane et **5%** de GPL carburant (GPL /C) (Figure II. 4).

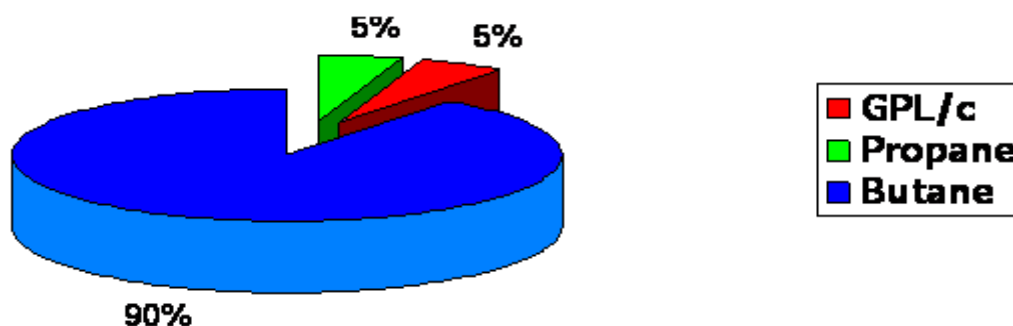


Figure I.4.La demande nationale de GPL.

I-3-4-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).

CHAPITRE II

SECTION DE DESHYDRATATION DE CHARGE

II-1-Généralités

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

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

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

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

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

Le fonctionnement de la section déshydratation de l'alimentation est en continu, automatique et en séquence sous la commande d'un programmeur, le contrôleur matriciel du cycle.

II-2-Le cycle de régénération [4]

Tableau II.1. Les étapes de cycle de régénération

Étapes	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 que V-1001B est mis en ligne, la vanne 2A se ferme. Après la fermeture de cette vanne, la séquence de régénération commence avec le drainage du GPL restant dans la colonne d'adsorption. Le GPL brut est évacué vers les réservoirs sphériques d'alimentation sous la pression du gaz naturel (20 kg/cm^2) eff introduit en haut de la colonne,

Les vannes 3A et 4A s'ouvrent pour refouler le GPL vers les réservoirs sphériques d'alimentation, à l'état liquide. A ce moment, LS-1, un contact de niveau est mis en service.

Lorsque le niveau liquide atteint LS-1, la vanne 3A et ensuite la vanne 4A se ferment. L'opération de drainage est alors terminée et LS-1 est mis hors service.

Le temps prévu pour le drainage est d'environ une heure.

II-2-2-Dépressurisation

Après drainage complet de la colonne d'adsorption, la pression dans V-1001 A est de 20 kg/cm^2 eff. Avant de pouvoir commencer la séquence de chauffage, il faut que cette pression soit réduite à $4,5 \text{ kg/cm}^2$ eff.

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

Lorsque PDS-2 signale un débit zéro, la vanne 11 se ferme automatiquement la vanne 7A reste ouverte. La pression dans la colonne est alors de $4,5 \text{ kg/cm}^3$ eff. La dépressurisation demande environ une demi-heure.

II-2-3-Chauffage

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

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

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

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

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

La période de chauffage demande 11 heures, ensuite le cycle est arrêté par le programmateur et par TS-1 qui signale que le fond du lit a atteint sa température de régénération de 280°C.

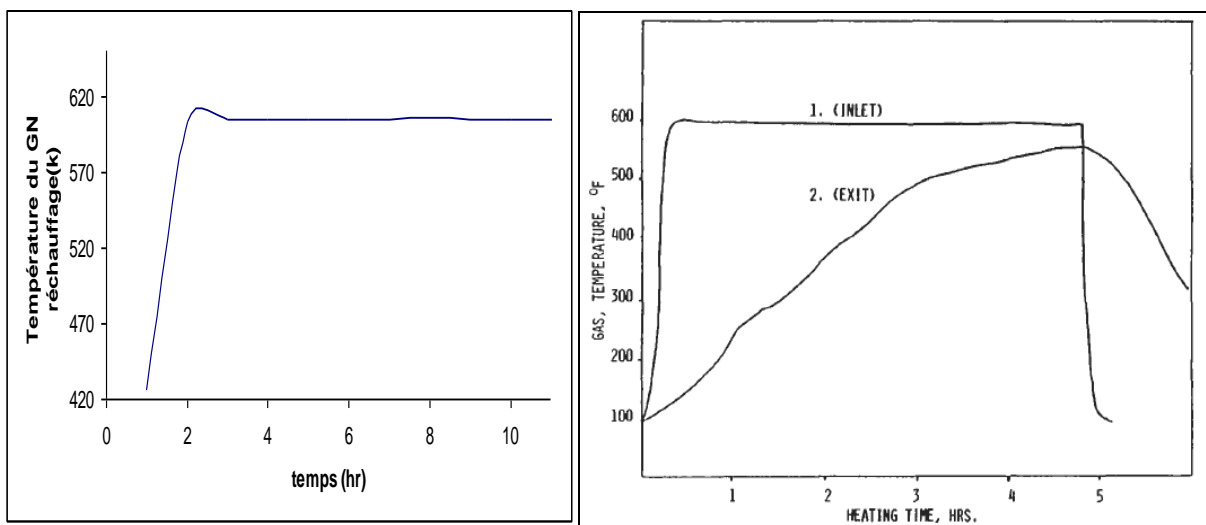


Figure II.1. Profil de Température de régénération [15].

II-2-4-Refroidissement

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

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

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

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

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

II-2-5-Remise sous pression

Avant de pouvoir réintroduire du GPL liquide dans la colonne, V- 1001A doit être remis sous pression par du gaz naturel (20 kg/cm² eff.) pour éviter une détente du GPL brut et ainsi une perte du produit.

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

La pression augmente dans la colonne jusqu'au point de tarage de PDS-3. La vanne 4A se ferme alors et PDS-3 est mis hors service. La pression dans V-1001A atteint alors 20 kg/cm² eff.

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

II-2-6-Remplissage en liquide

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

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

V-1001A a alors achevé le cycle de régénération et se trouve en réserve. La durée de disponibilité en réserve est normalement de 53 heures. La durée totale de la régénération est de 15 heures.

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

CHAPITRE III

LES MODES DE DESYDRATATION ET

TAMIS MOLECULAIRES

III-1-Généralités

Diverses méthodes ont été appliquées pour éviter l'obturation des conduites de transport ou des installations de traitement des GPL par les hydrates.

La plus courante est : la réduction de la teneur en eau par la déshydratation.

III-2-Les modes de déshydratation [6], [9]

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.

III-2-1-Inhibition par injection d'inhibiteur de formation d'hydrates

-Injection de glycol

La formation des hydrates pendant le refroidissement peut être inhibée par :

Injection de glycol liquide, l'éthylène glycol, le di éthylène glycol ; ce dernier est le plus utilisé à cause de son faible cout et du fait qu'il est le moins soluble dans les hydrocarbures liquides.

Le glycol absorbe l'eau, empêchant d'atteindre les conditions dans lesquelles les hydrates d'hydrocarbures solides peuvent se former.

-Injection de méthanol

Le méthanol est souvent injecté dans un courant gazeux pour empêcher la formation d'hydrates.

Mais des injections intermittentes de méthanol sont fréquemment utilisées lorsqu'il existe une légère formation d'hydrates.

III-2-2-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-2-3-Déshydratation par adsorption sur un desséchant solide [9]

- Généralités

L'adsorption fait partie des opérations physiques de séparation des mélanges elle se manifeste, lorsqu'on met en contact un fluide et un solide, par une différence de **composition** entre la phase adsorbée au voisinage immédiat du solide, et la phase fluide.

L'étude des équilibres d'adsorption permet de connaître le degré maximal de séparation susceptible d'être obtenu dans des conditions thermodynamiques données.

La vitesse avec laquelle on s'approche de l'état d'équilibre relève de l'étude de la cinétique de l'adsorption ; celle-ci dépend de la vitesse avec laquelle les constituants du mélange à séparer diffusent dans l'adsorbant et dans le fluide et, par suite, des conditions thermodynamiques dans lesquelles s'effectue le contact. Elle aboutit à la détermination de l'efficacité d'un appareillage.

-Description du phénomène d'adsorption

Quelque soit la nature des forces auxquelles il est soumis, un atome situé à la surface d'un solide se distingue d'un atome situé en profondeur du fait que la résultante des forces qui lui sont appliquées est différente de zéro.

Les molécules, ions ou atomes formant la surface d'un solide sont soumis à des forces dissymétriques qui se traduisent par un champ de forces attractives .Ce champ a

une portée limitée à des distances de l'ordre de grandeur des dimensions des atomes (quelques Å°).

Il est tout de même suffisant pour attirer les molécules de gaz (ou de liquide) situées au voisinage immédiate l'interface .Ce sont des forces qui provoquent la fixation des molécules à la surface.

L'adsorption d'un fluide par un solide se manifeste donc par l'existence, à l'interface solide fluide d'une couche ou la répartition des molécules est différente de celle régnant au sein du fluide.

Si on plonge un adsorbant dans un fluide, la composition de ce dernier varie plus au moins vite jusqu'à atteindre une valeur d'équilibre

L'adsorption est un processus spontané toujours exothermique.

Suivant la grandeur des énergies mises en jeu, le phénomène d'adsorption présente des caractéristiques qui permettront de le classer soit dans la catégorie de l'adsorption physique soit dans l'adsorption chimique.

- La zone de transfert de masse (ZMT) [1], [9]

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.

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

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

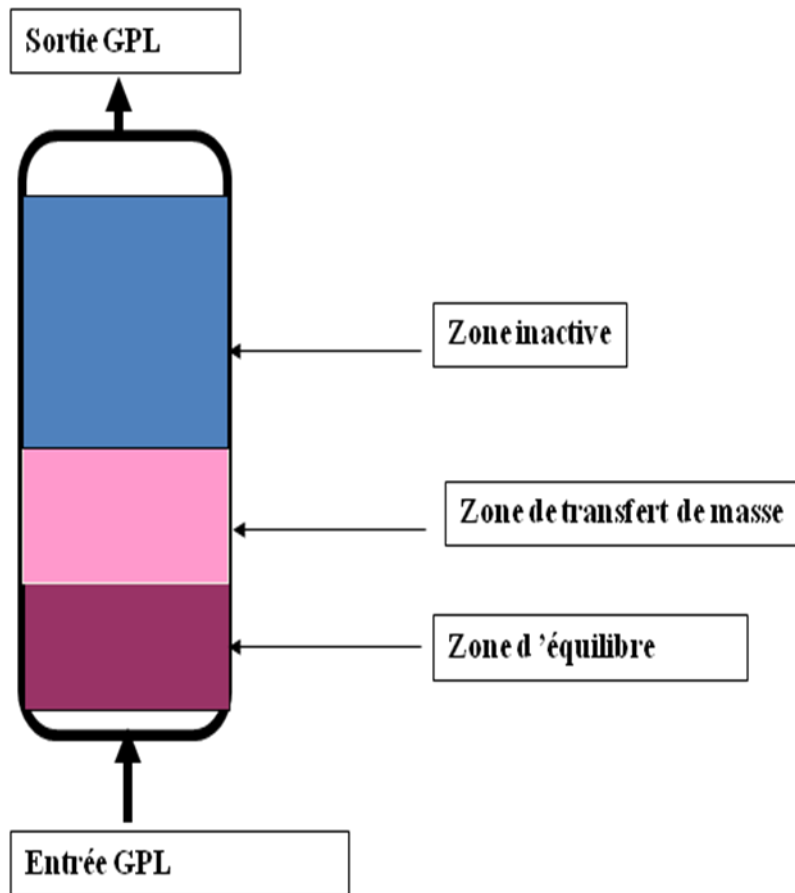


Figure III.1.L'epmlacement de la zone ZMT

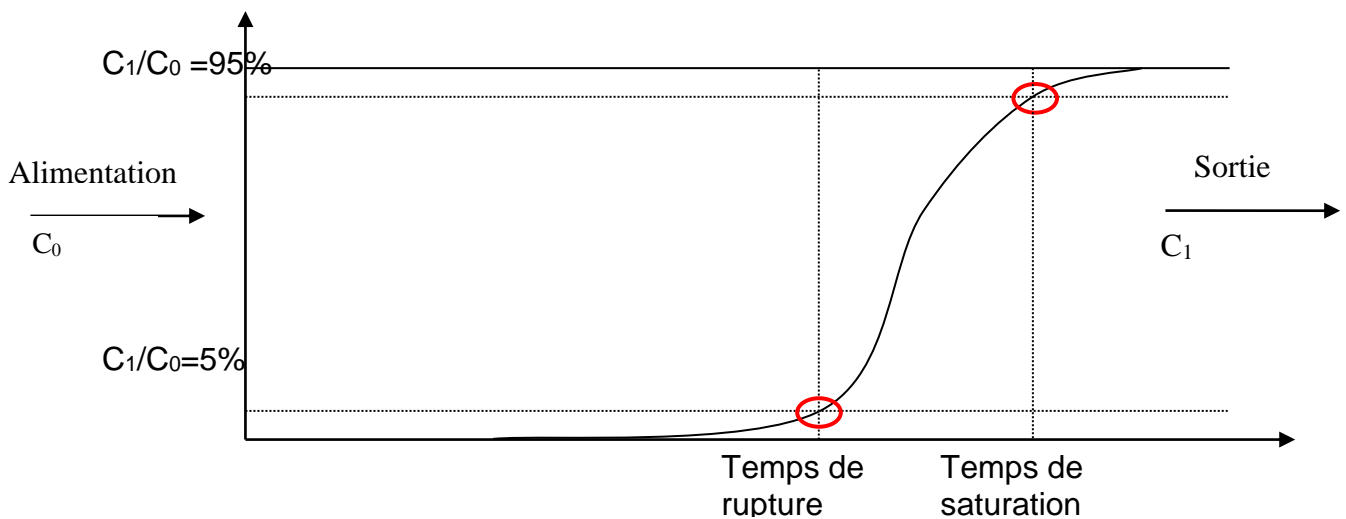


Figure III.2.La courbe de percée

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

La Z.M.T est une fonction de :

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

– Principaux adsorbants [9]

Il existe quatre agents desséchants importants utilisés qui sont :

Le silicagel ; l'aluminagel ; l'alumine activée; le charbon actif et le tamis moléculaire.

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

Il existe également deux autres phénomènes reliés dans l'adsorption de surface. Les forces d'adsorption ont tendance à être concentrées au niveau ou la surface en s'incurvant pour former un cylindre ou un pore.

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

>>silicagel

Le silicagel est disponible dans le commerce sous forme d'un matériau en poudre ou en granulés de tailles différentes, ce matériau peut être représenté par la formule ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Il est amorphe et fortement poreux ; les pores ayant un diamètre moyen de 40 .

Il a la capacité d'adsorption d'eau la plus élevée (40 kg H_2O /100 kg silicagel)

Il permet d'avoir un point de rosée de -60°C (10 ppm) .

>> L'alumine activée

L'alumine active est une forme amorphe, poreuse et partiellement hydratée de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) sa capacité d'adsorption est inférieure a celle du silicagel , et elle permet d'avoir un point de rosée de -75°C (1ppm) .

>>L'aluminagel

L'Aluminagel est capable de réduire la teneur en eau d'un fluide à environ point de rosée de -60 °C (10 ppm); Par conséquent ses capacités de séchage extraordinaires sont similaire a celles du silicagel et inférieur à celle de l'alumine activée.

>>Charbon actif

Les charbons actifs sont des bons adsorbants pour les hydrocarbures et les matières organiques en général ; ils sont surtout utilisés pour la récupération des solvants

Cet adsorbant peut être préparé à partir d'un certain nombre de matières premières dont les principales sont : les coquilles de noix et le charbon, son traitement s'effectue thermiquement en absence d'air.

Les charbons actifs sont disponibles sous formes de granules. Et ils sont régénérés à une température qui ne doit pas dépasser les 150 °C.

>>Tamis moléculaire (voir l'annexe 7)

Les tamis moléculaires sont des aluminosilicates cristallisés de telle manière qu'ils forment une structure moléculaire poreuse dont les diamètres des pores sont parfaitement définis.

Un tamis moléculaire est capable d'adsorber environ 10 % de son poids en eau.

Il est régénéré par un passage du gaz sec à 280 °C.

LES TAMIS MOLECULAIRES

III-Généralités

Les tamis moléculaires sont différents des agents adsorbants traditionnels principalement par leur aptitude à adsorber des petites molécules tout en excluant de grandes molécules, si bien que des séparations peuvent être effectuées sur les différences de taille des molécules (voir l'annexe 4 et 7).

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

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

Les tamis moléculaires sont des aluminosilicates de métaux hydratés cristallins offrant un certain nombre de propriétés inhabituelles.

Les types commerciaux importants de tamis moléculaires sont faits de matière synthétique mais leur structure est relativement similaire à certains minéraux naturels pour être classifiés comme zéolites. Bien que les structures cristallines de certains tamis moléculaires sont différentes, (deux types, A et X, sont les plus importants voir Annexe 2, figure (1), leur importance autant qu'agents adsorbants commerciaux vient du fait que dans chacun d'eux, les cristaux contiennent des cavités d'interconnexion de dimensions uniformes, séparées par des ouvertures plus étroites, ou pores uniformes.

Molécule	Diamètre critique (Å)
Hydrogène	2,4
Acétylène	2,4
Oxygène	2,8
Monoxyde de carbone	2,8
Dioxyde de carbone	2,8
Azote	3,0
Eau	2,8
Ammoniac	3,6
Sulfure d'hydrogène	3,6
Méthane	4,0
Ethylène	4,2
Ethane	4,4
Méthanol	4,4
Ethanol	4,4
Mercaptan méthylique	4,5
Propane	4,9
Propylène	5,0
Mercaptan éthylique	5,1
Butène	5,1
1,3-Butadiène	5,2
Chlorodifluorométhane (R-22)	5,3
Thiophène	5,3
i-Butane à 1-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
Ttriéthylamine lamine	8,4

Tableau III.1. Diamètres critiques de certaines molécules [15]

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

Les tamis moléculaires ayant des propriétés constantes tel que les données d'équilibre ; qui se représentent sous forme d'une isotherme l'Annexe (01); il représente une relation d'équilibre existant entre le fluide et le solide .la concentration de l'adsorbant, qui dans notre cas est constitué par l'eau, est une fonction à la fois de la concentration de l'eau dans la phase fluide (pression partielle) et de la température d'adsorption.

Les tamis moléculaire sont également caractérisés par leur capacité d'adsorption relativement élevée aux faibles concentrations du matériau adsorbé, et ont une affinité élevée pour les composés de type polaire et non saturé.

-Adsorption dynamique [13]

L'adsorption est un phénomène de surface qui correspond à la fixation des molécules d'un fluide à la surface d'un solide. Les solides poreux, qui présentent une grande porosité interne et dont la surface développée de support est de l'ordre de plusieurs centaines de m^2/gr de par leur structure cristalline à pores de dimensions bien déterminées, ont une sélectivité d'adsorption maximale.

En adsorption dite dynamique, le lit granulaire de matériau adsorbant, placé dans une colonne d'adsorption ou adsorbeur. est percolé par le fluide vecteur contenant les molécules à séparer par adsorption.

-Concept de la zone de transfert de masse [1]

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

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

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

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

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

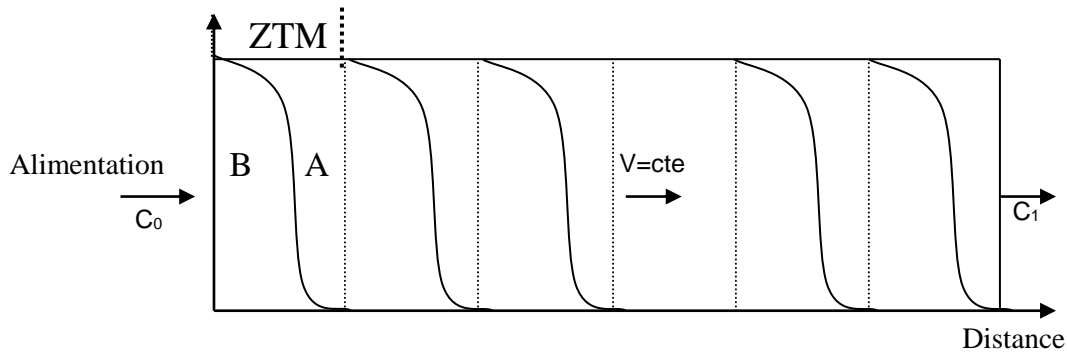


Figure III.3. Evolution de la concentration de l'adsorbant (fluide) au cours de l'adsorption

-Effet des variables de conception du lit [1], [8]

L'adsorption est en fait un procédé cinétique, La zone de transfert de masse correspond à la longueur du lit nécessaire au phénomène d'adsorption, c'est-à-dire à la distance que doit parcourir une unité de fluide pour sa concentration d'eau d'entrée chute à essentiellement zéro, La longueur de cette zone est fonction de plusieurs facteurs.

>>Vitesse et diamètre du lit [13]

En général, les lits longs et de faibles diamètres sont plus efficaces que les lits courts de grands diamètres.

Le tableau suivant donne trois configurations de lit pour le séchage de l'air sur tamis moléculaire .Bien que tous fonctionnent correctement, il convient de remarquer l'efficacité plus élevée des lits de petit diamètre.

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

>>Teneur en adsorbant de l'effluent

La capacité utile du lit adsorbant dépend en outre de la teneur en adsorbant désirée dans l'effluent. Puisque la longueur de la zone de transfert de masse augmente lorsque l'on désire diminuer la concentration de l'effluent.

Une faible concentration en adsorbant se traduit par de faible capacité d'adsorption.

Les hydrates [9]

>>Définition

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

>>Les formules chimiques des hydrates

Il y a deux structures pour les hydrates des GPL.

Des petites molécules qui forment des corps cubiques centrés (structure I) tels que (CH_4 , C_2H_6 , H_2S) et des grandes molécules tels que (C_3H_8 ,i- C_4H_{10}) qui ont la forme d'un diamant (structure II) .

>>Les conditions de formations d'hydrates [9]

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

-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

-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 IV

PRESENTATION DU PROBLEME ET LA METHODE DE CALCUL

IV- Présentation du problème

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 effectuée 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.

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:

1. la prolongation du temps d'adsorption.
2. la réduction du temps de régénération
3. la réduction de la masse du tamis moléculaire.

En se basant sur le dimensionnement du deshydrateur 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 augmente suite à cette diminution par ce qu'il va être moins exposé aux contraintes des

séquence : dépressurisation, pressurisation, chauffage, refroidissement.

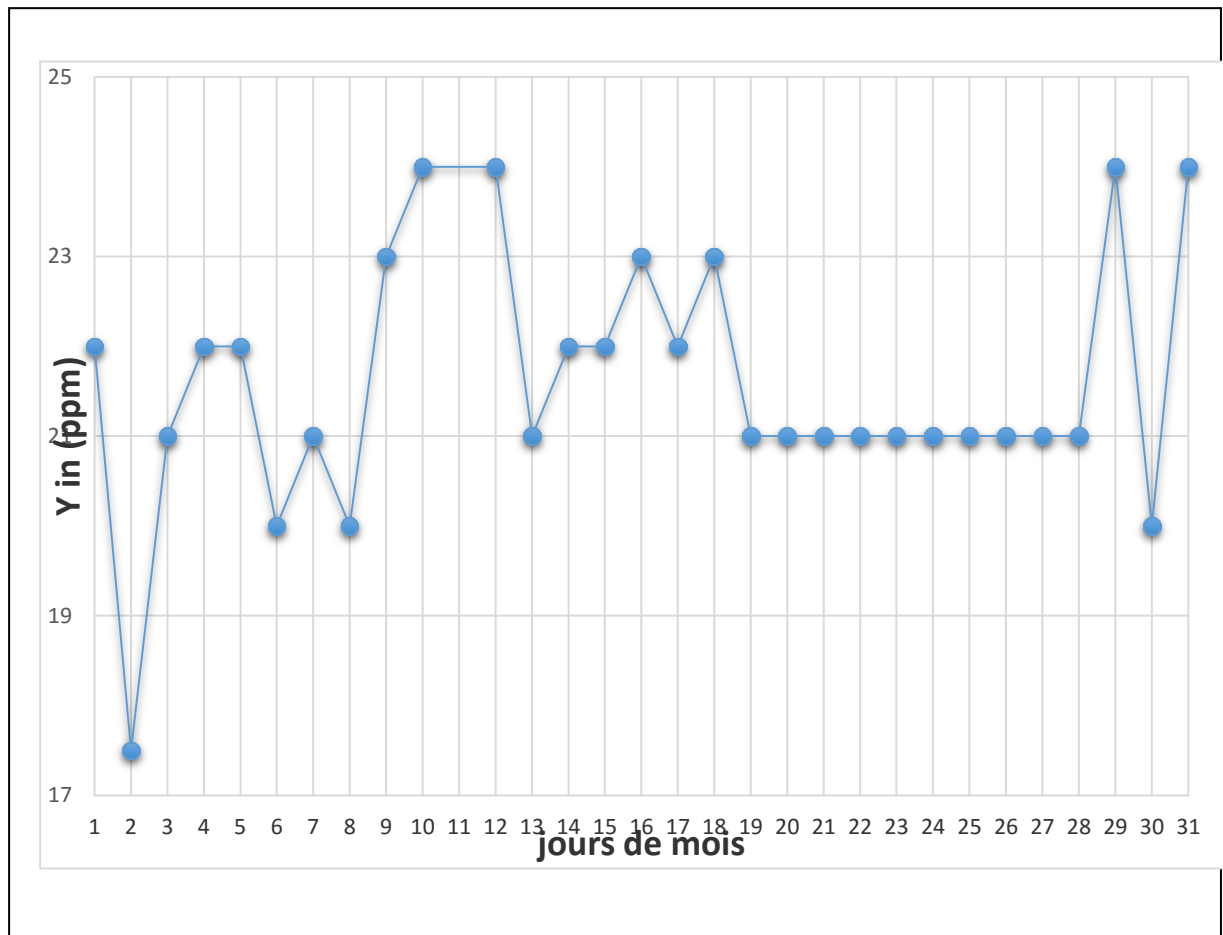


Figure IV.1. Variation de la teneur en eau dans la charge durant le mois de MARS 2019.

IV-2-Interpretation des graphes

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 IV,1 » donc la concentration de la charge en eau ne dépasse pas les 24 ppm qui est une teneur inférieure à la valeur de design (100 ppm).

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

IV-3-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'adsorbant 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.

IV-4-Constitution d'un déshydrateur de charge [3], [7]

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.

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

Tableau IV.1. La fiche technique du tamis moléculaire [3]

Diamètre nominal des pores	4°A
Diamètre des particules	1,6 mm
Densité tassée	700 kg / m ³
Chaleur de désorption de l'eau	1800 BTU / Lb d'eau
Teneur en eau résiduelle	1,5%
Capacité en eau à l'équilibre	22% (T=25 °C , P=17.5mmHg)
Capacité calorifique	0,22 k cal / kg °C

Les conditions opératoires d'adsorption / désorption (cas réel) [3]

- Durée d'adsorption : 36 heures.
- Durée de régénération : 19 heures.

Réchauffage = 11 heures.

Refroidissement = 5 heures.

Température d'entrée du gaz de régénération : [3]

Réchauffage T = 280°C.

Refroidissement T= 12,7°C.

IV-5-La théorie de calcul [12].

IV-5-1-Le Bilan énergétique

-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_{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).

-Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption de l'eau Q_{des}

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

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

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

-Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis Q_{tamis}

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

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

C_{pt} : La capacité calorifique du tamis (BTU/ Lb.°F).

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

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

-Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier Q_{acier}

$$Q_{acier} = m_c * C_{pc} * (T - T_{ads}) \dots\dots\dots (4)$$

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

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

-Calcul des pertes de chaleur Q_{perte}

$$Q_{perte} = 0.1 * (Q_{des} + Q_{tamis} + Q_{acier}) \dots\dots\dots (5)$$

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

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

On peut l'obtenir par la relation suivante :

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

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

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

-Calcul de la chaleur H_f fournie par le four [5]

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

$(1/\epsilon)$: L'efficacité thermique de four .

-Calcul du temps de réchauffage du tamis « t_r » [12]

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

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

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

t_r : Le temps de chauffage (hr) .

-calcul de la chaleur fournie par le four par H_f /cycle

$$H_{f/cycle} = (3 * H_f * t_r) / c_{\text{cycle}} \text{ et on a } c_{\text{cycle}} = 3 * t_{\text{ads}} \text{ donc :}$$

$$H_{f/cycle} = (H_f * t_r) / t_{\text{ads}} \dots\dots\dots(9)$$

$H_{f/cycle}$: la chaleur fournie par le four par cycle (BTU/hr).

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

-Calcul du temps de refroidissement du tamis « t_{ref} »

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

-Calcul de la chaleur soutirée au système Q_{ref}

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

IV-5-2-Le bilan de matière de la régénération [12].

-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.

-Calcul de la chute de pression [12]

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

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

Ou :

$\Delta P/L$: 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.

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

-Calcul du nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est calculé par la formule suivante :

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

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE V

VALIDITE DE LA METHODE

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% : $Q = 240 \text{ m}^3/\text{hr} = 8675,09 \text{ ft}^3/\text{hr}$
- ✓ $P = 30,7 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
- ✓ $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tableau V.1.Composition de la charge du GPL [4]

COMPOSANT	M_i g/mole	% MOLAIRE
C1	16,043	0,24
C2	30,07	1,92
C3	44,097	59,37
i-C ₄	58,123	13,68
n-C ₄	58,123	24,54
i-C ₅	72,15	0,20
n-C ₅	72,15	0,05
C6	86.177	0,00

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

$M_{GPL} = 49,22 \text{ Kg /Kmole}$

- ✓ Solubilité de l'eau dans le GPL à $T = 25^\circ\text{C}$ (380 ppm /mol) (**voir Annexe 2**)
- ✓ 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 : $\rho_{GPL} = 530 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 33,09 \text{ Lb} / \text{ft}^3$.

V-1-Dimensionnement d'un déshydrateur [12]

V-1-1-Calcul de la quantité d'eau adsorbée

-Diamètre minimum du lit

Pour le calcul du diamètre minimum du lit, on utilise la formule suivante :

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

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 :

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

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

$D_p = 0.01 \text{ ft.}$

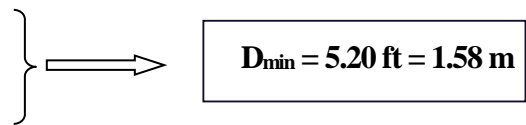
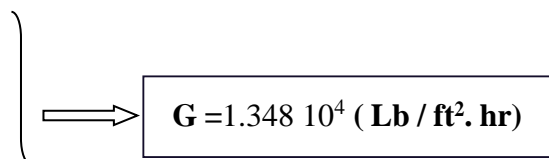
$\rho_{\text{tamis}} = 641 \text{ kg} / \text{m}^3 = 40.02 \text{ Lb} / \text{ft}^3 .$

$\rho_{\text{GPL}} = 530 \text{ kg} / \text{m}^3 = 33.09 \text{ Lb} / \text{ft}^3 .$

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

$G = 1.348 \cdot 10^4 \text{ (Lb} / \text{ft}^2 \cdot \text{hr) .}$

$Q = 240 \text{ m}^3 / \text{hr} = 8675.09 \text{ ft}^3 / \text{hr}$



-La hauteur totale du lit [12]

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

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]

$U_{act} = Q / S$ avec $S = (\pi * D_L^2) / 4 \dots\dots\dots (18)$

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

$U_{act} = 0,06 \text{ (ft / sec)} = 3,87 \text{ (ft / min)}$

-Calcul le débit d'eau

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

$q_w = 0,77 \text{ (Lb/ft}^2\text{.hr)}$
--

-Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse

$H_z = (225 * q_w^{0,7895}) / (U_{act}^{0,5506} * Y_{in}^{0,2646}) \dots\dots\dots (20)$

$H_z = 32,69 \text{ inch} = 2,69 \text{ ft} = 0,820 \text{ m}$
--

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

q_w : Le débit d'eau .

-Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre

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

$H_s = 4,2 \text{ ft} = 1,280 \text{ m}$
--

H_t : la hauteur total du lit ($H_t = 2,1 \text{ m} = 6,89 \text{ ft}$).

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

-Estimation de la capacité d'adsorption à l'équilibre [12]

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 5).

$$X_s = (22 - X_1)$$

X_1 : la teneur en eau résiduelle, $X_1 = 1,5$ % en poids.

A cause des pertes de la capacité lors de l'adsorption engendrée par l'encrassement des pores ; de la destruction des cristaux ; de l'attaque chimiqueetc. 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 à :

$$X_s = (22 - X_1) * 0,7$$

Alors :

$X_s = 15,38$ Lb d'eau / 100 Lb adsorbant

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

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

$X = 10,94$ Lb d'eau / 100 Lb de dessicant

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

-Estimation de la quantité d'eau adsorbée M_{ads}

$$M_{ads} = ((H_s - (C * H_z)) * (X_s * D_L^2 * \rho_{tamis})) / 127.38 \quad (23)$$

$M_{ads} = 6.85 \cdot 10^2$ Lb

-Calcul du temps d'adsorption

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

$t_{\text{ads}} = 39.1 \text{ hr}$

-Détermination de l'efficacité d'adsorption

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

$\text{EFF} = 71.13$

V-2-Calcul du bilan thermique [12]

-Propriété du gaz de régénération [11]

Tableau V.2. La composition du gaz de régénération (voir annexes 6)

Composant	X _i en mole	T _{ref} (K)=12.7°C	T _{rec} (K)=280°C	ΔH° (Kj/Kg)	M _i (Kg/Kmole)	X _i ' en poids	ΔH° *X _i ' (Kj/Kg)
C ₁	0.8386	285.85	553.15	698.30	16	0.72	500.69
C ₂	0.0743	285.85	553.15	599.60	30	0.12	71.42
C ₃	0.0186	285.85	553.15	586.64	44	0.04	25.66
iC ₄	0.0026	285.85	553.15	591.34	58	0.01	4.77
nC ₄	0.0008	285.85	553.15	592.58	58	0.002	1.47
iC ₅	0.004	285.85	553.15	585.59	72	0.02	9.01
nC ₅	0.0009	285.85	553.15	586.78	72	0.003	2.03
C ₆	0.0003	285.85	553.15	589.15	86	0.001	0.81
N ₂	0.0557	285.85	553.15	280.49	28	0.08	23.38
CO ₂	0.0024	285.85	553.15	253.63	44	0.01	1.43
He	0.0018	285.85	553.15	0.00	4	0.00	0.00
	1				18.71	1.00	640.66

Poids moléculaire du GN : $M_{GN} = \sum Y_i * M_i$.

$$M_{GN} = 18,71 \text{ Kg / Kmole}$$

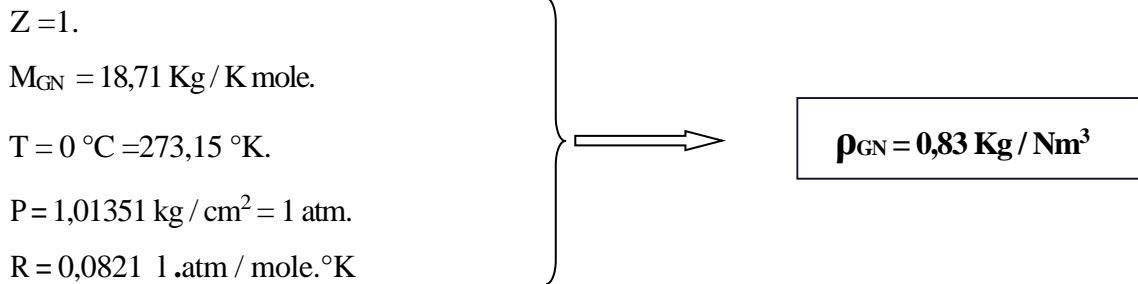
❖ Le gaz naturel de Réchauffage $T = 280 \text{ °C}$ $P = 4,5 \text{ kg / cm}^2$

❖ Le gaz naturel de Refroidissement $T = 12,7 \text{ °C}$ $P = 4,5 \text{ kg / cm}^2$

▪ Calcul de la masse volumique du GN dans les conditions

normal ρ_{GN} : $T=0 \text{ °C}$, $P=1 \text{ atm}$.

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



- **Calcul de l'enthalpie de chauffage du gaz de 12,7°C à 280°C [5]**

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

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

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

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

A, B, C, D, E, F : Constantes des compositions de GN de 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 m_t

$$m_t = \frac{1}{4} * (\pi * D_L^2) * H_t * \rho_{tamis}$$

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

$$m_t = 10275,5 \text{ Lb}$$

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

$$\rho_{tamis} = 641 \text{ kg/m}^3 = 40,02 \text{ Lb/ft}^3$$

$$m_t = 10275,5 \text{ Lb} = 4660,936 \text{ Kg}$$

- **Calcul de la température moyenne du lit en fin de chauffage : [12]**

$$T_s = 227 \text{ }^\circ\text{C} = 440,6 \text{ }^\circ\text{F} = 500,15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_e = 280 \text{ }^\circ\text{C} = 536 \text{ }^\circ\text{F} = 553,15 \text{ }^\circ\text{K.}$$

D'après l'équation (6) :

$$C_{pt} = 0,22 \text{ BTU/ Lb }^\circ\text{f}$$

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

$$T = 223,75 \text{ }^\circ\text{C} = 434,75 \text{ }^\circ\text{F} = 496,72 \text{ }^\circ\text{K}$$

D'après l'équation (3) :

$Q_{\text{tamis}} = 8,08 \cdot 10^5 \text{ BTU}$
--

-Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage de l'acier

Calcul du volume de l'acier (V_c) [12]

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

Avec :

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

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

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

L :La hauteur de la colonne (ft)

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

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

E_p : L'épaisseur de l'acier . $E_p = 36,8 \text{ mm}.$ d : Le diamètre de l'acier . $d = 2100 \text{ mm}.$ $L = 4630 \text{ mm}.$	} ⇒	<table border="1" style="margin: 0 auto;"> <tr> <td>$V_c = 1,144 \text{ m}^3 = 40,39 \text{ ft}^3$</td> </tr> </table>	$V_c = 1,144 \text{ m}^3 = 40,39 \text{ ft}^3$
$V_c = 1,144 \text{ m}^3 = 40,39 \text{ ft}^3$			

-Calcul de la masse de l'acier m_c:

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

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

$V_c = 40,39 \text{ ft}^3.$ $\rho_{\text{acier}} = 500 \text{ Lb} / \text{ft}^3$	} ⇒	<table border="1" style="margin: 0 auto;"> <tr> <td>$m_c = 2,02 \cdot 10^4 \text{ Lb}$</td> </tr> </table>	$m_c = 2,02 \cdot 10^4 \text{ Lb}$
$m_c = 2,02 \cdot 10^4 \text{ Lb}$			

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

$m_c = 2,73 \cdot 10^4 \text{ Lb}$

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

$$m_c = 2,73 \cdot 10^4 \text{ Lb .}$$

$$C_{pc} = 0,12 \text{ BTU / lb .}^\circ\text{F.}$$

D'après l'équation (4) :

$$Q_{\text{acier}} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

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

La quantité d'eau adsorbée $M_{\text{ads}} = 6,85 \cdot 10^2 \text{ Lb .}$

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

D'après l'équation (4) :

$$Q_{\text{des}} = 1,23 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

-Calcul des perte de chaleur Q_{perte}

$$Q_{\text{des}} = 1,23 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{\text{acier}} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{\text{tamis}} = 4,48 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

D'après l'équation (5) :

$$Q_{\text{perte}} = 3,20 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

-Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Q_{totale}

D'après l'équation (1) :

$$Q_{\text{totale}} = 3,52 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

-Calcul de la chaleur fournie par le four pendant le réchauffage H_f [12]

-Calcul de l'efficacité thermique du four $1/\epsilon$ [5]

Efficacité thermique du four pendant le réchauffage :

$$\left. \begin{array}{l} \epsilon = 2,25 + (0,03113 * T) \\ T : \text{Temps de chauffage (hr).} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{1/\epsilon = 38,98}$$

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

-Calcul de l'énergie totale fournie par le four [5]

- Calcul de la chaleur totale fourni par le four lors de réchauffage H_f

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

$$\left. \begin{array}{l} 1/\epsilon = 0,3898 \\ Q_{\text{totale}} = 3,52 \cdot 10^6 \text{ BTU.} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{H_f = 9,26 \cdot 10^6 \text{ BTU}}$$

-Calcul du temps de réchauffage du tamis « t_r » [12]

Tableau V.3.récapitulation des résultats du bilan thermique

Quantité de chaleur apporté par le GN: H_f (BTU)	$1,02 \cdot 10^7$
Déférence de L'enthalpie ($\Delta H_{(280-12.7)^\circ\text{C}}$: BTU / Nm ³)	1179,47=640,66 kj/kg
Masse volumique du ρ_{GN} (Lb/ Nm ³)	1,8298=0,83 kg/Nm ³
Température finale (T_f : °F)	536=280 °C
Température initiale (T_i : °F)	54,86=12,7 °C

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

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

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

$$\boxed{\Delta H = 531,74 \text{ BTU} / \text{Nm}^3}$$

D'après l'équation (8): $t_r = H_f / \Delta H * M_{GN}$

$$\left. \begin{array}{l} H_f = 9,26 \cdot 10^6 \text{ BTU} \\ \Delta H = 531,74 \text{ BTU/Nm}^3 \\ M_{GN} = 2000 \text{ Nm}^3/\text{hr.} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{t_r = 8,70 \text{ hr}}$$

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

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

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

-Calcul de la chaleur fournie par le four par de H_f / CYCLE [12]

$t_r = 8,70 \text{ hr.}$

$H_f = 9,26 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$

$t_{ads} = 39,1 \text{ hr.}$

D'après l'équation (9) :

$$\boxed{H_f / \text{CYCLE} = 2,06 \cdot 10^6 \text{ BTU / hr}}$$

-Calcul du temps de refroidissement du tamis « t_{ref} »

D'après l'équation (10) :

$Q_{totale} = 3,52 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$

$Q_{acier} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$

$Q_{tamis} = 8,08 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$

$t_r = 8.70 \text{ hr.}$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{totale} = 3,52 \cdot 10^6 \text{ BTU.} \\ Q_{acier} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU.} \\ Q_{tamis} = 8,08 \cdot 10^5 \text{ BTU.} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{t_{ref} = 4,88 \text{ hr} \cong 5 \text{ hr}}$$

-Calcul de la chaleur soutirée au système Q_{ref}

D'après l'équation (11):

$Q_{acier} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$

$Q_{tamis} = 8,08 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$

$t_{ref} = 4,88 \text{ hr.}$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{acier} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU.} \\ Q_{tamis} = 8,08 \cdot 10^5 \text{ BTU.} \\ t_{ref} = 4,88 \text{ hr.} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{Q_{ref} = 4,05 \cdot 10^5 \text{ BTU/ hr}}$$

V-3-Calcul du bilan de matière de la régénération [12]

-Calcul du débit du gaz de refroidissement

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

$Q_{ref} = 4,05 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr.}$	}	⇒	$M_{ref} = 761,65 \text{ Nm}^3/\text{hr.}$
$\Delta H_{(T_{rech} - T_{ref})} = 531,74 \text{ BTU/Nm}^3.$			
$T_{rech} = 280 \text{ °C} = 536 \text{ °F} = 553,150 \text{ °K}$			
$T_{ref} = 12,7 \text{ °C} = 54,86 \text{ °F} = 285,850 \text{ °K}$			

-Calcul des pertes de charges [12]

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

.Le gaz naturel de Réchauffage $T = 280 \text{ °C}$ $P = 4,5 \text{ kg / cm}^2$

- Calcul de la masse volumique du GN

$$\rho_{GN} = (P * M_{GN}) / (Z * R * 1)$$

- Calcul du coefficient de compressibilité (Z)

Le facteur de compressibilité est calculé par la formule suivante :

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

Avec P est la pression du travail exprimé en Psia .

$Z = 1,03$	}	⇒	$Z = 1,03 \text{ Kg / m}^3.$
$M_{GN} = 18,71 \text{ Kg / K mole.}$			
$T = 280 \text{ °C} = 553,15 \text{ °K.}$			
$P = 4,5 \text{ kg / cm}^2 = 4,44 \text{ atm.}$			
$R = 0,082 \text{ L. atm / mole. °K.}$			
			$\rho_{GN} = 1,77 \text{ Kg / m}^3.$

❑ **Calcul de la vitesse superficielle U_1 à travers le lit [12]**

$$S = (\pi * D^2) / 4 \quad (\text{Voir l'annexe 7}) .$$

$$= 37.26 \text{ ft}^2$$

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

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

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

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

❑ **Calcul de la viscosité du GN chaud VIS_1**

❖ **Le gaz naturel de refroidissement $T = 12,7 \text{ }^\circ\text{C}$ $P = 4,5 \text{ kg / cm}^2$**

• **Calcul de la masse volumique du GN ρ_{GN} [5]**

Connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération :

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

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

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

$$VIS_1 = 0,02 \text{ Cp} = 0,043 \text{ Lb / ft .hr} \quad (\text{Voir annexes 8}).$$

D'après l'équation (13) .

$\Delta P/L_1 = 0,25 \text{ psi / ft}$
--

Calcul de Re_1

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

$$VIS_1 = 0,02 \text{ Cp} = 0,04 \text{ Lb / ft .hr}$$

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

D'après l'équation (14) .

$Re_1 = 166,14$

-Calcul de la perte de charge $\Delta P/L_2$ pour le GN froid [12]

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

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

$$T_r = T / T_c \quad P_r = P / P_c$$

T_c, P_c : paramètres pseudo critiques.

T_r, P_r : température et pression réduites.

$$T_c = \sum Y_i * T_{ci}$$

$$T_c = 194,3^\circ K.$$

$$P_c = \sum Y_i * P_{ci}$$

$$P_c = 45,12 \text{ atm}$$

◆ $Z = f (T_r = 1,47 ; P_r = 0,1)$.

Et selon l'annexe (9 et 10) :

$Z = 0,91 \text{ Kg} / \text{m}^3.$

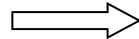
$$Z = 0,91$$

$$M_{GN} = 18,66 \text{ Kg} / \text{K mole.}$$

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

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

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



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

□ Calcul de la vitesse superficielle U_2 à travers le lit [12]

$$S = (\pi * D^2) / 4 .$$

$$= 37,26 \text{ ft}^2$$

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

$$M_g = M_{ref} = 710,08 \text{ Nm}^3/\text{hr} = 1,31 \cdot 10^3 \text{ Lb} / \text{hr}$$

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

$U_2 = 16,64 \text{ ft} / \text{min.}$

□ Calcul de la viscosité du GN froid VIS_2 [12]

Connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération

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

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

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

$$VIS_2 = 0,01 \text{ Cp} = 0,03 \text{ Lb /ft .hr (Voir annexes 8).$$

D'après l'équation (13) :

$$\Delta P/L_2 = 3,19 \cdot 10^{-2} \text{ psi / ft}$$

-Calcul de Re_2 [10]

$$Dp = 0,01 \text{ft (Voir annexes 7).}$$

$$VIS_2 = 0,01 \text{ Cp} = 0,03 \text{ Lb / ft .}$$

$$G = M_g / S = 241,56 \text{ lb / f1}^2 \cdot \text{hr}$$

D'après l'équation (14) :

$$Re_2 = 91,18$$

-Récapitulation des résultats

Tableau V.4. Récapitulation des résultats totaux

Les valeurs calculées	Les valeurs de design
D =1,58 m	D =2,10 m
Mt =4660,93 Kg	Mt=4653 Kg
H _t =2,1 m	H _t =2,1 m
H _f =9260000 BTU/hr = 2333481073.8 Kcal /hr	0,15*10 ⁶ < H _f < 3,3*10 ⁶ kcal /hr
t _r = 9 hr	t _r = 11 hr
t _{ref} = 4,88 hr	t _{ref} = 5 hr
M _g = 2000 Nm ³ /hr M _{ref} = 761,65 Nm ³ /hr	1000 <Débit < 2500 Nm ³ /hr
ΔP ₁ /L = 0,25 psi /ft ΔP ₂ /L = 0,03 psi /ft	0,01 < ΔP/L < 0,25 psi /ft
Re ₁ = 166,14 Re ₂ =91,17	Re > 100
t _{ads} = 39,1 hr	t _{ads} = 36 hr

-Suite à la mise en oeuvre 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 cités 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.**

CHAPITRE VI

ETUDE DES TROIS SOLUTIONS

VI-1-Etude de la première solution [12]

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

- Calcul le débit d'eau

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

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

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/ft^3)

Q : Débit volumique de la charge (ft^3/hr).

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

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

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

-Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse [12]

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

q_w : le débit d'eau en $\text{Lb}/\text{ft}^2\text{.hr}$.

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

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

$H_Z = 15,36 \text{ inch} = 1,28 \text{ ft} = 0,390 \text{ m}$
--

-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 ($H_t=2,1 \text{ m}=6,89 \text{ ft}$) (Voir annexes 7).

$H_s = 5,61 \text{ ft} = 1,71 \text{ m}$
--

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

-Estimation de la quantité d'eau adsorbée M_{ads} [12]

$$M_{ads} = ((H_s - (C * H_z)) * (X_s * D_L^2 * \rho_{tamis})) / 127,38$$

X_s : la capacité d'adsorption à l'équilibre neuf à 25°C, $X_s = 22$ % en poids (voir l'annexes 7).

ρ_{tamis} : Masse volumique du tamis

C : Constante relative aux tamis moléculaire.

$$M_{ads} = 1,15 \cdot 10^3 \text{ Lb}$$

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 $C=0,45$.

-Calcul du temps d'adsorption

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

$$t_{ads} = 200,28 \text{ hr}$$

q_w : le débit d'eau dans la charge de GPL,

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

H_t : la hauteur total du lit (ft³ / hr).

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

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

X_s : la capacité d'adsorption à l'équilibre neuf à 25°C,

$$X = 13,80 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de dessicant}$$

Détermination de l'efficacité d'adsorption

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

EFF = 90 %

89,4463913

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

-Calcul du bilan thermique [12]**-Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q_{des}**

La quantité d'eau adsorbée $M_{ads} = 1,15 \cdot 10^3$ Lb.

La chaleur de désorption $\Delta H = 1800$ BTU/Lb (Voir annexes 7).

D'après l'équation (7) :

$Q_{des} = 2,07 \cdot 10^6$ BTU

-Calcul des perte de chaleur Q_{perte}

On estime les pertes par : $Q_{perte} = 0,1 (Q_{acier} + Q_{des} + Q_{tamis})$

$$Q_{acier} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 8,08 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$Q_{des} = 2,07 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

D'après l'équation (5) :

$Q_{perte} = 4,04 \cdot 10^5$ 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} [12]

D'après l'équation (1) : $Q_{totale} = Q_{perte} + Q_{acier} + Q_{des} + Q_{tamis}$

$Q_{totale} = 4,45 \cdot 10^6$ BTU
--

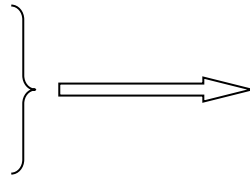
-Calcul de la chaleur fournie par le four H_f [5]

D'après l'équation (7) :

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

$$1/\varepsilon = 0,39$$

$$Q_{\text{totale}} = 4,45 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$



$H_f = 1,14 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr}$
--

-Calcul du temps de réchauffage du tamis « t_r »

D'après l'équation (8) : $t_r = H_f / \Delta H \cdot M_{GN}$

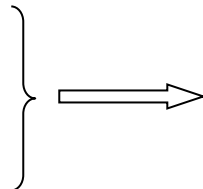
M_{GN} : La quantité de chaleur du GN sortant du four exprimé en (Nm³/hr).

$\Delta H (T_e - T_{ads})$: La différence de l'enthalpie du gaz de réchauffage (BTU / Nm³) (Voir annexes 6).

$$H_f = 1,14 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr}$$

$$\Delta H = 531,74 \text{ BTU / Nm}^3.$$

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



$t_r = 10,71 \text{ hr}$

-Calcul de la chaleur fournie par le four pour cycle $H_{F/CYCLE}$ [12]

$$t_r = 10,71 \text{ hr}.$$

$$H_f = 1,14 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr}.$$

$$t_{ads} = 200,79 \text{ hr}.$$

D'après l'équation (9) :

$H_{F/CYCLE} = 6,09 \cdot 10^5 \text{ BTU / hr}$
--

-Calcul du temps de refroidissement du tamis « t_{ref} »

D'après l'équation (10) : $t_{ref} = ((Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{acier}}) / Q_{\text{totale}}) * t_r$

$$Q_{\text{totale}} = 4,45 \cdot 10^6 \text{ BTU}.$$

$$Q_{\text{acier}} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU} .$$

$$Q_{\text{tamis}} = 8,08 \cdot 10^5 \text{ BTU} .$$



$T_{ref} = 4,76 \text{ hr} \cong 5 \text{ hr}$
--

$$t_r = 10,71 \text{ hr.}$$

-Calcul de la chaleur soutirée au système Q_{ref} [12]

D'après l'équation (11) :

$$\left. \begin{array}{l} Q_{acier} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU.} \\ Q_{tamis} = 8,08 \cdot 10^5 \text{ BTU.} \\ T_{ref} = 4,76 \text{ hr.} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{Q_{ref} = 4,15 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr}}$$

-Calcul du bilan de matière de la régénération

-Calcul du débit du gaz de refroidissement [12]

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).

T_E : 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)

$$\left. \begin{array}{l} Q_{ref} = 4,15 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr.} \\ \Delta H_{(T_{rech} - T_{ref})} = 531,74 \text{ BTU/Nm}^3. \\ T_S = 280 \text{ }^\circ\text{C} = 536 \text{ }^\circ\text{F} = 553,15 \text{ }^\circ\text{K.} \\ T_E = 12,7 \text{ }^\circ\text{C} = 54,86 \text{ }^\circ\text{F} = 285,85 \text{ }^\circ\text{K.} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{M_{ref} = 781,45 \text{ Nm}^3/\text{hr.}}$$

-Calcul des pertes de charges

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

□ **Calcul de la vitesse superficielle U_1 à travers le lit**

$$\begin{aligned} S &= (\pi * D^2) / 4 . \\ &= 37,26 \text{ ft}^2 . \\ \rho_{GN} &= 1,77 \text{ Kg / m}^3 = 0,11 \text{ Lb / ft}^3 . \end{aligned}$$

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

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

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

□ **Calcul de la viscosité du GN chaud VIS₁ [12]**

Connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération :

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

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

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

$$VIS_1 = 0,02 C_P . \quad (\text{Annexe 8}).$$

D'après l'équation (13).

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

VIS : la viscosité du GN (C_p).

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.

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

$$\Delta P/L_1 = 0,25 \text{ psi} / \text{ft} .$$

-Calcul de Re₁

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

$$VIS_1 = 0,02 C_P = 0,04 \text{ Lb} / \text{ft} . \text{hr} \quad (\text{Voir annexes 6}).$$

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

D'après l'équation (14) :

$$Re_1 = 166,14$$

-Calcul de la perte de charge $\Delta P/L_2$ pour le GN froid [12]**□ Calcul de la vitesse superficielle U_2 à travers le lit**

$$S = (\pi * D^2) / 4.$$

$$= 37,26 \text{ ft}^2.$$

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

$$M_g = M_{ref} = 709,25 \text{ Nm}^3/\text{hr} = 1,31 \cdot 10^5 \text{ Lb} / \text{hr}.$$

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

$U_2 = 16,64 \text{ ft} / \text{mn} .$
--

□ Calcul de la viscosité du GN froid VIS_2

Connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération :

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

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

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

$$VIS_2 = 0,01 C_P = 0,03 \text{ Lb} / \text{ft} . \text{hr} . \text{ (Voir annexes 6)} .$$

D'après l'équation (13) :

$\Delta P/L_2 = 0,03 \text{ psi} / \text{ft} .$

-Calcul de R_{e2}

$$D_P = 0,01 \text{ft} \text{ (Voir annexes 7)} .$$

$$VIS_2 = 0,01 C_P = 0,03 \text{ Lb} / \text{ft} . \text{hr} .$$

$$G = M_g / S = 241,28 \text{ lb} / \text{ft}^2 . \text{hr} .$$

D'après l'équation (14) .

$R_{e2} = 91,07$

- 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 200 heures et 16 minutes.

Cette modification doit être suivie d'une petite variation de la durée de régénération de 10 heures et 71 minutes pour le réchauffage , 4 heures et 76 minutes pour le refroidissement .

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 .

VI-2-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 .

-Calcul le débit d’eau [12]

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

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

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

-Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse [12]

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

$H_z = 15,36 \text{ inch} = 1,28 \text{ ft} = 0,390 \text{ m}$
--

-Estimation de la quantité d’eau adsorbée M_{ads}

$$M_{ads} = ((H_s - (C * H_z)) * (X_s * D_L^2 * \rho_{tamis})) / 127,38$$

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

-Calcul de la hauteur de la zone d’équilibre

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

$H_s = 5,61 \text{ ft} = 1,71 \text{ m}$
--

-Calcul de la hauteur non utilisée, H'

$$H' = H_t - H_s.$$

$$H' = 1,28 \text{ ft} = 0,390 \text{ m}$$

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

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

$$X = 13,80 \text{ Lb d'eau / 100 Lb de dessicant}$$

-Détermination de l'efficacité d'adsorption

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

$$\text{EFF} = 0,89 \%$$

-Calcul du bilan thermique [12]**-Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q_{des}**

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

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

D'après l'équation (2) :

$$Q_{\text{des}} = 1,98 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

-Calcul des pertes de chaleur Q_{perte}

$$Q_{\text{acier}} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{\text{tamis}} = 8,08 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$Q_{\text{des}_s} = 1,98 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

D'après l'équation (5) :

$$Q_{\text{perte}} = 3,95 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

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

D'après l'équation (1) :

$Q_{totale} = 4,35 \cdot 10^6 \text{ BTU}$
--

-Calcul de la chaleur fournie par le four H_f [5]

D'après l'équation (7) : $H_f = Q_{totale} / (1/\epsilon)$

$1/\epsilon = 0,3898.$ $Q_{totale} = 4,35 \cdot 10^6 \text{ BTU}.$	}	\Rightarrow	$H_f = 1,14 \cdot 10^7 \text{ BTU}$
---	---	---------------	-------------------------------------

-Calcul du temps de réchauffage du tamis « t_r » [12]

D'après l'équation (8) :

$H_f = 1,14 \cdot 10^7 \text{ BTU}$ $\Delta H = 531,74 \text{ BTU/Nm}^3.$ $M_{GN} = 2000 \text{ Nm}^3/\text{hr}.$	}	\Rightarrow	$t_r = 8,22 \text{ hr}$
---	---	---------------	-------------------------

-Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle $H_{F/CYCLE}$ [12]

$t_r = 10,75 \text{ hr} .$

$H_f = 1,14 \cdot 10^7 \text{ BTU}.$

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

D'après l'équation (9) :

$H_{F/CYCLE} = 3,28 \cdot 10^6 \text{ BTU}$

-Calcul du temps de refroidissement du tamis « t_{ref} »

D'après l'équation (10) :

$$Q_{totale} = 4,35 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{acier} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 8,08 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$t_r = 8,22 \text{ hr.}$$

$$\Rightarrow \boxed{T_{ref} = 6,15 \text{ hr}}$$

-Calcul de la chaleur soutirée au système Q_{ref}

D'après l'équation (11) :

$$Q_{acier} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU.}$$

$$Q_{tamis} = 8,08 \cdot 10^5 \text{ BTU.}$$

$$T_{ref} = 6,15 \text{ hr.}$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_{ref} = 4,04 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr}}$$

-Bilan de matière de la régénération [12]

-Calcul du débit du gaz de refroidissement

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

$$Q_{ref} = 4,04 \cdot 10^5 \text{ BTU/hr.}$$

$$\Delta H_{(T_s - T_e)} = 531,74 \text{ BTU/Nm}^3.$$

$$T_s = 280 \text{ }^\circ\text{C} = 536 \text{ }^\circ\text{F} = 553,15 \text{ }^\circ\text{K.}$$

$$T_e = 12,7 \text{ }^\circ\text{C} = 54,86 \text{ }^\circ\text{F} = 285,85 \text{ }^\circ\text{K.}$$

$$\Rightarrow \boxed{M_{ref} = 760,99 \text{ Nm}^3/\text{hr.}}$$

Selon les résultats obtenus , il est clairement appa­rant que la durée de régénération est modifiée , une diminution du temps de chauffage jusqu'à 8 heures 22 minutes et une durée de 6 heures 15 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 dessiccants 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 quelque soit la teneur d'eau dans la charge.

Le tableau suivant montre les différentes hauteurs du lit non utilisés lors de la déshydratation pour des teneurs d'eau différentes $t_{ads} = 36hr$.

Tableau VI.1. Les différentes hauteurs du lit non utilisés lors de la déshydratation

Y_{in} ppm	100,00	80,00	60,00	40,00	25,00
H_z ft	2,14	1,90	1,63	1,32	1,03
H tamis ft	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89
H_s ft	4,75	4,48	4,77	5,14	5,49
H' non utilisé ft	0,00	0,36	0,43	0,48	0,53

VI-3-Etude de la troisième solution

Dans cette partie de travail on va étudier l'impact de la diminution de la masse du tamis sur le fonctionnement de section de déshydratation de charge en comparant les dépenses d'énergies par celles obtenues dans les autres solutions, sans modifier ni le cycle d'adsorption ni celui de la régénération pour la teneur en eau de **Y_{in}=25 ppm**.

-Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse [12]

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

H_z = 15,36 inch = 1,28 ft = 0,390 m

-Calcul de la hauteur de la zone d'équilibre

d'après l'équation (23) on aura :

$$H_s = [(127,38 * M_{ads}) / (X_s * \rho_{tamis} * D_L^2)] + (C * H_z) .$$

$$H_s = 5,37 \text{ ft} = 1,637 \text{ m}$$

-Calcul de la hauteur totale du tamis H_t

$$H_t = H_s + H_z$$

$$H_t = 5,9 \text{ ft} = 1,8 \text{ m}$$

-Calcul du bilan thermique [12]

-Calcul de la chaleur nécessaire pour le réchauffage du tamis Q_{tamis} [12]

□ Calcul de la masse du tamis m_t

$$m_t = \frac{1}{4} * (\pi * D_L^2) * H_t * \rho_{tamis}$$

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

$$H_t = 5,9 \text{ ft}$$

$$\rho_{tamis} = 641 \text{ kg} / \text{m}^3 = 40,02 \text{ Lb} / \text{ft}^3$$

$$T_{ads} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ }^\circ\text{K} = 77 \text{ }^\circ\text{F}$$



$$m_t = 9,91 \cdot 10^3 \text{ Lb}$$

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

$$T_s = 227 \text{ }^\circ\text{C} = 440,6 \text{ }^\circ\text{F} = 500,15 \text{ }^\circ\text{K}.$$

$$T_{e_} = 280 \text{ }^\circ\text{C} = 536 \text{ }^\circ\text{F} = 553,15 \text{ }^\circ\text{K}.$$

D'après l'équation (6) :

$$T = 223,75 \text{ }^\circ\text{C} = 434,75 \text{ }^\circ\text{F} = 496,72 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$C_{pt} = 0,22 \text{ BTU} / \text{Lb} \cdot \text{ }^\circ\text{F} .$$

$$m_t = 9,91 \cdot 10^3 \text{ Lb} .$$

$$T = 223,75 \text{ }^\circ\text{C} = 434,75 \text{ }^\circ\text{F} = 496,72 \text{ }^\circ\text{K} . \quad \text{D'après l'équation (3) :}$$

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

$$Q_{tamis} = 7,79 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

-Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q_{des} [12]

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

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

D'après l'équation (2) :

$$Q_{des} = 1,98 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

-Calcul des perte de chaleur Q_{perte}

$$Q_{acier} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ BTU} .$$

$$Q_{tamis} = 7,79 \cdot 10^5 \text{ BTU} .$$

$$Q_{des} = 1,98 \cdot 10^6 \text{ BTU} .$$

D'après l'équation (5) :

$$Q_{perte} = 3,92 \cdot 10^5 \text{ BTU}$$

-Calcul de la chaleur totale nécessaire à la régénération Q_{totale}

D'après l'équation (1) :

$$Q_{totale} = 4,32 \cdot 10^6 \text{ BTU}$$

-Calcul de la chaleur fournie par le four H_f [5]

D'après l'équation (7) : $H_f = Q_{totale} / (1/\epsilon)$

$$1/\epsilon = 0,3898.$$

$$Q_{totale} = 4,32 \cdot 10^6 \text{ BTU} .$$

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

-Calcul du temps de réchauffage du tamis « t_r » [12]

D'après l'équation (8) : $t_r = H_f / \Delta H \cdot M_{GN}$

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

$$\Delta H = 531,74 \text{ BTU/Nm}^3$$

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

$$t_r = 10,68 \text{ hr}$$

-Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle $H_F / CYCLE$ [12]

$$t_r = 9,73 \text{ hr .}$$

$$H_f = 1,03 \cdot 10^7 \text{ BTU / hr .}$$

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

D'après l'équation (9) :

$H_F / CYCLE = 3,11 \cdot 10^6 \text{ BTU / hr}$
--

D'après l'étude de la possibilité de réaliser la troisième solution qui est la diminution de la masse du tamis et après calculs ; on peut conclure qu'elle reste une solution qui n'est pas optimale car elle ne présente pas une économie importante d'énergie contrairement à celle obtenue par la première solution qui est le point essentiel à retenir par la réalisation de notre travail.

En plus, la diminution de la masse du tamis demande plus d'investissement qui rend cette solution difficile à réaliser, donc la première solution est plus pratique et exploitable.

VI-4-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 :

1. Une diminution de gaz naturel consommé lors de la régénération de la séquence de refroidissement.
2. 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.
3. Une augmentation de la durée de vie du tamis moléculaire.
4. Une perte moins importante lors de la régénération du produit GPL piégé dans le tamis moléculaire.

5. Augmentation de l'efficacité du tamis à cause de la diminution de la destruction des cristaux.

En plus pour la mise en oeuvre de cette idée, aucun investissement n'est nécessaire.

VI-5-Comparaison entre les deux Solutions Optimales

Première solution : en fixe le temps de régénération puis en varie le temps d'adsorption

Tableau VI.3.L'influence du temps de régénération sur l'adsorption

Teneur en eau en ppm	100	80	60	40	20
Temps d'adsorption	36,98	47,22	64,45	99,31	205,40
Temps de réchauffage	10,28	10,39	10,52	10,67	10,87
Nombre d'heures par ans	8640	8640	8640	8640	8640
Débit de réchauffage	2000	2000	2000	2000	2000
Nombre de cycle pendant un an	5,53	4,47	3,38	2,27	1,13
Nombre de régénération par un an	16,59	13,41	10,15	6,80	3,40
Quantité de GN pour le réchauffage pendant une régénération	20 550	20 780	21 040	21 346	21 739
Quantité de GN pour le réchauffage pendant un an	340 892	278721	213 495	145 170	73 821
Gain en GN par ans et par train en Nm ³		6,41 10⁵	6,92 10⁵	7,48 10⁵	8,08 10⁵

Deuxième solution: en fixe le temps de d'adsorption puis en varie le temps régénération

Tableau VI.4.L'influence du temps d'adsorption sur le temps de régénération

Teneur en eau en ppm	100	80	60	40	20
Temps d'adsorption	36	36	36	36	36
Temps de réchauffage	10,03	8,86	7,73	6,64	5,57
Nombre d'heures par ans	8640	8640	8640	8640	8640
Débit de réchauffage	2000	2000	2000	2000	2000
Nombre de cycles pendant un an	188	193	198	203	208
Nombre de régénération par un an	188	193	198	203	208
Quantité de GN pour le réchauffage pendant une régénération	20 055	17 717	15 467	13 278	11 146
Quantité de GN pour le réchauffage pendant un an	341 013	304057	267833	231 962	196 418
Gain en quantité de GN par ans et par train en Nm ³		3,52 10⁵	3,57 10⁵	3,65 10⁵	3,74 10⁵

VI-6-Représentation graphique des avantages de solution optimale

VI-6-1-Prolongation du temps d'adsorption

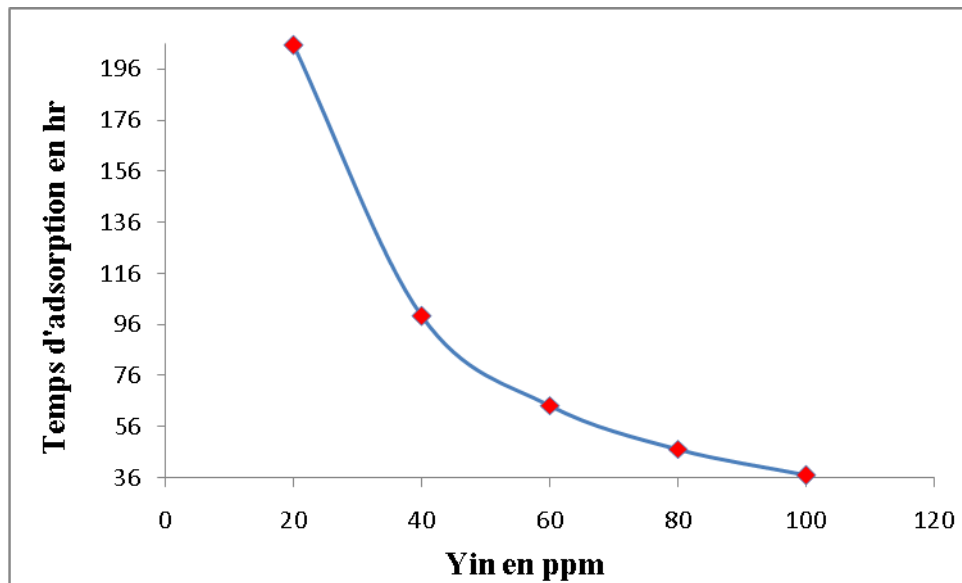


Figure VI.1. Le temps d'adsorption en fonction de la teneur en eau.

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

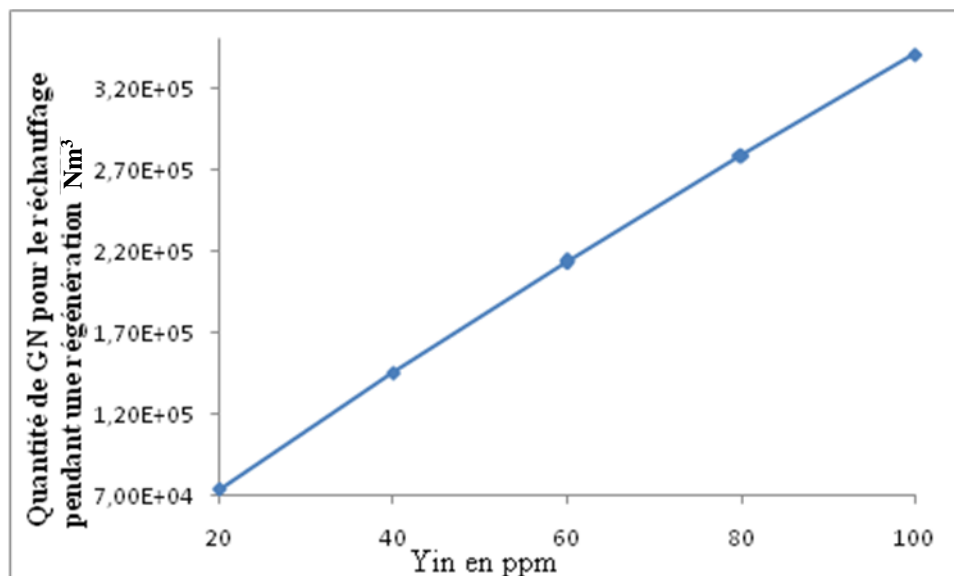


Figure VI.2. Quantité de GN utilisée pendant une régénération en fonction de la teneur en eau pour la première solution.

Nous remarquons que la quantité de GN utilisée pour les 100 ppm diminue avec la diminution de la teneur en eau dans la charge GPL.

VI-6-2-modification du temps de régénération

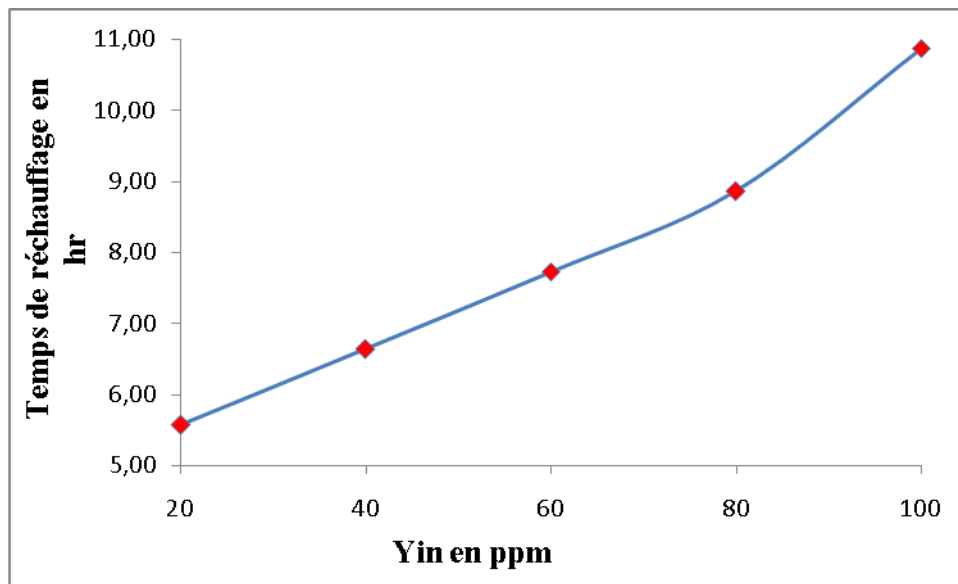


Figure VI.3. Le temps de réchauffage en fonction de la teneur en eau .

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

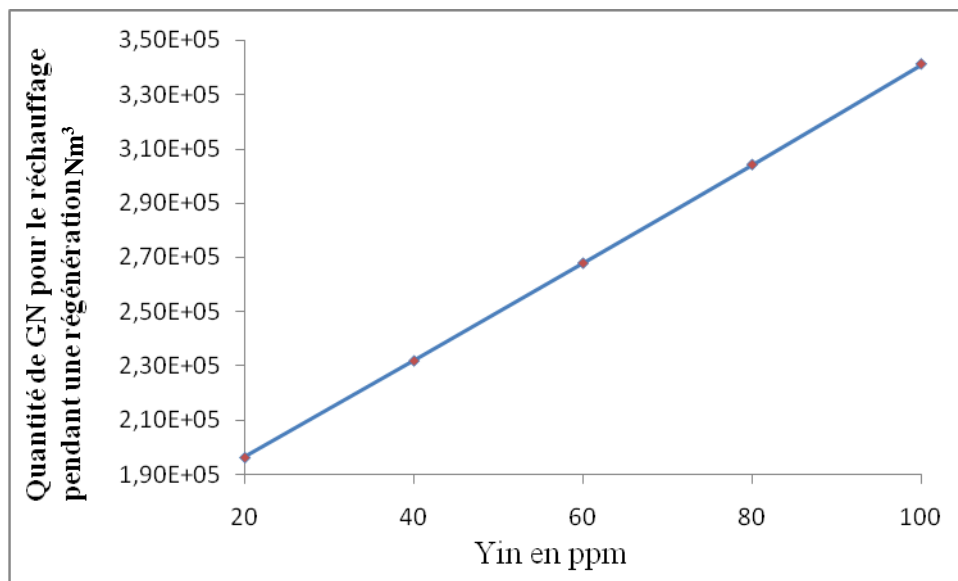


Figure VI.4. Quantité de GN utilisée pendant une régénération en fonction de la teneur en eau pour la deuxième solution.

Nous remarquons que la quantité du GN utilisée diminue proportionnellement en fonction de la teneur en eau dans le GPL .

CHAPITRE VII
ETUDE ECONOMIQUE

VII-1-Calcul économique

Pour mettre en valeur notre étude, nous avons trouvé intéressant de la finaliser par un calcul économique traduisant les gains qui doit bénéficier le complexe GP1 /Z par la mise en exploitation de nos résultats.

VII-2-Etude économique des résultats de la solution optimale

-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 Nm³. soit 1.255 DA pour Nm³ / hr)

$$\text{Le GN de chauffage : } 1.255 * 1756622.8 = 2.20 * 10^6 \text{ DA.}$$

$$\text{Le GN de refroidissement : } 1.255 * 304978.367 = 0.38 * 10^6 \text{ DA.}$$

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 = $12 * 1.29 * 10^6$
= $15.5 * 10^6 \text{ DA.}$

-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 tout les 9 ans du fait qu'il y a 3 déshydrateurs par train.
- Le changement des tamis de la phase II se fait tout les 6 ans du fait qu'il y a 2 déshydrateurs par train.
- Le changement des tamis de la phase III se fait tout 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 *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*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 *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 * 12 +160 478 *4+106 991 *9).

Tableau VII.1.récapitulation des résultats

	cycle calculé
Gain réel en GN annuel pour 9 trains par an en DA	15.5 10⁶
Gain en vie des tamis annuel total pour le complexe en DA	2.88 10⁶

CONCLUSION GENERALE

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

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

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

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

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

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

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

- ❖ La durée de vie du matériel sera plus longue du fait qu'avec un nombre de cycles moins important, le matériel sera exposé à moins de contraintes de pression (moins de séquence de pressurisation et dépressurisation) et de contraintes de température (réchauffage et refroidissement).

- ❖ La durée de vie de la robinetterie comme les séquences sont gérées par les ouvertures et fermetures des vannes.

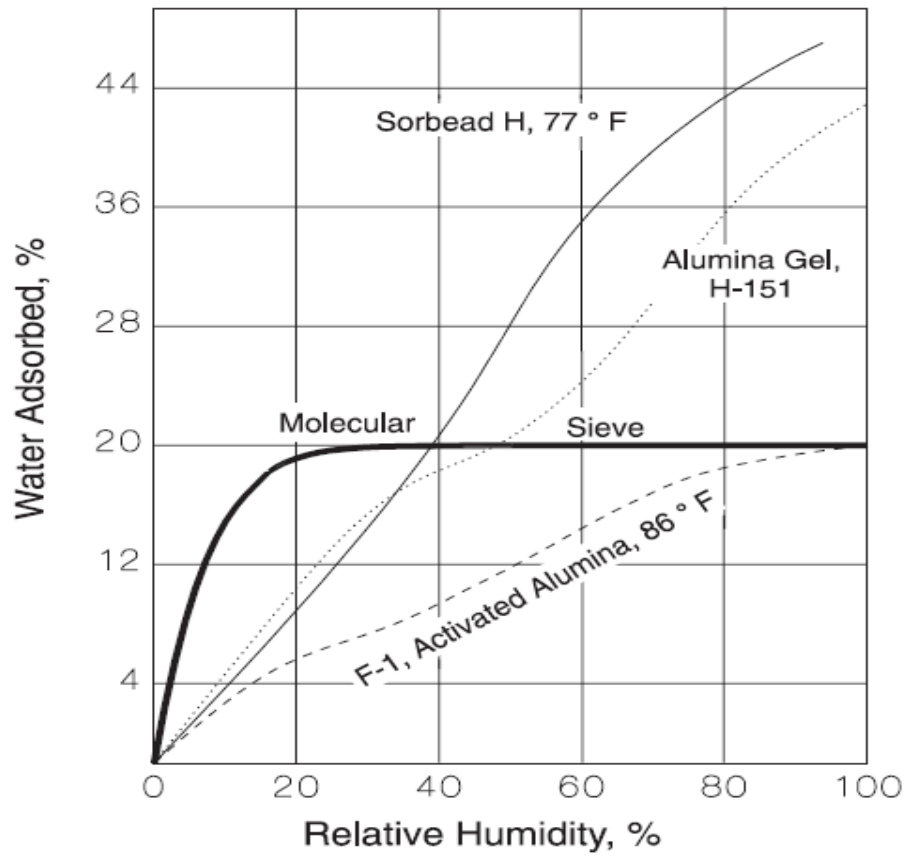
Cette optimisation nous permettra d'économisée une quantité de GN de $(2.74 \cdot 10^7 \text{ Nm}^3)$ qui se traduit par une valeur annuelle de $(15.5 \cdot 10^6 \text{ DA})$.

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

BIBLIOGRAPHIE

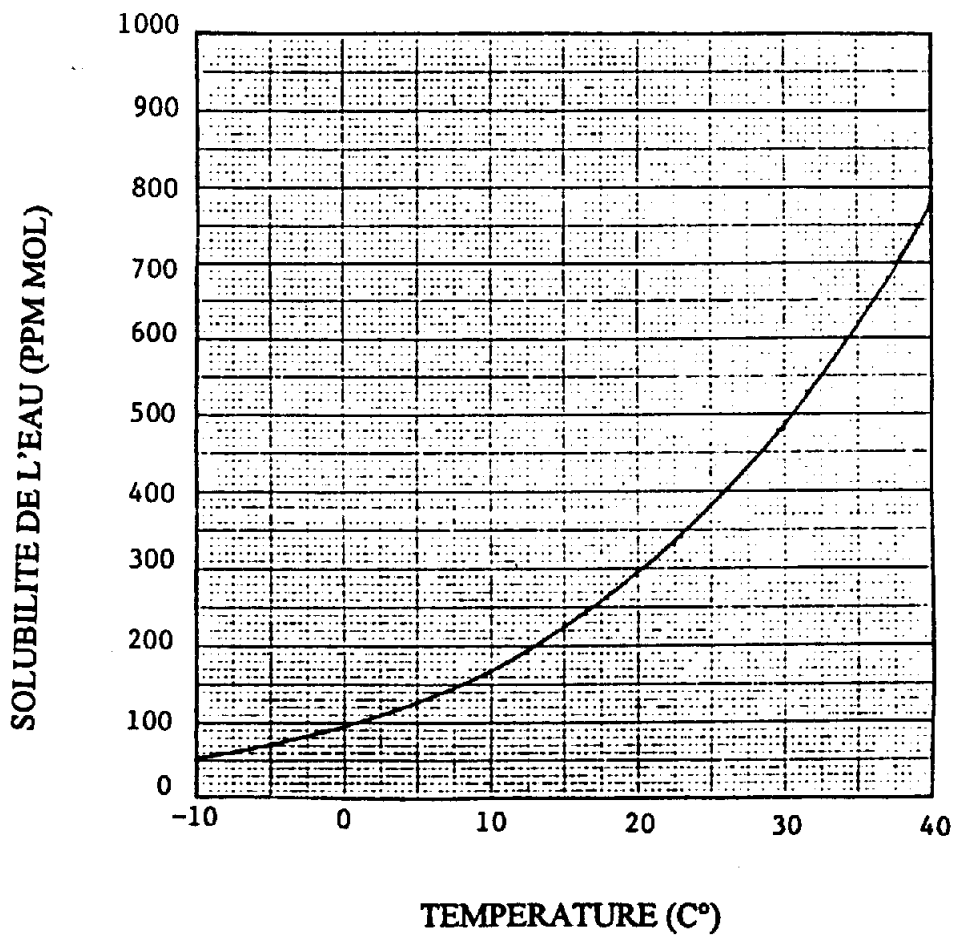
- [1]. Polycopie I.A.P “ propane liquide déshydratation usine moléculaire Seive”
- [2]. Manuel opératoire ; process : volume 1 et 2 .
Document GP1-Z
- [3]. Catalogue mécanique ; manuel : volume 1.
Document GP1-Z
- [4]. Manuel opératoire ; section déshydratation.
Document GP1-Z
- [5]. Formation perfectionnement 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; proprieties des of gaz and liquids.
- [12]. RUTHVEN D. M ; principles of adsorption and adsorption process
John Wiley et sons, new York.
- [13]. Grace ; les tamis moléculaire Caractéristiques et Applications Western
Germany ; Juin 1980.
- [14]. Revue de I.F.P.
Gras pretreatment: w.w Weterman Institut of gas technology Chicago
- [15]. Kohl & Richard - Gas Purification .

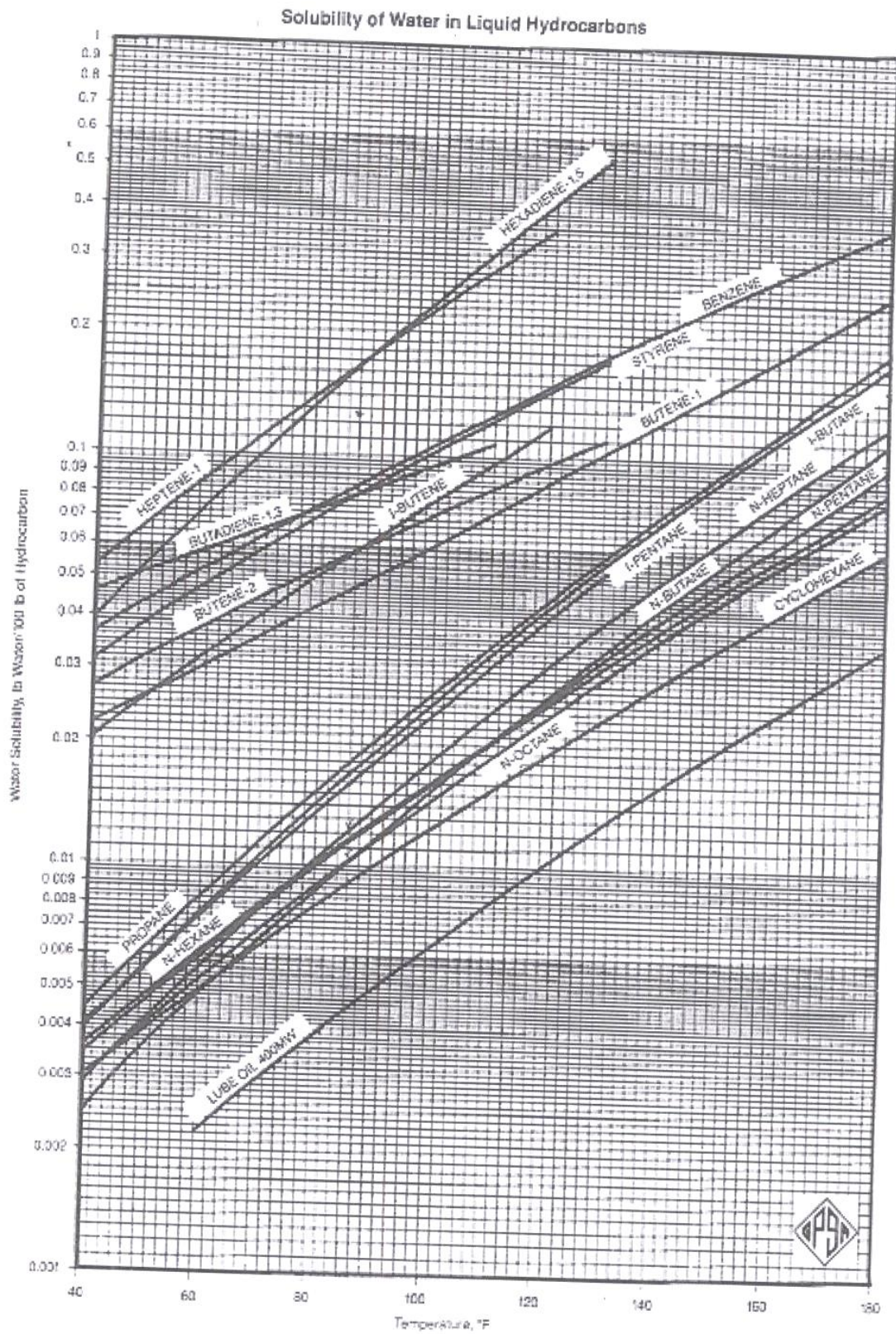
ANNEXES

Static Equilibrium Capacity vs. Relative Humidity for Selected Solid Desiccants⁴³

SOLUBILITE DE L'EAU DANS LA CHARGE DE GPL

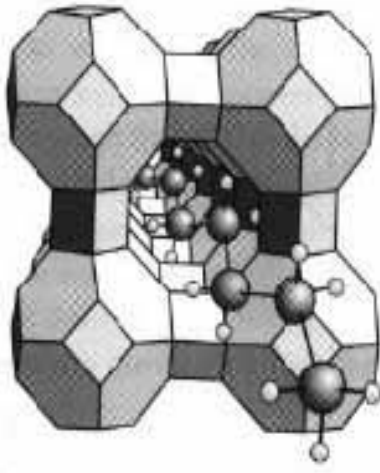
- Note 1. Calcul selon la procédure API
- 2. Source de charge = 13 (moyenne)



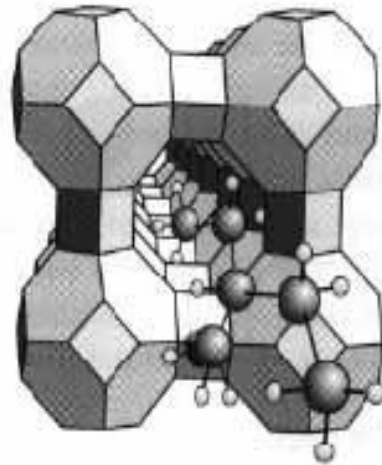


La solubilité de l'eau dans les hydrocarbures liquide

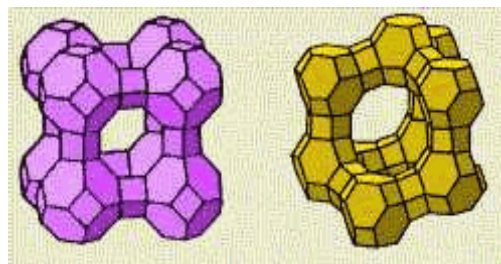
Tamis moléculaires



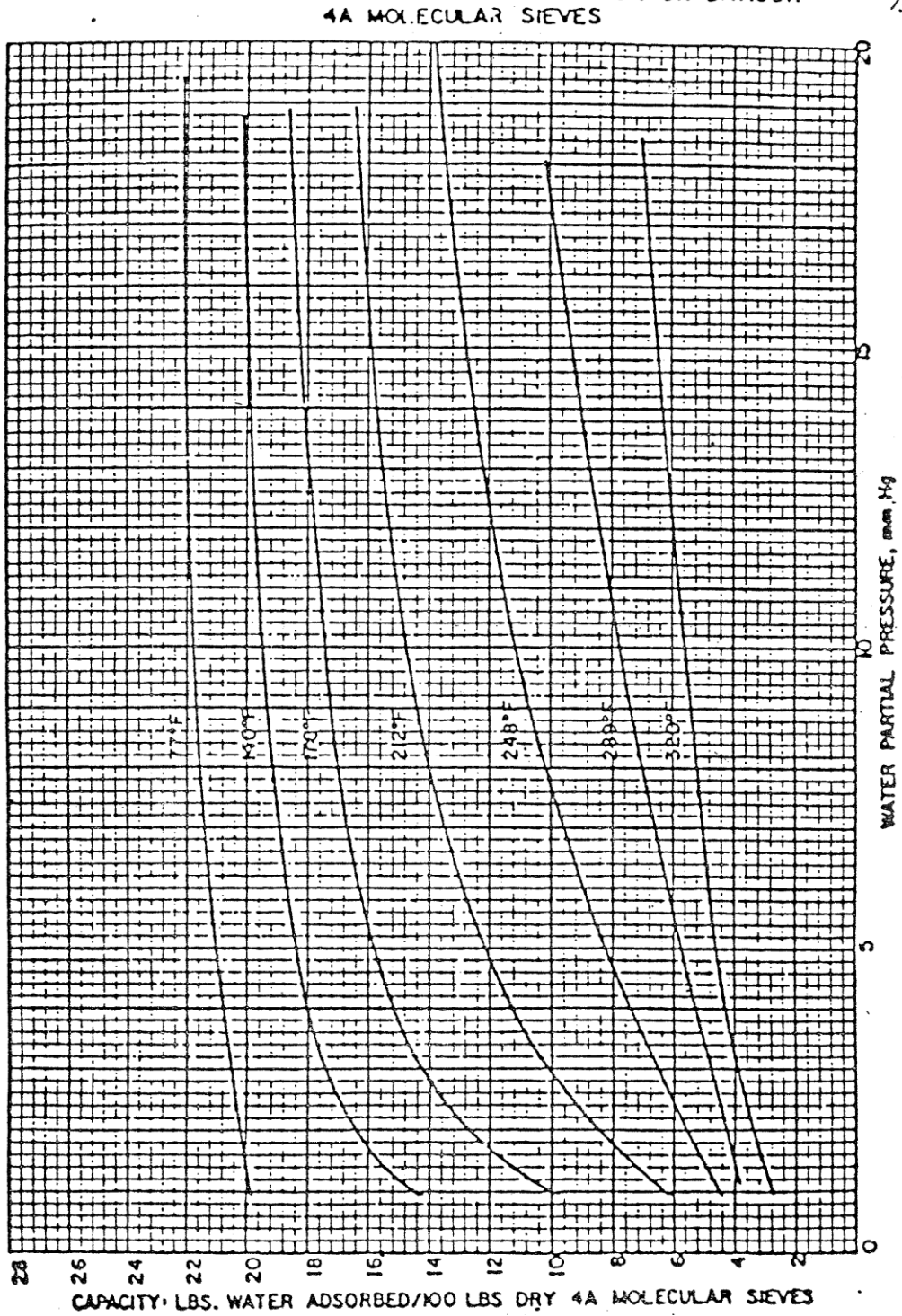
Structure de zéolithe de type A



Structure de zéolithe de type X



Capacité d'adsorption de l'eau en fonction de température



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.

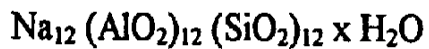
No. CPT	Composant	A	B	C x 10 ³	D x 10 ⁶	E x 10 ⁸	F x 10 ⁹	G	Intervalle °C
<i>Non-Hydrocarbonées</i>									
1	Oxygène	-2,283574	0,952440	-0,281140	0,655223	-0,452316	1,087744	2,080310	-175 to 1200
2	Hydrogène	28,671997	13,396156	2,960131	-3,980744	2,661667	-6,099863	-11,801371	-175 to 1200
3	Eau	-5,729915	1,915007	-0,395741	0,876232	-0,495086	1,038613	0,702815	-175 to 1200
4	Sulfure d'hydrogène	-1,437049	0,998865	-0,184315	0,557087	-0,317734	0,636644	1,394812	-175 to 1200
5	Azote	-2,172507	1,068490	-0,134096	0,215569	-0,078632	0,069850	1,805409	-175 to 1200
6	Ammoniac	-2,202606	2,010317	-0,650061	2,373264	-1,597595	3,761739	0,990447	-175 to 1200
7	Carbone	9,572700	-0,199901	1,535456	0,267516	-0,811532	2,726889	1,687611	-175 to 1200
8	Monoxyde de carbone	-2,269176	1,074015	-0,172664	0,302237	-0,137533	0,200365	2,018445	-175 to 1200
9	Dioxyde de carbone	11,113744	0,479107	0,762159	-0,359392	0,084744	-0,057752	2,719180	-175 to 1200
10	Dioxyde de soufre	3,243188	0,461650	0,248915	0,120900	-0,188780	0,568232	2,086924	-175 to 1200
<i>Paraffines</i>									
11	Méthane	-16,228549	2,393594	-2,218007	5,740220	-3,727905	8,549685	-0,339779	-175 to 1200
12	Ethane	-0,049334	1,108992	-0,188512	3,965580	-3,140209	8,008187	1,995889	-175 to 1200
13	Propane	-1,717565	0,722648	0,708716	2,923895	-2,615071	7,000545	2,289659	-175 to 1200
14	n-Butane	17,283134	0,412696	2,028601	0,702953	-1,025871	2,883394	2,714861	-75 to 1200
15	2-Méthylpropane	26,744208	0,195448	2,523143	0,195651	-0,772615	2,386087	3,466595	-75 to 1200
16	n-Pentane	63,201677	-0,011701	3,316498	-1,170510	0,199648	-0,086652	4,075275	-20 to 1200
17	2-Méthylbutane	64,252075	-0,131900	3,541156	-1,333225	0,251463	-0,129589	4,572976	-20 to 1200
18	2,2-Diméthylpropane	27,380416	0,018305	3,063221	-0,375030	-0,530964	2,059134	3,388342	-75 to 1200
19	n-Hexane	-17,191071	0,959226	-0,614725	6,142101	-6,160952	20,868190	-0,207040	-75 to 700
20	2-Méthylpentane	33,798408	0,173685	2,348998	0,844100	-1,559115	5,534684	2,968423	-75 to 700
21	3-Méthylpentane	17,964768	0,397799	1,209870	3,254556	-3,942661	14,384148	2,149541	-75 to 700
22	2,2-Diméthylbutane	92,706801	-0,500323	4,525783	-2,415290	0,713199	-0,591097	5,617113	-20 to 700
23	n-Heptane	-0,153725	0,754499	0,261728	4,366358	-4,484510	14,842099	0,380048	-75 to 700
24	2-Méthylhexane	17,893709	0,404849	1,334653	2,877698	-3,511818	12,540055	1,823456	-75 to 700
25	3-Méthylhexane	36,807299	0,167431	2,262250	1,067097	-1,781538	6,169491	2,864993	-75 to 700
26	2,4-Diméthylpentane	11,508769	0,093303	2,598254	0,630349	1,428307	4,569218	2,847131	-20 to 700
27	n-Octane	2,604725	0,724670	0,367845	4,142833	-4,240199	13,734055	0,327588	-75 to 700
28	2,2-Diméthylhexane	21,451302	0,226073	2,074483	1,466277	-2,169048	7,742088	2,139163	-20 to 700
29	2-Méthylheptane	27,405630	0,305110	1,826883	1,744174	-2,311344	7,752627	2,038844	-75 to 700
30	2,2,4-Triméthylpentane	26,118096	0,039675	2,742294	0,328610	-1,206014	4,586420	2,846608	-75 to 700
31	n-Nonane	4,000278	0,707805	0,438048	3,969342	-4,043158	12,876028	0,257265	-75 to 700
32	n-Décane	-6,962020	0,851375	-0,263041	5,521816	-5,631733	18,885443	-0,412446	-75 to 700
33	n-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.

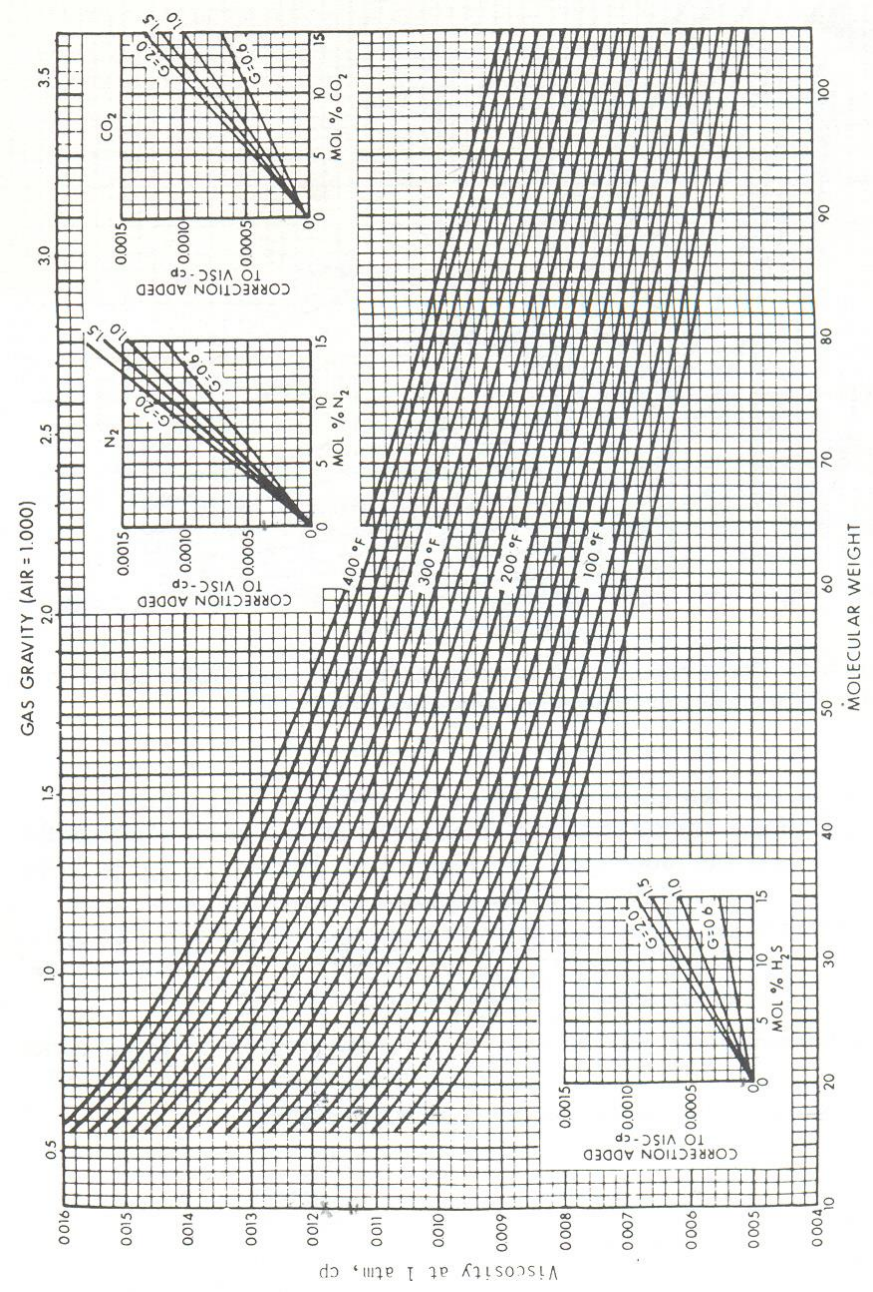
**PROPRIETES PHYSIQUE DE L'ADSORBANT
(TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES)**

CHEMICAL FORMULA**Conditions d'expédition**

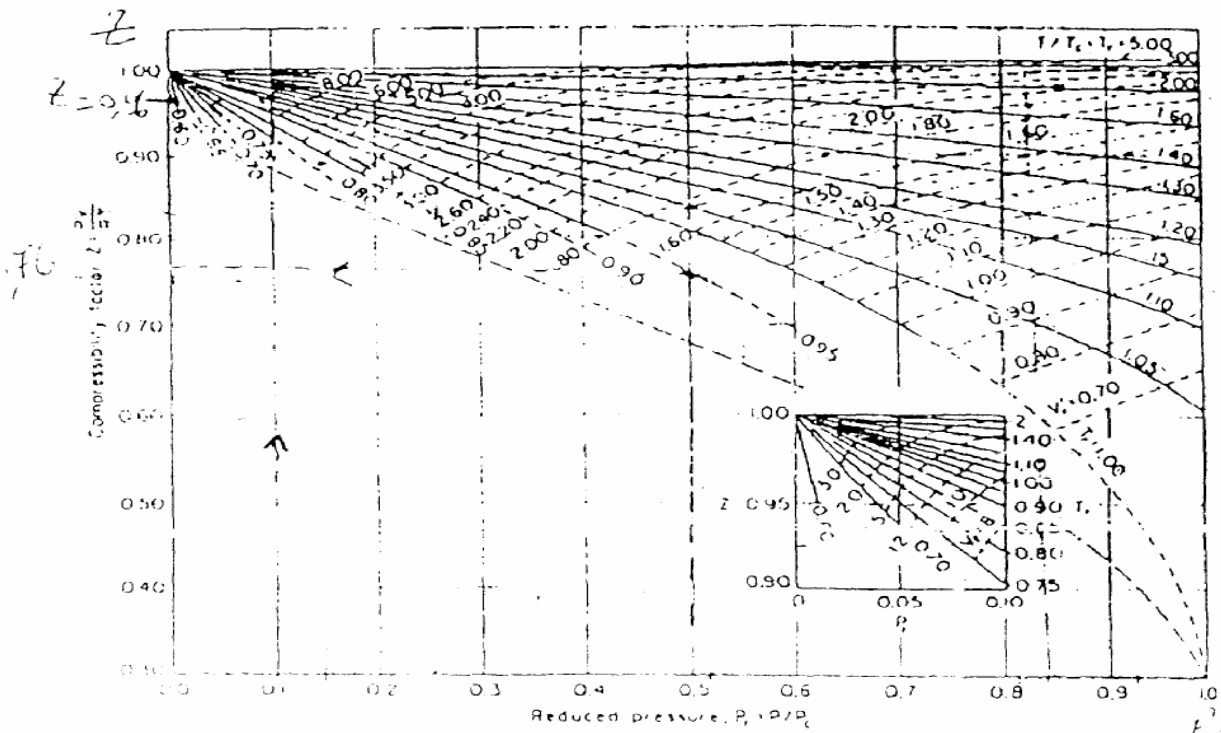
Le tamis moléculaire de type 4A-DG TRISIV 1/8 est disponible sous forme de granulés de 3,2 mm. Il est expédié sous containers acier, d'un poids net de 135 kg le container.

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

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



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



12a - General compressibility charts

$$\frac{V}{V_c} = \frac{ZT}{P_r}$$

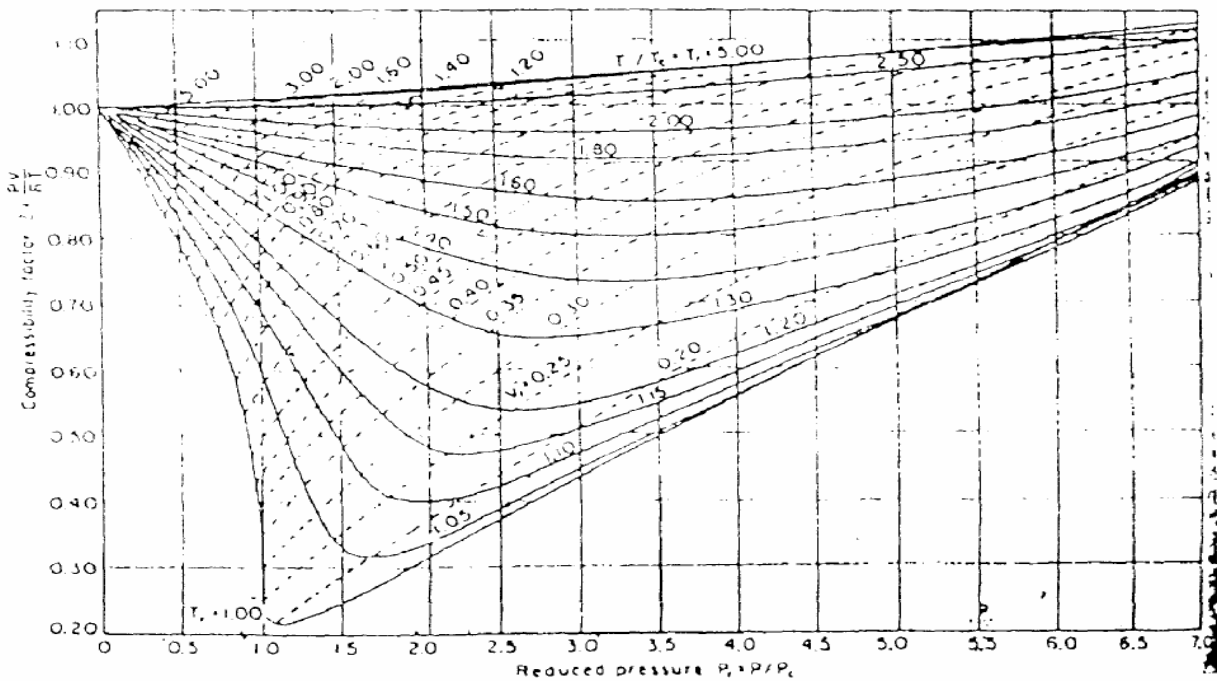


Figure VI- Détermination du coefficient de compressibilité Z.

Constantes critiques de pression et de température

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

PHYSICAL CONSTANTS

*See the Table of Notes and References.

Number	See Note No. → Compound	Formula	A.		B.		C.		D.		Critical constants			Number
			Molar mass (molecular weight)	Bolting point, °F 14.696 psia	Vapor pressure, psia 100 °F	Freezing point, °F 14.696 psia	Refractive index, n_D 60 °F	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	Isocotane	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			

Annexe (11)

