



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Industries Pétrochimiques
Spécialité : Pétrochimie

Thème

**OPTIMISATION DU TEMPS DE PASSAGE D'UN GPL DANS UN
SECHEUR AU NIVEAU DU COMPLEXE GP2/Z**

Présenté et soutenu publiquement par :

Nom : SADOUNI Prénom : Mohammed Reda

BAROUDI Youcef

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme HEBBAR Chafika	MCA	Univ-Oran 2	Présidente
Mme TALBI Zahera	MAA.	Univ-Oran 2	Encadreur
Mme MECHKEN Karima Amel	MAA	Univ-Oran 2	Examinatrice

Juin 2017

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	
CHAPITRE I : Généralités sur les GPL (Gaz Pétrole Liquéfiés).....	2
1.1 Définition Des GPL.....	2
1.2 L'origine Des GPL.....	2
1.3 Caractéristiques Du GPL.....	3
1.3.1 Caractéristiques Du Propane Et Du Butane Commerciaux.....	5
1.4 L'utilisation des GPL	5
1.5 Les Risques Lies Aux GPL	8
1.6 GPL Au Niveau National.....	8
1.7 GPL Au Niveau International.....	11
CHAPITRE II : Présentation du Complexe GP2/Z.....	13
II.1 Localisation Du Complexe GP2/Z	14
II.2 Historique Du Complexe GP2/Z.....	15
II.3 Organisation Du Personnel Du GP2/Z.....	18
II.4 Description du Procédé du Complexe GP2/Z.....	19
II.4.1 Section De Detente	20
II.4.2 Section Du Stockage Tampon	21
II.4.3 Section Deshydratation	22
II.5 Section De Separation.....	26
II.5.1. Parametres De Fonctionnement Des Deux Colonnes 407/6201/A Et B.....	28
II.5.1.1 Parametres De Fonctionnement En Exploitation	28
II.6 Section Refrigeration.....	30
II.6.1 Refrigeration Des Produits	30
II.6.2 Circuit Propane Commercial	30
II.6.3 Circuit Du Butane Commercial	31
II.6.4 Boucle De Refrigeration Au Propane	31
II.7 Section Boil Off	32
II.8. Circuit De Recuperation Du Propane.....	33
II.8.1. Circuit Du Propane Refrigerant	33
II.9 Section Stockage	34
II.9.1. Butane Ambiant.....	34
II.9.1.1. Section De Stockage Butane Ambiant	34

II.8.1.2. Chargement Camion Du Butane Ambiant.....	35
II.9.2. Propane Refrigere	35
II.9.2.1. Section De Stockage De Propane Refrigere.....	35
II.9.2.2. Chargement Navire Du Propane Refrigere	35
II.9.3. butane refrigere	35
II.9.3.1. Section De Stockage De Butane Refrigere.....	35
II.9.3.2. Chargement Navire Du Propane Refrigere	36
II.10.Les Utilites :	36
II.11. Les Taches Du Laboratoire:	37
II.12 Parametre Des Deferentes Etapes Precedentes.	40
CHAPITRE III: Déshydratation et Régénération	43
III.I. Deshydratation	43
III.1.1 Introduction.....	43
III.2.Procede De Sechage	44
III.2.1. Sechage Par Absorption.....	45
III.2.2. Deshydratation Par Adsorption	45
III.2.3. Differents Types D'adsorbants Utilises Pour La Deshydratation	45
III.3 Tamis Moleculaires	46
III.4. Description Du Phenomene D'adsorption.....	47
III.4.1. Colonne D'adsorption	47
III.4.1.1.La Procedure De Remplissage Du Secheur	47
III.4.2 Concept De Zone De Transfert De Masse.....	50
III.5. Regeneration.....	51
III.5. Effet Des Variables De Procede	54
III.6 Type Et Dimension Du Tamis	49
III.7. Description Des Tamis Moléculaires	56
III.7.1. Introduction aux tamis	56
III.7.2. Tamis Moleculaire Sous Ses Differentes Formes	56
III.7.3. Description	58
III.7.3.1 Fiche Technique Du Tamis Moléculaire.....	58
III.8. Proprietes de tamis moleculaire type 4a-dg trisivtm 1/8”	59
CHAPITRE IV: Problématique	60
Problématique.....	62
IV.2 Composition De La Charge.....	64

IV.3. Dimensionnement Du Deshydrateur Pour Une Teneur De 100ppm.....	65
IV.3.1. Diametre Minimum Du Lit	65
IV.3.2 La hauteur totale du lit.....	66
IV.3.3. Calcul De La Vitesse Actuelle D'ecoulement.....	66
IV.4. Calcul De Debit D'eau	66
IV.5. Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse.....	67
IV.5.1. Calcul De La Hauteur De La Zone D'equilibre	67
IV.6. Estimation De La Capacite D'adsorption A L'equilibre X_s	67
IV.6.1. Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100Lb d'adsorbant.....	67
IV.6.2. Estimation De La Quantite D'eau Adsorbée Mads	67
IV.6.3. Calcul Du Temps D'adsorption	68
IV.6.4. Determination De L'efficacite D'adsorption	68
IV.7. Calcul Du Bilan Thermique	69
IV.7.1. Propriete Du Gaz De Regeneration.....	69
IV.7.1.1. La Composition Du Gaz De Regeneration.....	69
IV.7.1.2. Le gaz naturel de réchauffage.....	69
IV.7.1.2.1. Calcul du coefficient de compressibilité (Z)	70
IV.7.1.2.2. Calcul De La Masse Volumique Du GN	70
IV.7.1.2.3. Calcul De La Capacite Calorifique Du Gaz De Chauffage (CPg)	70
IV.7.1.3. Le gaz naturel de refroidissement	70
IV.7.1.3.1. Calcul du coefficient de compressibilité (Z).....	71
IV.7.1.3.2. Calcul De La Masse Volumique Du GN	71
IV.7.1.3.3. Calcul De La Capacite Calorifique De Refroidissement (CPg).....	71
IV.8 Calcul Du Bilan Thermique	71
IV.8 1. Calcul De La Chaleur Necessaire Pour Le Rechauffage Du Tamis	71
IV.8 1.1. Calcul De La Masse Du Tamis	71
IV.8.1.2. Calcul De La Temperature Moyenne Du Lit En Fin De Chauffage	72
IV.8.2. Calcul De La Chaleur Necessaire Pour Le Rechauffage De L'acier	73
IV.8 3. Calcul De La Chaleur Necessaire A La Desorption	73
IV.8 4. Calcul Des Pertes De Chaleurs	73
IV.8.5. Calcul De La Chaleur Totale Necessaire A La Regeneration	73
IV.8.6. Calcul De La Chaleur L'economiseur Par Le Four	74
IV.8.6.1. Calcul De La Capacite Calorifique Moyenne Du Gaz	74
IV.8.9. Calcul Du Temps De Rechauffage Du Tamis « TR »	75

IV.9.1. Calcul de l'énergie totale fournie par l'économiseur	75
IV.9.2. Calcul De La Chaleur Necessaire Au Rechauffage Du Tamis	75
IV.9.3. Calcul De La Chaleur Necessaire Au Rechauffage De L'acier	75
IV.9.4. Calcul Des Pertes De Chaleur	75
IV.9.5. Calcul De La Chaleur Totale Reelle Consommer Par Le Systeme « Secheur »	76
IV.9.6. Calcul De L'efficacite Thermique De L'economiseur EFF'	76
IV.9.7. Donc Le Temps De Rechauffage Du Tamis Est :	76
IV.9.8. Calcul De La Chaleur Fournie Par L'economiseur Par Cycle	76
IV.9.9. Calcul Du Temps De Refroidissement Du Tamis « Tref »	76
IV.10. Calcul Des Pertes De Charges	77
IV.10.1. Calcul De La Perte De Charge Pour Le GN Chaud	77
IV.10.1.1. Calcul De La Vitesse Superficielle U1 A Travers Le Lit	77
IV.10.1.2. Calcul De La Perte De Charge Connaissant La Densite Relative Et La Pression De Regeneration	77
IV.10.1.3. Calcul Du Nombre De Reynolds.....	78
IV.10.2. Calcul De La Perte De Charge Pour Le GN Froid	78
IV.10.2.1. Calcul De La Vitesse Superficielle U2 A Travers Le Lit	78
IV.10.2.2. Calcul De Perte De Charge Pour Le Gn Froid.....	78
IV.10.2.3. Calcul Du Nombre De Reynolds.....	79
IV.11 Recapitulation Des Resultats.....	79
IV.12 : Optimisation Du Temps D'adsorption Pour Une Teneur De 20 Ppm	80
CONCLUSION	87
RECOMMANDATIONS.....	88
ANNEXE DE CALCUL.....	
NOMOCLATURE.....	
CONVERTION DES UNITES	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	

Liste Des Tableaux

Tableau 1:1-1. Caractéristiques des GPL Algériens	3
Tableau 2: 1-2 Points d'ébullition et masses volumiques des GPL	4
Tableau 3:1-3. Caractéristiques du Propane et du Butane commerciaux	5
Tableau 4:1-4. Puissance énergétique des GPL par rapport aux autres combustibles	6
Tableau 5: 1-5. Valeurs comparatives du PCI des GPL avec d'autres carburants	6
Tableau 6:1-6. Données de pollutions des différents carburants	7
Tableau 7:2-1 ,Mode de fonctionnement du cycle de régénération.....	24
Tableau 8 : 2-2. Stockage du propane et butane commercial.	40
Tableau 9: 2-3. Spécification de la colonne de dépropanisation	40
Tableau 10: 2-4. Spécification d'échangeur de chaleur du dépropaniseur.....	41
Tableau 11 : 2-5. Spécification du condenseur du depropaniseur	41
Tableau 12 : 2-6. Spécification du ballon de reflux	42
Tableau 13 :2-6. Spécification de pompe de reflux du depropaniseur.	42
Tableau 14 : 2-7. Spécification de rebouilleur de depropaniseur	42
Tableau 15 : 3-1 Les propriétés du tamis moléculaires.....	47
Tableau 16 : 3-2. Fiche technique du tamis moléculaire	58
Tableau 17 : 3-3. . Les propriétés du tamis moléculaire.	59
Tableau 18 : 3-4. Les paramètres de fonctionnement.....	59
Tableau 19 : 3-5. La composition de GPL a l'entrée.	60
Tableau 20 : 4-1 composition de la charge	64
Tableau 21 : Tableau 4-2 Composition du gaz réfrigérant.....	69
Tableau 22 : 4-3. Paramètre du GN chaud.....	75
Tableau 23 : 4-4: Comparaison entre les valeurs calculées et le cas design.....	79
Tableau 24 : 4-5 : Etude comparative entre le cas actuel et le cas optimisé	81
Tableau 25 : 4-6 : Variations du temps d'adsorption en fonction des teneurs d'eau.....	82
Tableau 26 : 4-7 : Les masses d'eau absorbée pour différents teneur d'eau en charge du GPL84	
Tableau 27 : 4-8 : Le débit massique calculé pour différent teneur de en charge GPL.....	84
Tableau 28 4-9 : Variation de la hauteur non utilisée en fonctions des teneurs d'eau.....	84
Tableau 29: 4-10: Bilan thermique du déshydrateur pour différentes teneur en eau.....	84
Tableau 30: 4-11: Variation du temps de réchauffage en fonctions des teneurs en eau.....	84

Liste Des Figures

Figure 1:1-1. Tensions de vapeurs des GPL	3
Figure 2 : 1-2 consommation du GPL au marché national	9
Figure 3 : 1-3. Consommation nationale des GPL par secteur.....	10
Figure 4: 1-4. Futures perspectives de l'exportation du GPL Algérien	10
Figure 5 : 1-5. Evolution de la production mondiale des GPL par région	11
Figure 6: 1-6 Evolution de la demande mondiale des GPL par région	12
Figure 7: 1-7 Consommation mondiale des GPL par secteur	12
Figure 8 : 2-1.Situation géographique du GP2/Z.....	14
Figure 9 : 2-2. Vue par satellite du complexe GP2/Z.....	14
Figure 10 : 2-3. Schéma d'implantation des équipements.....	19
Figure 11 : 2-5. Schéma de l'unité stockage tampon	20
Figure 12 ; 2-6. Schéma de l'unité Déshydratation.....	22
Figure 13 : 2-6. Schéma de l'unité de Séparation.....	26
Figure 14 : 2-7. Schéma montre la boucle de réfrigération	30
Figure 15 : 2-9. Schéma de la section stockage	34
Figure 16 : 3-1. Diffusion d'eau a l'intérieur des pores	46
Figure 17 : 3-2. Procédé de remplissage du sécheur.	48
Figure 18 : 3-3 Evolution de la zone de transfert de masse.....	50
Figure 19 : 3-4. Schéma de la section de déshydratation.....	52
Figure 20 : 3-5. Différent type de tamis moléculaires.....	56
Figure 21 : 3-6.différents formes des tamis moléculaire	57
Figure 22 : 4-1 Variation du temps d'adsorption en fonction des teneurs d'eau.....	83
Figure 23 : 4-2 Variation du temps de réchauffage en fonction du teneur d'eau.....	86

Dédicaces

Dieu Merci

J'ai l'immense honneur de dédier ce travail

A ceux qui ont fait de moi un homme

"MA MERE" et "MON PERE".

A mes frères et à ma sœur.

A toute ma famille.

A mon binôme et à toute la famille BAROUDI.

A tous mes amis et mes proches.

A tous mes camarades du groupe

Mohammed Reda

Dieu Merci

C'est avec grande joie je dédie cette mémoire ;

A Mes Chers Parents, symbole d'amour pour leur soutenu morale et leur encouragement tout le long d mes etudes.

Que dieu puisse les garder éternellement heureux

A tout mes amis.

A tous ceux qui me sont chères.

YOUCEF

Une spéciale dédicace a notre encadreur Mme TALBI pour sa patience et son soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port.

Merci

Remerciements

Ce stage a été réalisé au niveau du complexe d'Arzew GP2/Z.

Je remercie Dieu tout puissant qui nous a donné le courage ainsi que la volonté et la patience d'avoir terminé ce travail parfaitement.

Ainsi. Je remercie ma famille surtout ma mère qui a consacré toute sa vie pour nous

J'ai l'honneur d'adresser par le biais de ce travail notre sincère remerciement et notre profonde gratitude à tout le personnel du complexe GP2/Z qui nous a prêté main forte et nous a facilité les tâches.

Je remercie, également, nos chères profs qui m'ont si bien encouragé, soutenu et aidé à accomplir jusqu'ici

Tous nos sincères remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à Mme TALBI pour l'encadrement dont j'ai bénéficié, pour l'attention, la disponibilité dont elle a fait preuve

Nos vifs remerciements vont également aux membre du jury pour l'intérêt qu'il ont porté a notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions

En fin, nous tenons à exprimer notre gratitude à l'ensemble du personnel (équipe de formation et étudiants) du département de sécurité préventif industriel et tout le personnel de notre institut de maintenance et sécurité industriel, Université d'Oran.

Résumé

La production du propane et du butane commerciaux se fait au niveau du complexe GP2/Z à partir des unités bien destinée à cette production.

Avant la séparation des deux produit a valeur commerciale (propane et butane), ces dernier passent par une étape très importante consiste à éliminer toute trace d'eau présente dans la charge au niveau des deux sécheurs. Lors de cette opération on essaye de diminuer la teneur d'eau de notre charge de GPL avec un procédé d'adsorption par tamis moléculaire en réchauffant ces tamis après avoir une saturation complète par les molécules d'eau par injection du gaz naturel chaud.

Vu que la quantité d'eau soluble dans la charge qui reçoit le complexe est trop inférieur par rapport les conditions du marché actuelle, ainsi que les contrainte du désigne n'ont pas adéquate pour cette teneur d'eau ce qui cause une perte d'énergie et de chaleur destiner au réchauffage du tamis.

Notre étude porte sur l'optimisation des paramètres de fonctionnement du sécheur en proposant deux solution : l'augmentation du temps d'adsorption u la diminution du temps de réchauffage.

Mots clés : sécheur ; GPL ; adsorption ; tamis moléculaires ; optimisation

INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

Durant ces dernières décennies, une nouvelle énergie a connu un grand essor sur le marché mondial à côté du gaz et du pétrole ; il s'agit bien des GPL (Gaz de pétrole liquéfiés). Grâce à leur atout environnemental et leur facilité de transport, ils ont pu conquérir une multitude de domaines allant du résidentiel et l'automobile à l'agriculture et la pétrochimie.

Les GPL sont réputés pour leur souplesse d'utilisation autant carburant d'automobile, leurs indéniables qualités écologiques, leur coût raisonnable (du stockage et du transport) et compétitif sur le marché. Ils s'imposent aussi par leur très grand usage domestique et leur sécurité d'approvisionnement.

Les GPL occupent une place de grande importance dans la stratégie de commercialisation des hydrocarbures de SONATRACH. Cependant, l'évolution qu'a connue le secteur de l'Energie, offre aujourd'hui de meilleures opportunités de commercialisation. Dans sa stratégie de valorisation des ressources d'hydrocarbures en Algérie, SONATRACH a mis en place un important plan de développement actuellement en cours de réalisation. Ce plan prévoit des augmentations de production des GPL s'élevant à 13,300 million de tonnes en 2015.

D'autre part, cette production doit être conforme aux exigences et aux normes de commercialisation de TVR, teneur en C_3 dans le propane et de C_4 dans le butane.

Pour aboutir à ces objectifs tracés, des moyens sont déployés pour maximiser la récupération de ses constituants légers (C_3 , C_4), ceci implique l'optimisation des paramètres opératoires dans les unités de fractionnement des GPL.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR
LES GPL

CHAPITRE I : Généralités sur les GPL (Gaz Pétrole Liquéfiés)

1.1 Définition Des GPL

Les GPL ou ‘gaz pétrole liquéfiés’ sont des fractures légères des hydrocarbures à l’état gazeux liquéfiés, on les considère comme étant un mélange de gaz constitué essentiellement d’une coupe pétrolière [C₃-C₄], il s’agit bien du propane (C₃H₈) et le butane (C₄H₁₀) en des proportions différentes selon la nature du gisement du pétrole traité [1].

Les GPL sont à l’état gazeux aux conditions normales de pression et de température [une pression atmosphérique égale à 1,013 bar et une température ambiante environ les 15°C], ces GPL ont la possibilité de passer de l’état gazeux à l’état liquide par un abaissement de température ou de pression ou les deux à la fois, cette propriété permet de faciliter la tâche du stockage (1m³ de GPL liquide occupe un volume de 255m³ à l’état gazeux dans les conditions normales)

❖ Vue rapide sur le GPL Algérien

La composition moyenne en général des GPL algériens se situe autour de 60% de propane et 40% de butane (dépendant de la provenance des GPL) avec des traces d’eau. Ce dernier est produit dans les unités du sud notamment à HASSI MESSAOUD et HASSI RMEL. Cet hydrocarbure constitue une source d’énergie est transporté à l’aide d’un oléoduc d’une longueur de l’ordre de 900 KM.

NOTE : Les GPL appartiennent à la famille des paraffines et sont composés essentiellement du C₃H₈, C₄H₁₀ avec de faibles proportions de CH₄, C₂H₆, et C₅H₁₂.

1.2 L’origine Des GPL

Généralement on obtient du GPL de 3 sources :

- Dans les raffineries de pétrole, au cours de la distillation atmosphérique du pétrole brut. La production moyenne est estimée de 20 à 40 Kg de GPL par tonne de pétrole.
- Lors des procédés de transformation tels que le craquage catalytique ou le reformage catalytique en vue de la production des essences.
- Au cours des opérations de traitement de gaz naturel à un pourcentage de 62% de la production mondiale, cette opération est connue pas le dégazolinage du gaz naturel sur les champs de production, pour obtenir les produits condensables (butane et propane).

NOTE : une grande partie du GPL provient des champs pétroliers (et aussi pendant la liquéfaction du gaz naturel particulièrement au niveau du stade du fractionnement du procédé)

1.3 Caractéristiques Du GPL

Aux conditions normales de pression et de température, le GPL est un gaz plus lourd que l'air. Le butane commercial en phase vapeur est deux fois plus lourd que l'air, et le propane commercial est une fois et demie plus lourd.

En général, les particularités physico-chimiques des GPL (courbe de distillation, tension de vapeur, poids spécifique, pouvoir calorifique, rendement dans les moteurs, etc.) dépendent de leur teneur en divers hydrocarbures [2].

- **Odeur :** Les vapeurs des GPL constituent avec l'air un mélange extrêmement inflammable et dangereux (leur domaine d'inflammabilité dans l'air à 20°C et sous 1 atm varie de 2 à 10%). Pour mieux les reconnaître ou déceler d'éventuelles fuites, on leur donne une odeur particulière au moyen de substances appropriées : le mercaptan ou le diméthyl sulfide (le sulfure de diméthyle) ou le Vigileak (mélange de mercaptan et disulfure) [3].

NOTE : ces substances notées au dessus sont des additifs qu'on les ajoute pour des raisons de sécurité afin de détecter les GPL.

- **Tension de vapeur :** La tension de vapeur du GPL dépend de la température initiale du liquide et du soutirage éventuel effectué. Le graphique suivant donne les tensions de vapeurs relatives en fonction de la température ambiante [4].

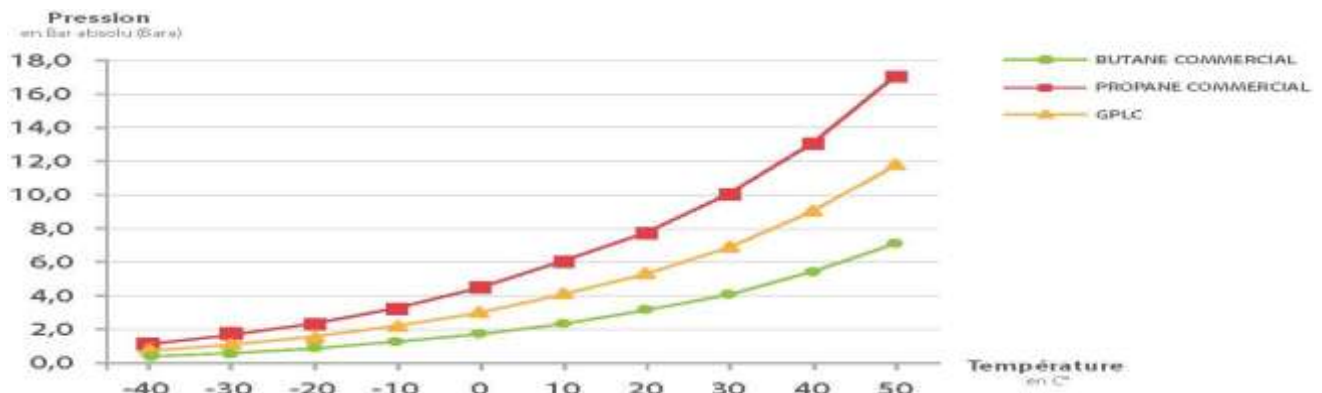


Figure 1 1. Tensions de vapeurs des GPL

Le tableau suivant montre les tensions de vapeurs du butane et du propane algériens.

Tableau 1 1. Caractéristiques des GPL Algériens [5]

Caractéristiques	Butane	Propane
Tension de vapeurs (NA565) à 50°C (bar)	6,9 max	11,5 à 19,3
Evaporation en % vol (NA8144)	95 min à 1°C	95 min à 15°C

- **Dilatation** : A l'état liquide, les GPL ont un haut coefficient de dilatation, ils se dilatent de 0,25 % par degré de température dont il faut tenir compte lors de leur stockage dans les récipients. Le remplissage ne doit jamais être dépassé au maximum 85% de sa capacité [1].
- **Point d'ébullition et la masse volumique** : Aux conditions normales de température et de pression, le GPL est plus lourd que l'air.

Tableau 1 2. Points d'ébullition et masses volumiques des GPL

	Point d'ébullition (°C)	Masse volumique du Liquide (kg/m ³) à 15 °C	Masse volumique du Gaz (kg/m ³) à 15 °C
Butane	0	585	2.50
Propane	- 42	515	1.85

- 1 litre de butane liquide libère 239 litres de gaz (à 15 °C, 1 bar).
 - 1 litre de propane liquide libère 311 litres de gaz (à 15 °C, 1 bar).
- Ces caractéristiques physiques confèrent à cette énergie un avantage certain du point de vue du stockage et du transport [4].

- **Pouvoir calorifique** : C'est la propriété la plus intéressante étant donné que le GPL est traditionnellement utilisé pour les besoins domestiques.
- **Impuretés** : Le plus important est le soufre, la teneur en soufre est inférieure ou égale à 0,005 % en masse, ainsi que l'eau qui est extraite durant le traitement.
- Les GPL sont non corrosifs à l'acier, mais ils le sont généralement à l'aluminium, au cuivre et ses alliages.
- Les GPL n'ont aucune propriété de lubrification, ce qui doit être pris en considération lors de la conception des équipements pour GPL (pompes et compresseurs).
- Les GPL sont incolores, que ce soit en phase liquide ou gazeuse.
- Les GPL, lorsqu'ils se répendent sous leur forme liquide sous pression s'évaporent en produisant du froid ; au contact de la peau, ils provoquent des brûlures caractéristiques appelées "brûlures froides" [3].
- Les GPL ne sont pas vraiment toxiques, ils présentent tout au plus un léger pouvoir anesthésiant, mais s'ils sont inhalés longuement, ils peuvent provoquer des migraines et des maux d'estomac [6].

1.3.1 Caractéristiques Du Propane Et Du Butane Commerciaux

Tableau 1 3. Caractéristiques du Propane et du Butane commerciaux

		BUTANE Commercial	PROPANE Commercial
Teneur en C3		19 % mass max	98.5 % mass min
Masse volumique à 15°C (kg/l)		≥ 0,559	≥ 0,502
Point final d'ébullition (°C)		≤ 1	≤ -15
PCS (Pouvoir Calorifique Supérieur)		49,4(MJ/kg) 120,5(MJ/m ³) à 15°C et 1013 mbar	49,8 (MJ/ kg) 93,3(MJ/m ³) à 15°C et 1013 mbar
PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur)		45,6(MJ) par kg 109,6 (MJ) par m ³ à 15°C et 1013 mbar	46,0(MJ) par kg 85,3 (MJ) par m ³ à 15°C et 1013 mbar
Pression de vapeurs (bars)	à 20°C	2.9	9.6
	à 50°C	6.9	12.9

1.4 L'utilisation des GPL

Les gaz butane et propane, autrement appelés les GPL, s'adaptent à tous les besoins et leur domaine d'utilisation dans le milieu industriel est varié

➤ Dans la combustion

C'est l'objectif le plus important de ces gaz, ils sont utilisés dans la vie domestique telle que : la cuisine, l'eau chaude, le chauffage et dans la vie artisanale. La répartition de la demande des GPL comme combustible est très variable d'un continent à l'autre, et d'un pays à un autre.

Le butane et le propane apportent une excellente qualité de combustion et possèdent un haut pouvoir calorifique.

Le tableau ci-dessous illustre l'équivalence de la puissance énergétique de GPL par rapport aux autres combustibles.

Tableau 1 4. Puissance énergétique des GPL par rapport aux autres combustibles

1 kg du Propane équivalent à	3 à 6 kg de Bois	1,5 à 2 kg de Charbon	1,29 l de Fuel	1,16 m ³ de Gaz Naturel	13,8 kWh d'Electricité
---------------------------------	---------------------	--------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------------

➤ **GPLc (carburant)**

Le GPL (mélange de propane et de butane) est utilisé comme carburant automobile depuis des décennies. Il constitue des produits exceptionnels au plan de la préservation de la qualité de l'air. Ils ne contiennent ni de soufre, ni de benzène, ni autres substances toxiques. Ils sont également d'une qualité de combustion complète et ne génèrent aucune particule [7].

Le pouvoir calorifique du GPL est pratiquement égal à celui de l'essence, si on l'exprime en kcal/kg de carburant mais ces valeurs seront très différentes si elles sont exprimées en kcal/l de carburant liquide à 15°C ; cette diversité provient de la différence des densités entre le GPL et l'essence. En moyenne, la densité à 15°C d'un GPL est de 0,555 kg/litre.

Les valeurs du pouvoir calorifique inférieur des différents carburants sont illustrées dans le tableau suivant:

Tableau 1 5. Valeurs comparatives du PCI des GPL avec d'autres carburants

Caractéristiques	Essence	Gasoil	GPLc
Masse volumique (kg/m ³)	0,725 à 0,780	0,820 à 0,860	0,860 à 0,580
PCI (kJ/kg)	42 700	42 600	45 800
PCI (kJ/litre)	32 000	35 800	25 000

L'indice d'octane du GPLc permet un fonctionnement plus doux en évitant les vibrations. Ces deux facteurs permettent d'accroître sensiblement la vie du moteur fonctionnant au GPL, en obtenant une longévité équivalente aux moteurs diesels.

Comme la combustion du GPL est quasi complète, il y a beaucoup moins de dépôt dans le moteur que par rapport à l'essence. Le moteur ne s'encrassant pas, sa durée de vie se trouve allongée. D'autre part, l'huile du moteur conserve ses propriétés lubrifiantes plus longtemps qu'avec l'essence [8].

Le GPL est significativement moins polluant que les carburants liquides usuels dans la mesure où sa formulation chimique, qui privilégie l'hydrogène par rapport au carbone, ne contient ni de soufre, ni de plomb, ni de benzène [9].

Les véhicules légers qui fonctionnent au GPL ou au gaz naturel ont des émissions de CO₂ comparables ou légèrement inférieures à celle des véhicules diesel et 20% plus faibles que celles des véhicules à essence. Par contre, le moteur à essence dégage en plus les NO_x, le SO₂ et des autres particules polluantes. Ces polluants ont des effets néfastes pour l'environnement et l'homme [10].

Les dernières données de pollutions comparées (en g/km dégagés par un véhicule léger) sont présentées dans le tableau.

Tableau 1 6. Données de pollutions des différents carburants

Pollution en g/km	GPL	Essence	Diesel	GNV
CO ₂	140	190	100	115
CO	0,6	2	2	0,52
NO _x	0,1	0,4	0,8	0,05
Comp-org	0,15	0,3	0,3	0,27
Particules	—	0,01	0,2	—
Benzène (mg / km)	—	1	4	—

➤ Pour la production d'électricité

Le GPL, pour la production d'électricité, s'avère être une solution privilégiée du point de vue technico-économique par rapport aux autres combustibles, car il permet d'atteindre des rendements très élevés.

➤ Dans la pétrochimie

18% de la production mondiale de GPL sont destinés à l'industrie pétrochimique dans le but d'obtenir des produits finis ou des produits semis finis pour les autres industries chimiques.

La synthèse pétrochimique permet la production d'une gamme de dérivés d'hydrocarbures à partir de ces produits liquéfiés, telle que : l'isobutane, chlorure de vinyl, Isopropyl-benzène, Nitro-propane, etc.

➤ Dans la climatisation

Deux principes peuvent être réalisés

1. les GPL adsorbent la chaleur de l'environnement et créent du froid

2. un moteur qui fonctionne aux GPL peut contenir un compresseur qui comprime ce gaz, la détente absorbe de la chaleur et crée du froid [11]

1.5 Les Risques Lies Aux 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 difficile à maîtriser.
- La limite inférieure d'inflammabilité du gaz approximativement à 2% du volume du gaz dans l'air. Une petite portion de gaz dans l'air peut donner un mélange inflammable qui peut être enflammé par un élément chaud ou une étincelle à distance d'un point de fuite.
- Les GPL liquides par évaporation peuvent causer des brûlures sévères, des protections individuelles (vêtements de protection, gants, lunettes) doivent être portées

1.6 GPL Au Niveau National

Il est important de rappeler la place des hydrocarbures gazeux dans la politique énergétique nationale qui privilégie leur valorisation à l'exportation et leur utilisation prioritaire pour la couverture des besoins nationaux, compte de la structure actuelle et prévisible de nos ressources énergétiques

En effet, la politique énergétique nationale consacre, à travers le modèle de consommation énergétique nationale, le principe d'une pénétration maximale des hydrocarbures gazeux.

La mise en œuvre de cette option de la politique énergétique nationale a permis aux hydrocarbures gazeux d'occuper d'une part de plus en plus importante :

-dans la production des hydrocarbures, soit plus de 50% de la production d'énergie primaire actuellement.

-dans le montant de nos recettes d'exportation d'hydrocarbures soit près de 40% actuellement.

-dans la consommation nationale d'énergie soit près de 70% [11].

L'Algérie possède une industrie des GPL très importante. Sa production a suivi une croissance soutenue en raison de l'intérêt suscité chez les pays industrialisés pour cette forme d'énergie idéale pour la protection de l'environnement.

L'Algérie est l'un des leaders mondiaux du GPL. Actuellement, elle compte parmi les grands producteurs avec une production moyenne au premier semestre 2011 qui avoisine les 7,5 millions de tonnes (contre 5 millions en 1996 et 10,5 millions en 2009) dont 2 millions est consommé localement sous forme de butane et de propane.

La consommation des GPL, principalement dans le secteur domestique a enregistré une croissance de l'ordre de 2%. Elle est constituée essentiellement de Butane (90%). L'utilisation

du GPL comme carburant (GPLc), suscite un intérêt croissant (350 milles de tonnes en 2009). La figure suivante illustre l'évolution de la consommation nationale entre 1996 et 2012:

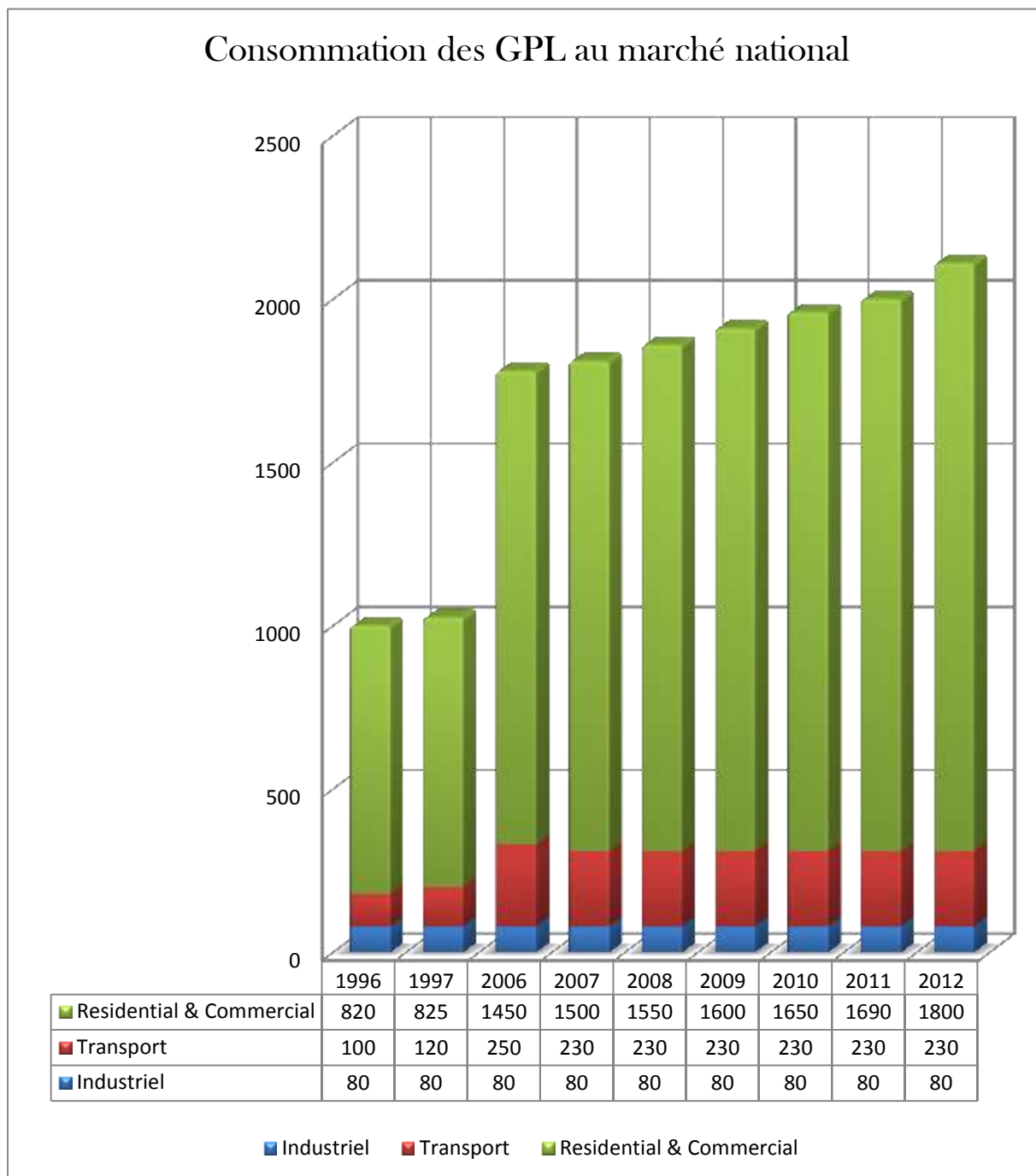


Figure 1-2. Consommation des GPL au marché national

La consommation nationale des GPL par secteur, illustre que 80% des GPL sont destinés vers le domaine résidentiel et commercial, il reste 18% pour le transport et 2% pour l'industrie, (voir la figure I.3)

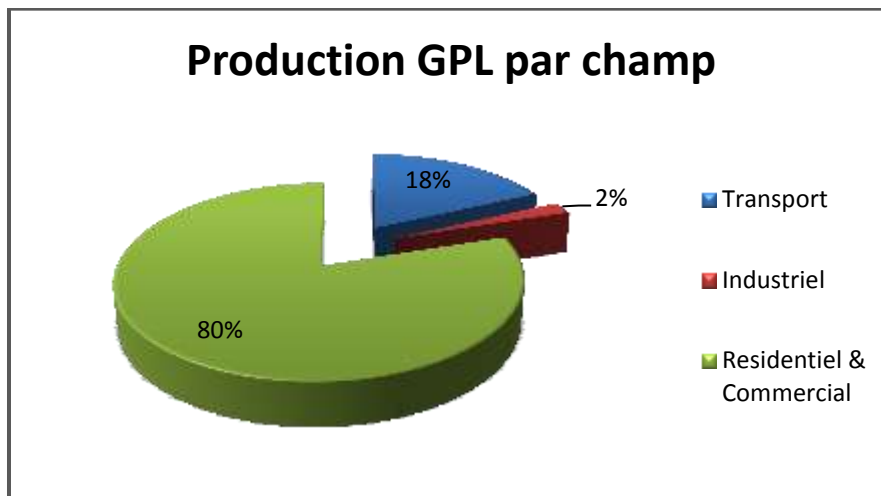


Figure 1.3. Consommation nationale des GPL par secteur

L'Algérie est le second exportateur mondial de GPL après l'Arabie Saoudite, la méditerranée constitue le principal débouché pour les exportations algériennes en GPL, le marché européen consomme une proportion allant de 60 à 70%, alors que le marché américain vient en second position avec un taux variable de 10 à 15% des exportations algériennes en GPL.

Les futures perspectives de l'exportation sont représentées dans la figure suivante :

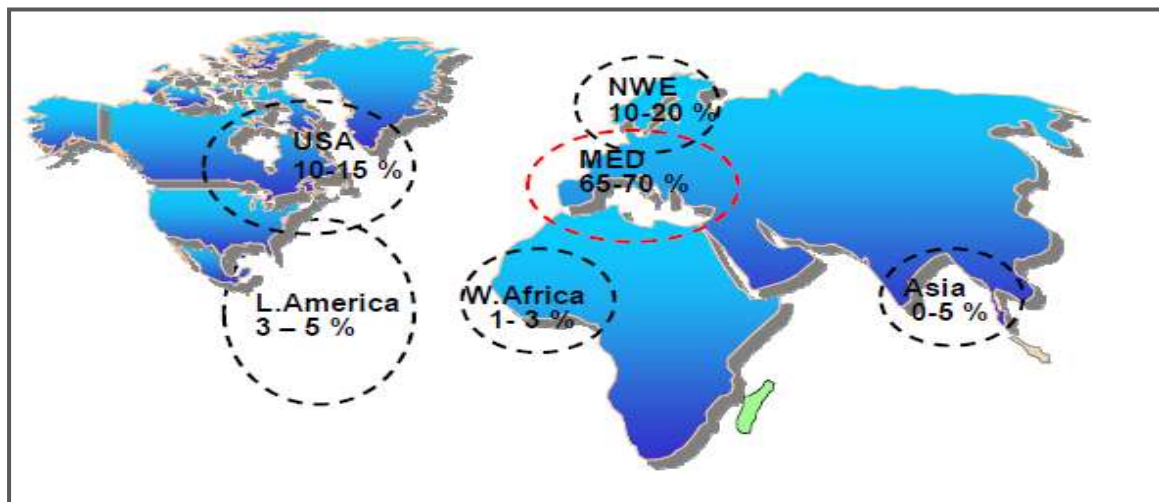


Figure 1.4. Futures perspectives de l'exportation du GPL Algérien

Les quantités des GPL vendues sur le marché national s'élèvent actuellement à 1.85 Million de tonnes.

Dans le cadre d'une politique de valorisation maximale de ses ressources gazières, la société nationale SONATRACH a lancé un ambitieux programme de développement, en vue

d'augmenter la contribution du GPL dans les exportations globales d'hydrocarbures et d'accroître ainsi les recettes en devises du pays.

1.7 GPL Au Niveau International

L'Agence internationale d'énergie estime que les besoins énergétiques mondiaux vont augmenter de 60% d'ici 2030. Les GPL, grâce à des technologies innovantes sophistiquées, s'affirment comme une vraie énergie alternative propre, économique, disponible partout. L'atout majeur des GPL en tant qu'énergie alternative, est la capacité de répondre aux défis de l'avenir énergétique de la planète [12].

La production mondiale de GPL est passée de 210 millions de tonnes en 2002, à 230 millions de tonnes en 2007 et allant jusqu'à 270 million tonnes en 2012. [13], [14]. La figure suivante présente l'évolution de la production mondiale des GPL par région :

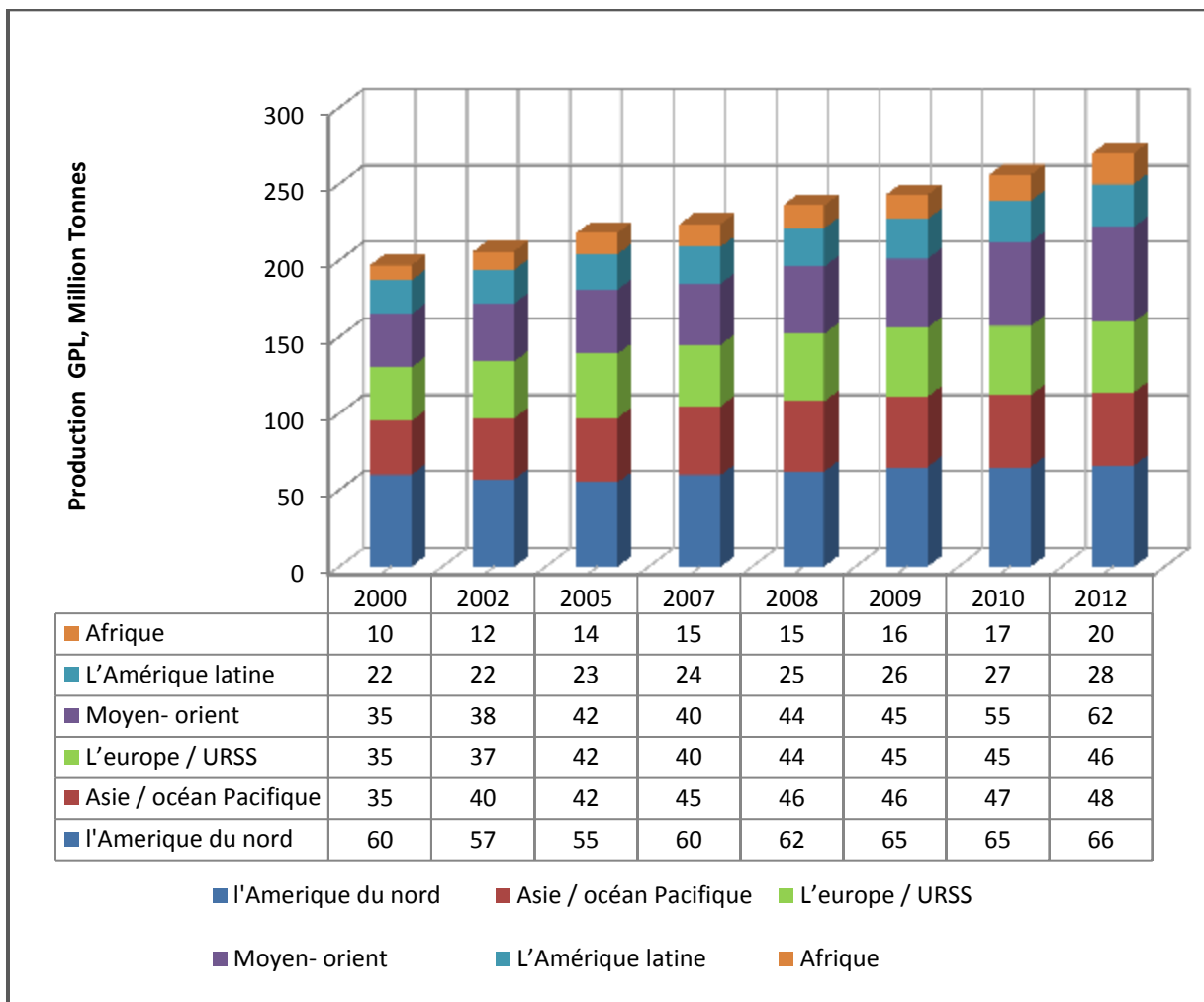


Figure 1 5. Evolution de la production mondiale des GPL par région

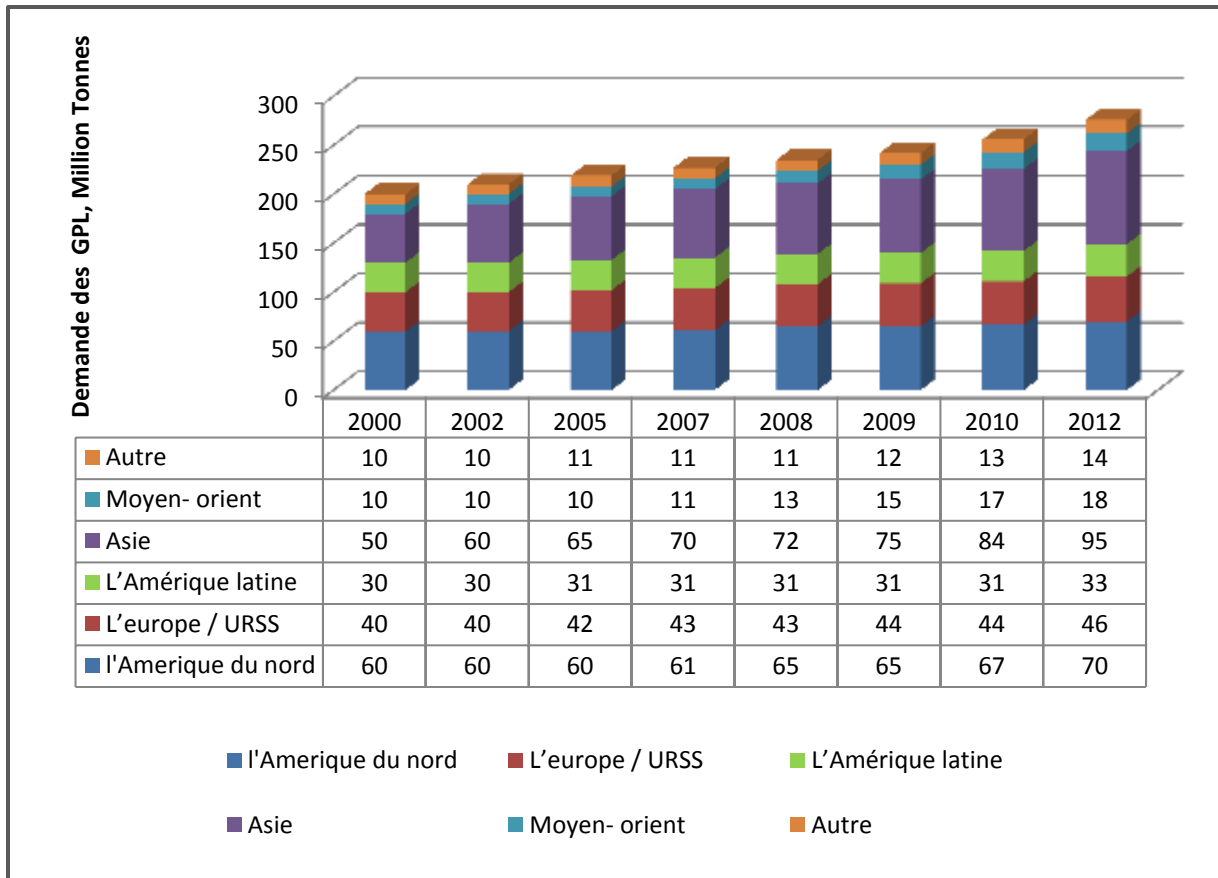


Figure 1 6. Evolution de la demande mondiale des GPL par région

La consommation mondiale de GPL en 2009 était 243,6 millions de tonnes ; le GPL représente 2% de la consommation énergétique mondiale. Le secteur domestique est le segment de consommation le plus important avec 52% de la consommation mondiale, soit près de 105 Millions de tonnes (voir au dessous figure I.7). Le secteur pétrochimie occupe la deuxième place, avec une part de 26%, suivi par le secteur de l'industrie avec une part de 12%. La croissance de la consommation de GPLc (troisième carburant automobile dans le monde) a été de 9%, mais elle est en réalité moins portée sur des quantités peu importantes et enfin le secteur agricole qui occupe la dernière place avec une part de 1%.

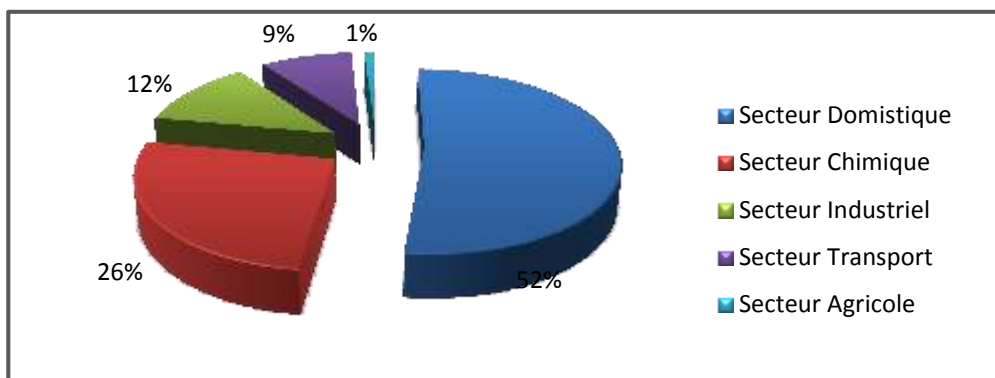


Figure 1 7. Consommation mondiale des GPL par secteur

CHAPITRE II :
PRESENTATION
DU COMPLEXE

CHAPITRE II : Présentation du Complexe GP2/Z

Carte d'identité du complexe GP2/Z

LOCALISATION : Arzew

SUPERFICIE : 13,5 hectares

- ❖ **Objectif:** Traitement de 1,4 millions de tonnes de la charge GPL.
- ❖ **Produits:** Propane et butane commercial.
- ❖ **Procédé utilisé:** Distillation sous pression.
- ❖ **Nombre de trains:** Deux (02) trains semi-modulaires.
- ❖ **Constructeur:** CJB
- ❖ **Date de démarrage des travaux :** 1973
- ❖ **Capacité de stockage :** Propane et butane commercial, deux (02) bacs de stockage de Capacité 70 000 m³ chacun.

RESSOURCES HUMAINES

- ❖ **Nombre d'effectif:** 333 agents + nouveaux recrues
 - ❖ **Cadre:** 125 agents
 - ❖ **Maîtrise:** 177 agents
 - ❖ **Exécution:** 31 agents
-

II.1 Localisation Du Complexe GP2/Z

Le complexe GP2/Z est l'un des deux complexes uniques de séparation du GPL de l'activité AVAL du groupe SONATRACH.

Le complexe se situe au Nord-Ouest du pays à dans la commune de Béthioua 40KM de la ville D'ORAN et a 4KM de la ville D'ARZEW sur la route ORAN MOSTAGANEM, il occupe une superficie du 13.5 Hectare



Figure 2-1. Situation géographique du GP2/Z



Figure 2-2. Vue par satellite du complexe GP2/Z

II.2 Historique Du Complexe GP2/Z

Comme notre pays qui possède d'importance réserve en pétrole, il est dans l'obligation de bâtir des complexes afin de permettre le traitement de cette richesse pour obtenir des produits de consommation, et assurer le développement de tout le pays par son utilisation comme matière première dans d'autres secteurs..

Parmi ces complexes le coté oust de pays a connus l'implantation d'un complexe dénommer GP2/Z bien destiner à séparer les GPL ce dernier a presque 44 ans d'existence jusqu'a notre jours, construit par la compagnie anglaise CJB (**Constructor JHON BROWN**) en 1970.

Les dates qui ont marqué l'histoire de ce complexe :

- 1973 : Mise en service du complexe destiné à traiter une charge de 4 millions de tonnes d'un mélange de condensât / GPL.
- 1984 : Arrêt du complexe suite à la mise en service des unités de stabilisation du condensât au niveau des champs de Hassi R'Mel et de Hassi Messaoud.
- 1990 : Redémarrage du complexe après la reconversion de son procédé de rebouillage pour le traitement d'une capacité de 0,6 million de tonne par an.
- 1996 : Extension du complexe pour traiter une capacité de 1,2 million de tonnes de GPL par an suite a cette extension le complexe a connus pas male de modification :
 - ✓ la reconversion des deux (02) colonnes de séparation de condensat /GPL en colonnes de dépropanisation ;
 - ✓ la mise en place des rebouilleurs au niveau des colonnes reconverties et adaptation de leurs boucles de régulation ;
 - ✓ la rénovation des aéro-réfrigérants et des compresseurs du système boil off gaz.
 - ✓ la construction d'une nouvelle salle de contrôle et remplacement des instruments de contrôle pneumatique par le système DCS ;
 - ✓ la rénovation des turbines à gaz, des bras de chargement, des compresseurs d'air, des postes électriques HT et MT ;
 - ✓ l'implantation d'une nouvelle unité de déshydratation de la charge.
- 1999 : Extension du Complexe pour traiter une capacité de 1,8 millions de tonnes de GPL par an.

- 2000 : Projet d'extension : la capacité de production devait être portée à 2,5 millions de tonnes. L'étendue du projet d'extension devait se limiter aux réalisations suivantes :
 - ✓ une unité supplémentaire de séparation de GPL de 160 T/ h ;
 - ✓ l'installation d'une nouvelle unité de réfrigération ;
 - ✓ l'augmentation de la capacité du stockage des produits réfrigérés ;
 - ✓ l'extension du réseau électrique basse tension ;
 - ✓ l'installation d'un nouveau four de gasoil ;
 - ✓ une nouvelle unité de déshydratation
- 2003 : Projet en vue de l'augmentation de la capacité de l'unité à 2,5 MT/a, pour permettre au complexe d'être structuré en deux unités modulaires, chaque unité traitera 1,25 MT/an.

Suite à un incident survenu au niveau du mot-compresseur en date du 24/07/2003, il a été décidé d'appeler la société japonaise IHI/ITOCHU pour la sécurisation et la fiabilisation du complexe. Ce prestataire a procédé aux modifications suivantes :

Au niveau de la section de stockage de la charge GPL :

- ✓ Montage d'une nouvelle sphère de stockage tampon 420/6105G.
- ✓ Installation de nouvelles vannes XV au niveau des déshydratations de la charge GPL pour la séquence de régénération.

Au niveau de la section séparation :

- ✓ Installation de nouvelles vannes de refoulement des motopompes GPL.
- ✓ Calorifugeage de la partie supérieure des deux splitter A&B.
- ✓ Délocalisation de trois motopompes de la charge GPL.
- ✓ Mise en place de deux nouveaux filtres en aval des sécheurs de la déshydratation du propane commercial.

- ✓ Délocalisation des quatre motopompes de reflux de l'intérieur vers l'extérieur des trains de séparation.

Au niveau de la section de réfrigération :

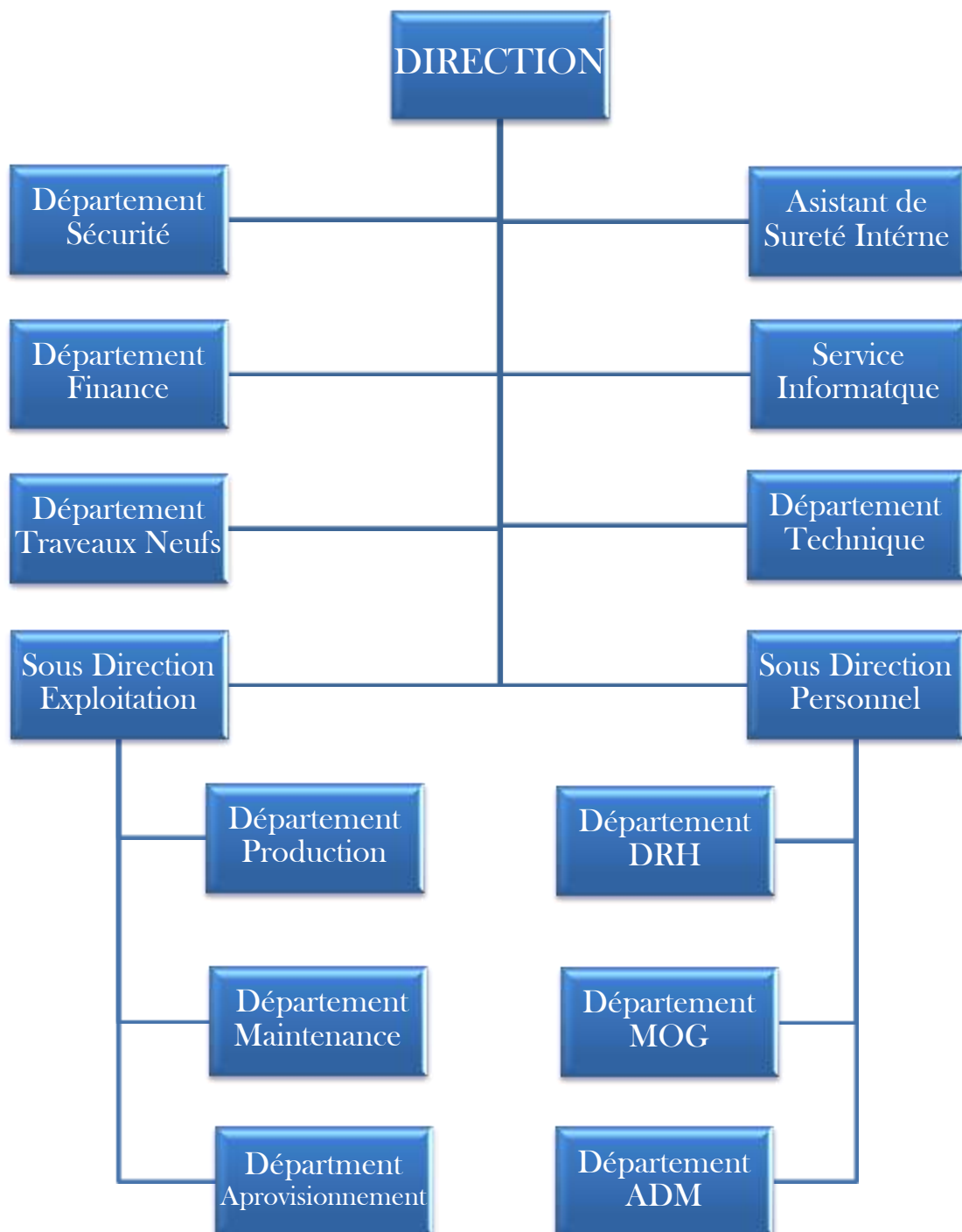
- ✓ Installation de vannes de niveau LV pour réguler le niveau de propane réfrigérant des trois stades BP, MP, et HP.

Au niveau du système de chauffage d'huile TORADA TC :

- ✓ Montage de la motopompe 425/6215E d'huile chaude pour alimenter le circuit du fluide caloporteur.
- ✓ Montage d'un nouveau four 401/6201D pour huile TORADA TC.
- 2005 : le complexe a proposé un nouveau projet d'extension qui allait porter sa production à 3,5 MT/an. Ce projet sera concrétisé par la construction de 02 nouveaux bacs de stockage, d'une capacité de 70.000 m³ chacun et la réhabilitation des anciennes colonnes.
- 2007 : le complexe GP2/Z a subi quelques modifications suite au projet de rénovation fait par IHI (société japonaise), afin de sécuriser le complexe GP2/Z tout en maintenant la production à 1.3 MT/an.
- 2009 : Certification ISO 9001/2008 et l'ISO 14001/2004.

NOTE : le GP2/Z a été considéré dans un premiers temps comme une deuxième raffinerie (RA2/Z) dans la zone industrielle ARZEW a cause de l'existence de la séparation GPL/condensats.

II.3 Organisation Du Personnel Du GP2/Z



II.4.1 Section De Détente

La charge GPL provenant du sud est transportée par des pipelines qui passent par des stations de pompage pour assurer l'arrivée de notre charge vers la station R.T.O (région de transport ouest) qui s'occupe de la distribution et du contrôle.

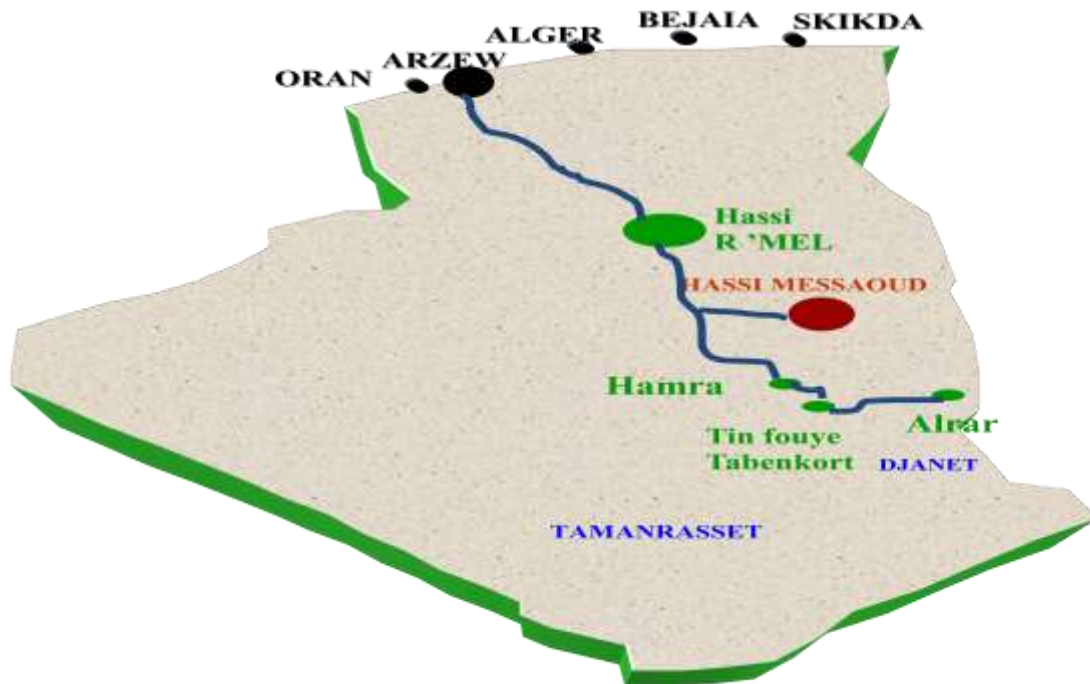


Figure 2-4. Transport de la charge GPL par pipelines

La charge arrive jusqu'au complexe GP2/Z à une pression de [20 à 22 bar] et avec une température ambiante, Elle passe par l'un des deux filtres (440/6502 A.B), un en service et l'autre en stand-by, afin d'éliminer les impuretés : (sables, poussière, matière étrangère). Les filtres sont contrôlés par la différence de pression de l'entrée et celle de la sortie (PDI 6501) l'augmentation de ce paramètre jusqu'à l'alarme indique la saturation du filtre qui oblige en revanche son arrêt pour le nettoyage après la permutation vers le deuxième.

La charge GPL sortant du filtre en service passe à travers un dégazeur de charge (410/6501) pour enlever les gaz non condensables tel que « CO₂, CH₄,.. » et gaz inertes. Ce dernier muni d'une RV 6507 tarée à 100 bars et d'une PV 6507 qui déverse en cas de surpression vers le réseau torchère HP.

Le GPL est détendu jusqu'à une pression comprise entre 8 et 9,8 bars (pression de service), au niveau de la sphère 420/6105A d'une capacité totale de 1220 m³ par la vanne de détente (FV/6501), la quantité de GPL qui pénètre dans la sphère est égale à celle sortante, ce qui fait d'elle, un stockage tampon.

pour refouler du GPL à température ambiante, à un débit volumétrique de 320 m³/hr et à une pression de 23 bars.

II.4.3 Section Déshydratation

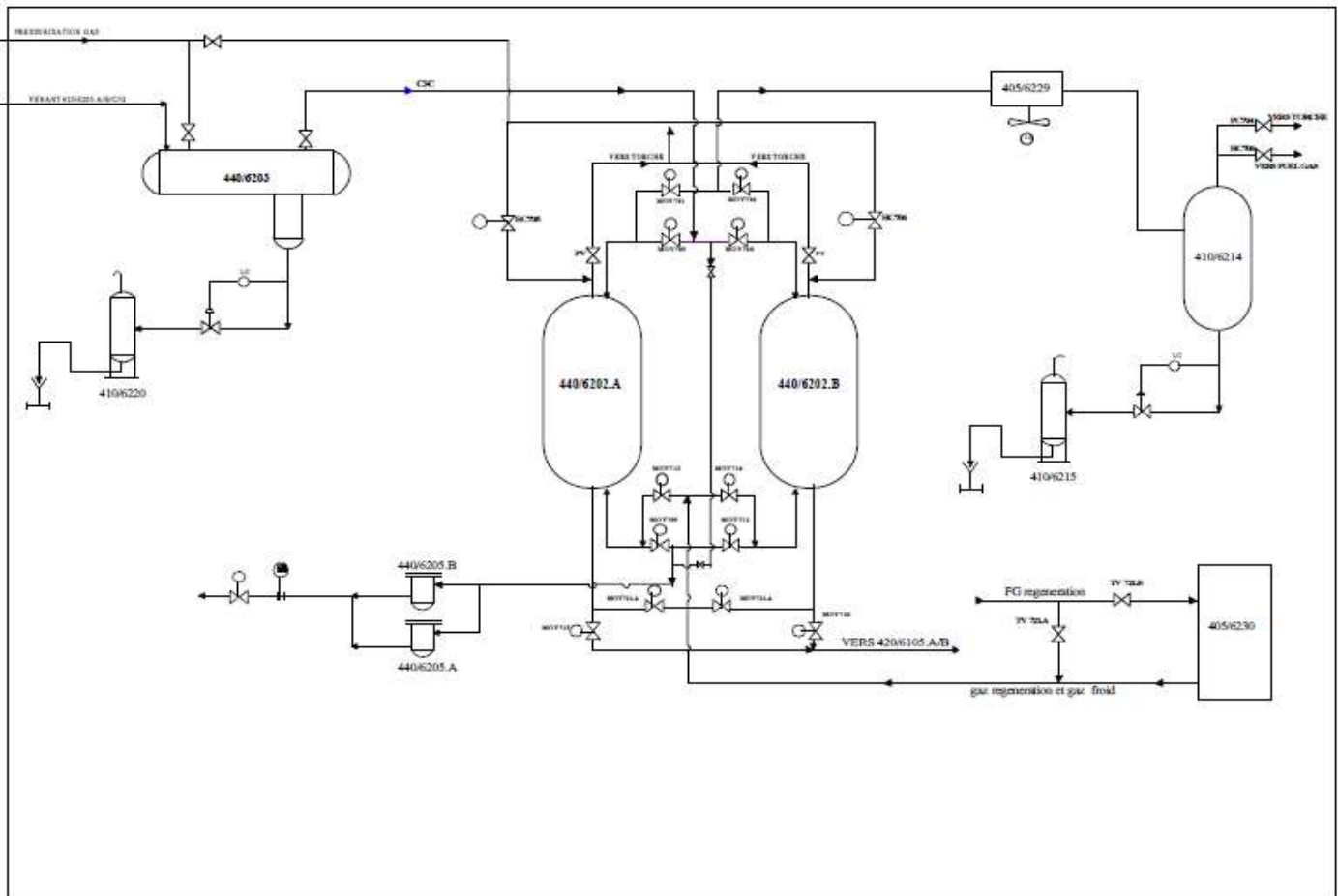


Figure 2-6. Schéma de l'unité Déshydratation

L'unité de déshydratation est composée de plusieurs équipements situés en dessous :

- ✓ Un coalescedeur d'alimentation 440/6203.
- ✓ Deux sécheurs (adsorbateurs) 440/6202/A/B.
- ✓ Deux filtres de GPL 440/6205/A/B.
- ✓ Un préchauffeur des gaz de régénération 405/6203.
- ✓ Un aérocondenseur des gaz de régénération 405/6229.
- ✓ Un séparateur des gaz de régénération 410/6214.

La Section est conçue pour éliminer l'eau de la charge GPL jusqu'à une teneur inférieure à 1PPM en poids afin d'éviter toute formation des hydrates (cause de bouchage).

Le refoulement des pompes (425/6205B.C.G) est acheminée vers le coalesceur (440/6203) qui est installé pour enlever 100% de gouttelettes d'eau dont la taille est supérieure à 10 micromètre, Les gouttelettes sont séparées par gravitation, puis sont admises dans le ballon de purge en bas de coalesceur qui sépare la vapeur d'hydrocarbure dissoute pour dégager la vapeur à l'atmosphère et l'eau dissoute vers l'égout.

La charge GPL dont l'eau libre est enlevée par le coalesceur est introduite dans l'un des deux déshydrateurs (440/6202A.B), un déshydrateur est en cycle d'adsorption tandis que l'autre est en cycle de régénération.

- **Cycle d'adsorption :**

Le principe se fait par adsorption des molécules d'eau, qui sont fortement attirées vers les tamis moléculaires ; par contre les molécules de GPL traversent librement le sécheur.

Lors de l'écoulement de la charge GPL vers le bas à travers le lit de tamis moléculaire, l'eau est adsorbée, en suite éliminée par la chaleur durant le cycle de régénération.

- **Cycle de régénération :**

Après le cycle d'adsorption qui est théoriquement de 24 heures et actuellement il est de 48 heures, le déshydrateur passe à la régénération pour enlever l'eau piégée dans les pores du tamis moléculaire, par le passage du gaz naturel à une température voisine de 280°C qui sert à casser la liaison faible « Vander-Waals » entre la molécule d'eau et celle du tamis.

Le cycle de régénération dont la séquence de chauffage est la principale passe par d'autres séquences avant sa remise en cycle d'adsorption.

Les séquences du cycle de la régénération sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 2.1 : Mode de fonctionnement du cycle de régénération théoriquement.

Séquence	Temps	Action
1-Drainage du GPL	2 heures	Injection Fuel gaz
2-chauffage	11 heures	Passage du gaz naturel chaud
3-refroidissement	7 heures	Passage du gaz naturel froid
4-remplissage	2 heures	Admission du GPL
5-stand-by	3 heures	Aucune
Total	24 heures	

1. Drainage :

Le but de la séquence de drainage est de chasser le produit GPL de l'absorbeur vers les sphères de stockage tampon par gaz naturel à la pression (14 Bar).

2. Chauffage :

La séquence de chauffage est la plus importante du cycle de régénération, durant cette séquence l'eau adsorbée est complètement éliminée du tamis moléculaire par le passage du gaz de régénération.

Le gaz de régénération d'un débit théoriquement de 3120Kg/h est chauffé dans l'économiseur 405/6221 jusqu'à la température de 320°C par les fumées provenant des turbines à gaz 430/6201A/B/C.

Les gaz chauds circulent du bas vers le haut à travers le lit, l'eau adsorbée par le tamis moléculaire est vaporisée et évacuée avec le gaz vers le refroidisseur 405/6229 où elle est condensée et séparée dans le séparateur 410/6214.

3. Refroidissement :

A la suite de la séquence de chauffage, le sécheur doit être refroidi par Le gaz de refroidissement « GN » qui passe directement du bas vers le haut à travers le lit où la température de ce dernier baisse progressivement jusqu'à la température de service qui est de l'ordre de 20 à 40°C.

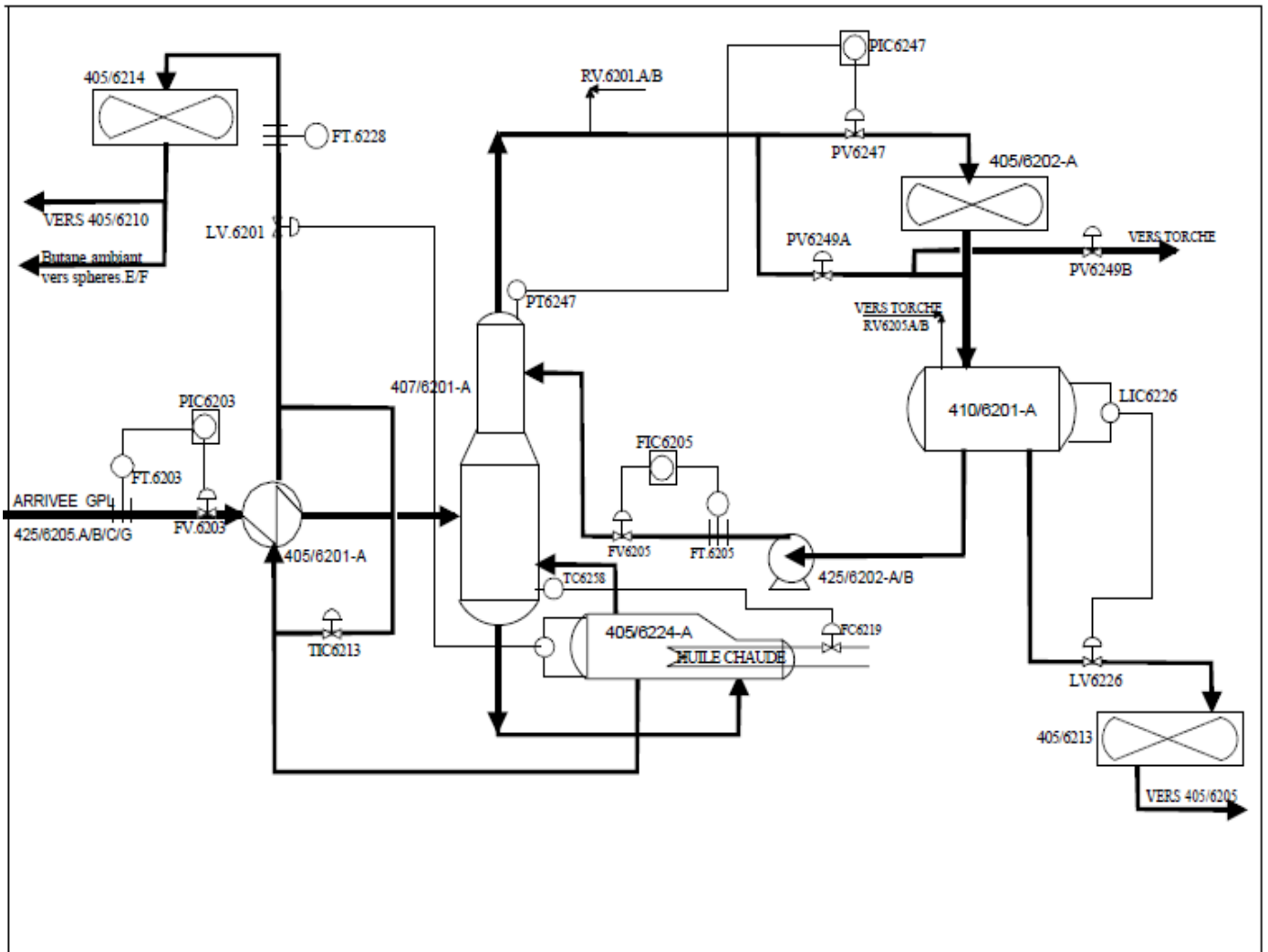
4. Remplissage :

A cette étape, la vanne de remplissage reçoit l'ordre de s'ouvrir, pour permettre l'admission du liquide GPL par le bas de l'absorbeur. Au fur et à mesure que le niveau monte dans le sécheur ; le gaz emprisonné se comprime en créant l'augmentation de pression ; lorsque cette dernière atteint le point de consigne du contrôleur de pression, le surplus est évacué vers la torche.

5. Attente :

Lorsque le niveau de liquide atteint, la vanne de remplissage se ferme, l'adsorbeur demeure en stand by et près à être remis en adsorption.

II.5 Section De Séparation



-Figure 2-6. Schéma de l'unité de Séparation

L'unité de séparation a été conçue pour séparer le mélange de la charge GPL en propane commercial comme produit de tête des colonnes et en butane commercial comme produit de fond des colonnes. Elle est constituée par 02 trains (02 splitters) 407/6201/A et B, chacun d'eux comprend les équipements suivants :

TRAIN A : 407/6201/A

- ✓ Une colonne de séparation 407/6201/A de 46 plateaux.
- ✓ Un préchauffeur de la charge GPL 405/6201/A.
- ✓ Une batterie d'aérocondenseurs 402/6202/A et 405/6204/A.
- ✓ Un ballon de reflux 410/6201/A.

- ✓ Deux pompes de reflux 425/6202/A et B.
- ✓ Un rebouilleur 405/6224/

TRAIN B : 407/6201/B

- ✓ Une colonne de séparation 407/6201/B de 46 plateaux.
- ✓ Un préchauffeur de la charge GPL 405/6201/B.
- ✓ Une batterie d'aérocondenseurs 402/6202/B et 405/6204/B.
- ✓ Un ballon de reflux 410/6201/B.
- ✓ Deux pompes de reflux 425/6202/C/D.
- ✓ Un rebouilleur 405/6224/B.

Avant d'arriver à la colonne de séparation, la charge GPL se trouve à une pression de 22,5 bar et passe par le préchauffeur A où elle est préchauffée par le butane venant du fond de la colonne de dépropanisation. La température d'entrée du GPL est réglée par la vanne qui se trouve sur la ligne de sortie du butane en fond de colonne qui by-pass le préchauffeur A : plus le GPL est froid et plus la vanne aura tendance à se fermer pour permettre à un maximum de butane chaud de passer à travers le préchauffeur A et vice versa. Le débit d'entrée du GPL est contrôlé par un indicateur de contrôle de débit.

Le courant de GPL venant du préchauffeur A entre dans la colonne au niveau du plateau d'alimentation n°24. Les hydrocarbures légers se séparent du courant d'alimentation et s'élèvent vers le sommet de la colonne à contre-courant d'un reflux continu de propane. Le propane commercial extrait comme produit de tête de la colonne de distillation, est condensé en totalité au niveau des aérocondenseurs. La pression de tête de la colonne est contrôlée par les deux vannes qui se trouvent en amont des aérocondenseurs. Lorsque la pression de tête de la colonne augmente, l'une des vannes s'ouvre et l'autre se ferme de façon à ce que le propane passe par les aérocondenseurs et, inversement, lorsque la pression de tête de la colonne chute de façon à ce que le propane passe par les aérocondenseurs. Lorsque la pression ne peut plus être réglée par les deux vannes, le contrôleur de pression s'ouvre vers le réseau de torche. La colonne est dotée également de deux soupapes tarées à 22,5 bars qui déversent vers torche en cas de surpression excessive. Le ballon de reflux est également muni d'une soupape tarée à une pression de 22,5 bars.

Le propane provenant du ballon de reflux est aspiré par l'une des pompes de reflux A/B. Une partie est réintroduite en tête de colonne comme reflux dans la colonne. Le débit de reflux est contrôlé par l'indicateur de contrôle de débit. L'autre partie de propane va s'écouler vers la réfrigération via la vanne de régulation de niveau qui permet de maintenir un niveau liquide dans le ballon de reflux.

Le liquide du fond de la colonne (butane) pénètre dans le rebouilleur A où il se vaporise partiellement. La partie vaporisée retourne vers la colonne en dessous du 46^{ème} plateau (le dernier) comme rebouillage vapeur alors que l'autre partie du butane s'écoule vers la réfrigération via la vanne de régulation de niveau qui permet de maintenir un niveau liquide dans le rebouilleur. C'est ce butane produit en fond de colonne qui permet de préchauffer le GPL en passant du côté calandre dans le préchauffeur A

II5.1. Paramètres De Fonctionnement Des Deux Colonnes 407/6201/A Et B

II5.1.1 Paramètres De Fonctionnement En Exploitation [15]

❖ Débits

- ✓ Débit d'entrée du GPL = 87.5 T/hr.
- ✓ Débit de reflux de propane = 110 T/hr.
- ✓ Débit de propane vers réfrigération = 46.2 T/hr.
- ✓ Débit de butane sortie de colonne = 263 T/hr.
- ✓ Débit de butane vers réfrigération = 41.3 T/hr.
- ✓ Débit de TORADA TC vers rebouilleur = 421 T/hr.

❖ Pressions

- ✓ Pression d'entrée du GPL = 22.5 bars.
- ✓ Pression tête de colonne = 19.8 bars.
- ✓ Pression TORADA TC vers rebouilleur = 7.6 bars.

❖ Températures

- ✓ Température d'entrée du GPL = 60.8 °C.

- ✓ Température tête de colonne = 57.4 °C.
- ✓ Température reflux = 49.5 °C.
- ✓ Température fond de colonne = 106.3 °C.
- ✓ Température TORADA TC vers rebouilleur = 190 °C.

réfrigérant (schiller) de l'étage HP à une température de 40 °C et sort à une température de 14,3 °C. A la sortie du Schiller, le produit passe par la déshydratation de garde conçue pour le séchage du propane commercial. La teneur de ce dernier doit être inférieure à 1 ppm à la sortie de la déshydratation afin d'éviter toute formation d'hydrates (cause de bouchage) puis le produit passe à l'étage MP à travers un 2^{ème} schiller, d'où il sort à une température de -14,6°C. Le propane commercial passe ensuite à l'étage BP de réfrigération à travers un 3^{ème} schiller d'où il sort à une température de -37,7 °C.

Le produit réfrigéré, passe alors par le ballon flash (ballon de détente), où il est détendu à 0,4 bar pour atteindre la température de -45 °C qui n'est autre que la température de stockage du produit fini au niveau du bac de stockage du propane réfrigéré. Le produit est finalement expédié vers le bac de stockage.

II.6.3 Circuit Du Butane Commercial

Le butane commercial produit au fond des deux colonnes de dépropanisation est acheminé sous contrôle de niveau vers l'aéroréfrigérant. Il entre ensuite au niveau de l'étage HP du schiller à une température de 40 °C et sort à une température de 14,6 °C. Le produit est admis ensuite à l'étage BP au niveau du schiller d'où il sort à une température de -11 °C puis il est acheminé vers le bac de stockage de butane où une température de -15 °C.

Le butane ambiant, quant à lui, est obtenu en envoyant une partie du produit sortant de l'aéroréfrigérant vers les sphères de butane ambiant. Les sphères de butane ambiant sont maintenues à une pression de 8 bars au moyen de la vanne de pression qui fait partie du circuit fuel gaz.

II.6.4 Boucle De Réfrigération Au Propane

Le propane pur est stocké dans le ballon de propane réfrigérant à une pression d'environ 16 bars et à une température avoisinant 40 °C. Le ballon est muni de deux soupapes de sécurité tarées à une pression de 18,2 bars. Le ballon alimente sous contrôle de niveau les deux schiller haute pression du côté calandre.

Le produit réfrigérant passe ensuite par la vanne de contrôle du niveau (1) pour alimenter le côté calandre du schiller (A) et par la vanne (2) pour alimenter le côté calandre du chiller (B). La détente a lieu en aval des deux vannes de contrôle de niveau de sorte que le propane pur entre respectivement dans les deux schillers à une pression de 6 bars et à une température de 11,8 °C.

Le même système de contrôle de niveau est utilisé au niveau de la moyenne et la basse pression. Le schiller (A) alimente le schiller du 2^{ème} étage de refroidissement du propane commercial et le schiller (B) alimente le schiller du 2^{ème} et dernier étage de refroidissement du butane commercial. Après détente le propane pur entre respectivement dans les schillers (A) et (B) à une pression de 1,8 bar et à une température de -16,9 °C. Chaque schiller est muni de soupapes de sécurité.

Au niveau du 3^{ème} étage de réfrigération (BP), il n'y a que le propane commercial qui est refroidi, le butane ayant terminé son cycle de réfrigération.

A chaque étage, les vapeurs issues des schillers sont reprises par un turbocompresseur via des ballons séparateurs qui permettent d'éliminer toutes gouttelettes de liquide entraînés avec les vapeurs de propane.

Elles sont comprimées dans le compresseur centrifuge étagé entraîné par une turbine à gaz et refoolées vers les aérocondenseurs A/B pour être condensées puis renvoyées au ballon pour effectuer un nouveau cycle.

II.7 Section Boil Off

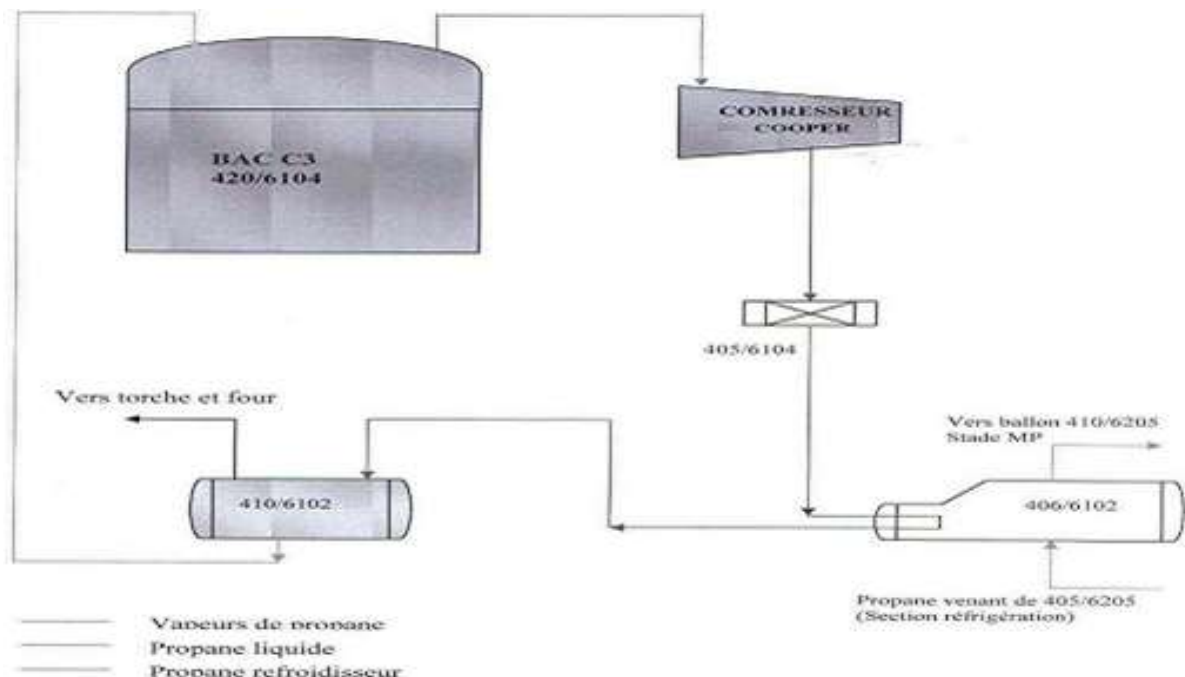


Figure 2-8. Schéma de boucle BOG

La section Boil Off à pour objet de récupérer les vapeurs de propane et butane commerciaux produits dans leurs bacs de stockage respectifs

Les vapeurs sont récupérées dans des bacs par des compresseurs, condensées dans des aérocondenseurs récupérés dans des ballons puis retournées vers leurs bacs respectifs

Le système Boil Off empreinte des circuits différents selon que l'unité soit en marche (turbine en service) ou à l'arrêt (turbine à l'arrêt).

II.8. Circuit De Récupération Du Propane

Les compresseurs Boil Off 430/6101/B ou 430/6102/A/B aspirent les vapeurs de propane émises au niveau du bac 420/6104 et les vapeurs émises au niveau du ballon flash (410/6206) Via la PIC 6254 à une pression de 0,4 bars et à une température de -44.3°C. Les vapeurs sont ensuite refoulées vers les aérocondenseurs 405/6104 puis rejoignent le Schiller 405/6102 côté tube à une pression de 7 bars et à une température de 60°C où elles seront refroidies par du propane réfrigérant puis dirigées vers le ballon 410/6102. Le propane ainsi condensé rejoint le bac 420/6104 via la LV 6108. Les vapeurs émises au niveau du ballon 410/6102 sont envoyées via la PIC 6152 soit vers le circuit fuel gaz soit vers le réseau torchère.

II.8.1. Circuit Du Propane Refrigérant

Le côté calandre du Schiller 405/6102 est alimenté par du propane réfrigérant provenant de l'une des calandres des Schiller HP : 405/6205 ou 405/6210. Le produit est détendu en aval des LV 6109 puis entre dans le Schiller 405/6102 à une pression de 6 bars et à une température de 11.8°C. Les vapeurs émises au niveau du Schiller 405/6102 sont reprises le ballon séparateur du stade MP le 410/6105 via le séparateur 440/6102.

II.9 Section Stockage

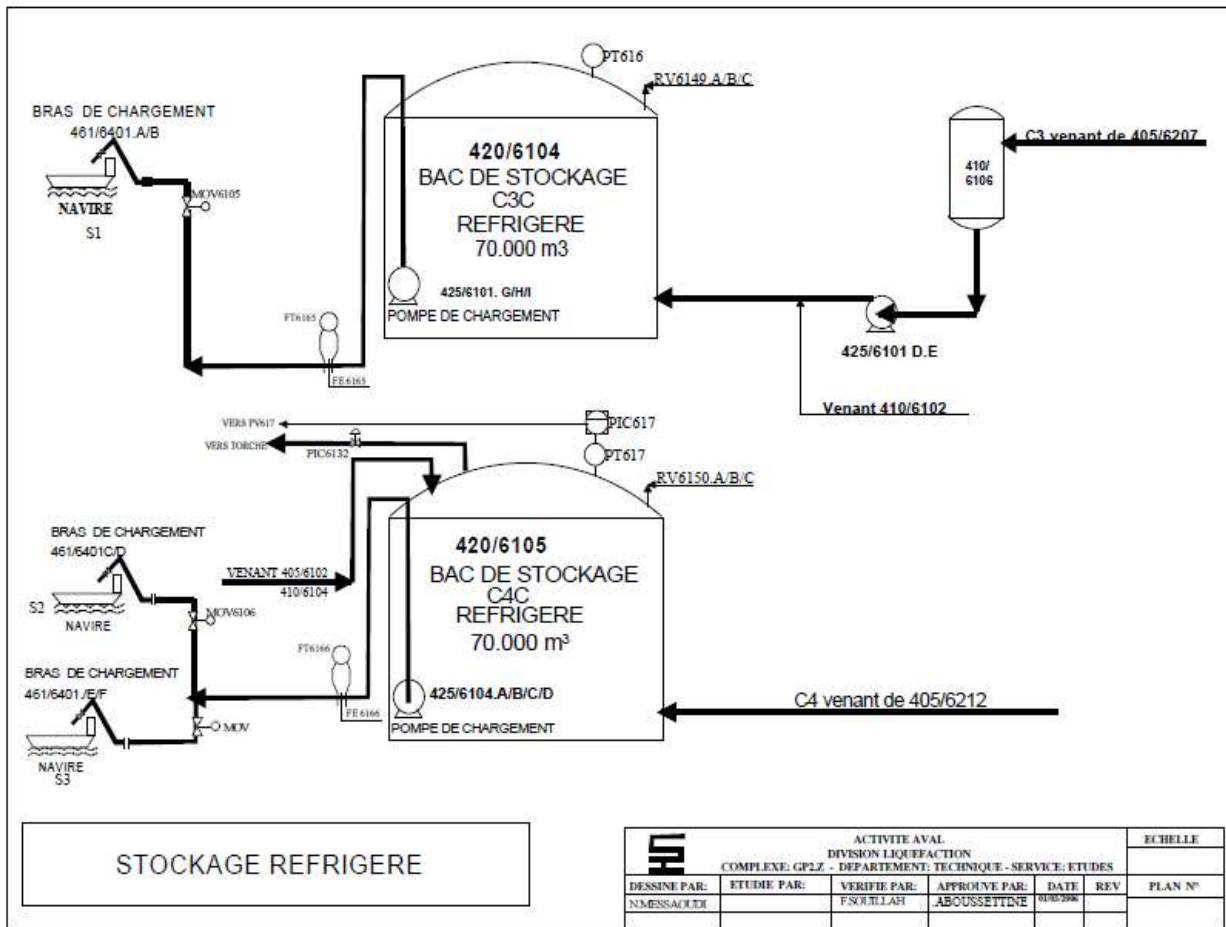


Figure 2-9. Schéma de la section stockage

II.9.1. Butane Ambient

II.9.1.1. Section De Stockage Butane Ambient

La section de stockage ambiant comporte 02 sphères 420/6105/E/F Le butane est stocké à température ambiante et la pression est maintenue dans les sphères à 8 bars au moyen de la PV604/A. Le circuit de maintien de pression des sphères de butane 420/6105/E/F et des sphères de GPL 420/6105/A/B est commun : la pression y est maintenue par la PV 604/A. En cas d'augmentation de pression dans les sphères, la PV 604/B s'ouvre vers torche via le ballon fuel gaz 440/6303.

II.8.1.2. Chargement Camion Du Butane Ambiant

Les installations de chargement camions sont conçues pour permettre le chargement du butane ambiant via respectivement les MOV 6105/E/F des sphères 420/6105/E/F.

Le butane est transféré par les pompes 425/6205/E/F lorsque le transfert s'effectue du complexe GP2Z vers NAFTAL.

II.9.2. Propane Refrigere

II.9.2.1. Section De Stockage De Propane Refrigere

Cette section a pour but d'assurer le stockage du propane commercial au niveau du bac 420/6104 à une pression atmosphérique et à une température de - 45°C. Le bac 420/6104 a une capacité de 70.000 m³ et il est muni de trois soupapes tarées à différents paliers de pression : RV 6149/A, B et C tarées respectivement à 1.010 mmH₂O, 1.030 mmH₂O, 1.060 mmH₂O. Correspondant de l'ordre de 1/10 de la pression atmosphérique.

II.9.2.2. Chargement Navire Du Propane Refrigere

Le chargement navire se fait au moyen des pompes immergées, les 425/6101/G, /H, et /I. Le débit minimum est maintenu par la PIC 6165. Le remplissage des navires se fait au niveau de la S1 qui dispose de deux bras de chargement les 461/6401/A et /B. Le refroidissement de la ligne de chargement se fait par la pompe 425/6101/J qui aspire du propane réfrigéré et le retourne vers le bac 420/6104.

II.9.3. butane refrigere

II.9.3.1. Section De Stockage De Butane Refrigere

Cette section a pour but d'assurer le stockage du butane commercial au niveau du bac 420/6105 à une pression atmosphérique et à une température de -15°C. Le bac 420/6105 a une capacité de 70.000 m³ et il est muni de trois soupapes tarées à différents paliers de pression : RV 6150/A/B/C tarées respectivement à 1 010 mmH₂O, 1 030 mmH₂O et 1 060 mmH₂O. en cas de surpression dans le bac, le PIC 6132 s'ouvre vers torche afin de soulager en pression le bac considéré.

II.9.3.2. Chargement Navire Du Propane Refrigere

Le chargement navire se fait au moyen des pompes immergées : les 425/6104/G et I pour les grands débits et par la 425/6104 /D pour des débits moindres. Le débit minimum est maintenu par la PIC 6167. Le remplissage des navires se fait au niveau de la S2 qui dispose de deux bras de chargement les 461/6401/C et D et de la S3 qui dispose de deux bras de chargement les 461/6401/E et F.

II.10. Les Utilites :

Ils sont constitués des réseaux suivants :

➤ **Réseau fuel gaz :**

Il est destiné à alimenter les fours de rebouilleur, turbines, les pilotes de torches et le stockage de GPL et butane.

➤ **Réseau d'électricité :**

Pour les besoins en énergie électrique, le complexe dispose deux sources d'alimentation, le réseau SONELGAZ et un système de génération interne.

➤ **Réseau d'air instrument :**

Un groupe de trois compresseurs entraînés par moteurs électriques assure la fourniture des besoins en air.

➤ **Réseau gaz inerte (azote) :**

Ce réseau permet d'assurer les opérations d'inertage des équipements préalablement aux travaux de pénétration et soudure.

➤ **Réseau méthanol :**

Le réseau méthanol (injection du méthanol) est mis en place pour permettre le dégivrage des lignes d'expédition du propane commercial. Le dépôt de givre est provoqué par la présence d'eau (H₂O) aux stades de réfrigération (MP) et (BP) ou la température de congélation d'H₂O est facilement atteinte.

➤ **Réseau d'eau d'incendie :**

Il est composé d'une bache d'eau incendie avec pompes et d'un bac eau incendie.

II.11. Les Taches Du Laboratoire:

Le service Laboratoire a pour taches d'effectuer des contrôles de qualité suivant des méthodes normalisées (ASTM). La fréquence des analyses varie selon la nature du produit à tester. Elle peut être : quotidienne, hebdomadaire ou mensuelle.

a- Tâches quotidiennes :

Elles sont constituées par les analyses concernant les gaz et les huiles. Concernant les gaz, les analyses sont faites pour :

- Les concentrations molaires du GPL brut.
- Le taux d'humidité contenu dans le GPL brut.
- Les concentrations des produits de tête et de fond des colonnes (A&B).
- Les concentrations du butane et du propane au niveau de leurs bacs respectifs.

Ces analyses sont effectuées par les équipes de quart assurant le fonctionnement du laboratoire en H24, au moyen de chromatographes .La moyenne des vingt-quatre heures est celle qui est prise en compte dans le rapport quotidien.

- Le calcul de la densité et de la TVR du GPL provenant des différents champs.

Les analyses concernant les huiles au niveau du ballon d'expansion :

- Mesure de la densité.
- Mesure de la viscosité.
- Point éclair.
- Détermination du pourcentage en sédiments.
- Détermination de la couleur et de l'aspect de l'huile.

L'ensemble de toutes ces analyses gaz/huile constitue le rapport quotidien.

b- Tâches hebdomadaires :

Un rapport hebdomadaire est établi le mercredi de chaque semaine ou sont mentionnées les moyennes des analyses quotidiennes concernant :

- Les pourcentages molaires des C3 et C4 au niveau des colonnes A & B.
- Le pourcentage molaire du C3 du Schiller 405/6207.
- Le pourcentage molaire du C4 à la sortie du Schiller 405/6212.
- Les pourcentages molaires des C3 et C4 au niveau de leurs bacs respectifs (Bacs 420/6104 et 420/6105).
- Le suivi des huiles.

c- Tâches mensuelles :

Un rapport mensuel est établi la fin de chaque mois, où sont mentionnées les moyennes des analyses quotidiennes concernant :

La qualité du GPL :

- Moyenne mensuelle des différents constituants du GPL : C₁, C₂, C₃, iC₄, nC₄, iC₅ et nC₅.
- C₂⁻ & C₅⁺ mini & maxi.
- Moyenne mensuelle de la densité à 15°C.

La qualité des produits en cours de fabrication:

- Moyenne mensuelle des différents constituants à la sortie du ballon 06 (C3 commercial).
- Moyenne mensuelle des différents constituants à la sortie du Schiller 12 (C4 commercial).

La qualité des produits finis :

- Moyenne mensuelle des différents constituants au niveau des bacs de stockage : 416/6105 (butane) & 420/6104 (propane).
- Moyenne mensuelle de la qualité des différents constituants lors des chargements navire ou camion.
- Suivi du GN à l'entrée turbine.

- Suivi de l'humidité du GPL: tout au long du mois à l'entrée et la sortie de la déshydratation.
- Suivi d'huile : densité, point flash, viscosité, pourcentage d'eau dans l'huile et pourcentage des sédiments.
- Suivi mensuel de l'évolution:
 - C₂ & C₃⁺ dans le GPL.
 - C₃ dans le C₄ expédie et stocké
 - C₄ dans le C₃ expédie et stocké.

L'analyse des huiles de lubrification des turbines (viscosité, point de flash) est une tâche mensuelle qui s'effectue pour les turbines en marche.

En plus de toutes ces tâches, le service Laboratoire peut être amené à effectuer d'autres analyses sur demande :

- En cas de détection d'anomalie.
- Lors d'un démarrage.
- Lors d'un chargement navire ou camion.

d-Tâche annuelles :

Un rapport annuel est établi à la fin de chaque année ou sont mentionnées les moyennes annuelles des paramètres concernant :

- La qualité du GPL.
- C₂ & C₃⁺ mini & maxi dans les splitters A & B.
- Moyenne des différents constituants dans les splitters A&B.
- La qualité des produits en cours de fabrication.
- La qualité des produits au cours de chargements par camion et navire.
- La qualité des huiles (point flash, viscosité, %sédiments) : pour chaque mois.

- Evolution des C₂⁻ & C₅⁺ dans le GPL.
- Evolution des C₃ & C₄ expédient.

En outre, il revient au service laboratoire d'établir un bilan des objectifs :

- ❖ Objectifs de l'année suivante.
- ❖ Suivi des entrées et sorties des produits chimiques, verrerie et matériel.
- ❖ Actualisation de l'inventaire.
- ❖ Suivi des équipements.

II.12 Parametre Des Deferentes Etapes Precedentes.

Stockage Propane Et Butane

Tableau 2-2. Stockage du propane et butane commercial [15].

	PRESSION	TEMPERATURE
Propane commercial réfrigéré	1,1 bars	- 45 °C
Butane commercial réfrigéré	1,1 bars	- 15 °C
Butane commercial ambiant	8 à 9 bars	0 à 38 °C

. Description De L'installation

Colonne De Dépropanisation 407/6201/A/B

Tableau2-3. Spécification de la colonne de dépropanisation [15].

N° de l'équipement	407/6201/A/B
Type de plateau	Vortex/ Superfrac
Nombre plateaux Vortex	11 en tête de colonne
Nombre plateaux Superfrac	35 en dessous des plateaux Vortex
Espacement plateaux Vortex	609,6 mm
Espacement plateaux Superfrac	410 mm

Préchauffeur D'alimentation Du Dépropaniseur

Tableau2-4. Spécification d'échangeur de chaleur du dépropaniseur [15].

N° de l'équipement	407/6201/A/B			
Fiche technique	Calandre		Tube	
Matériaux	SA 285°C		SA179	
Dimensions	Diamètre 1.15m		1426 de 1,9cmx7, 3m	
Nombres de passes	1		1	
Produit	Butane		GPL	
	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
Température °C	108.3	65.8	38	60.8
Débit T/hr	41.3		87.5	

Condenseur De Tete Du Depropaniseur

Tableau 2-5. Spécification du condenseur du depropaniseur [15].

N° de l'équipement	405/6202/A/B
Matériaux /spécification	SA 285 A
Débit	154316 Kg/hr
N° de l'équipement	405/6204/A/B
Matériaux /spécification	SA 285 C
Débit	53010 Kg/hr

Ballon De Reflux

Tableau2-6. Spécification du ballon de reflux [15].

N° de l'équipement	410/6201/A/B
Dimensions	2,4 x 6,805 m
Pression de la marche	19,98 à 22,1 kg/cm ²
Température de la marche	66,232°C

Pompes De Reflux Du Depropaniseur

Tableau6. Spécification de pompe de reflux du depropaniseur.

N° de l'équipement	425/6201/A/B
Type	Horizontale et sans amorçage
Perte de charge de la pompe	11,0 kg/m ² (237 m)
Température	65°C
Débit	344m ³ /h

Rebouilleur Du Dépropaniseur

Tableau 2-7. Spécification de rebouilleur de depropaniseur.

N° de l'équipement	405/6224/A/B			
Fiche technique	Calandre		Tube	
Dimensions	Diamètre 1.15m		1426 de 1,9cm x 7, 3m	
Nombres de passes	1		1	
Produit	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
Température °C	106.3	108.3	190	135
Perte de charge	0,1 kg/cm ²		0,7 kg/cm ²	

CHAPITRE III :
DESHYDRATATION
ET REGENERATION

CHAPITRE III: Déshydratation et Régénération des tamis moléculaires

III.I. Déshydratation

III.1.1 Introduction

La présence d'eau entraîne différents problèmes pour l'exploitation de la séparation du GPL, suivant les conditions de température et de pression qui règnent aux niveaux des équipements; la vapeur d'eau peut se condenser et provoquer la formation des hydrates, se solidifier ou favoriser la corrosion si le gaz contient du CO₂ par combinaison avec l'eau forme un acide carbonique H₂CO₃.

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

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

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

A tout instant, une colonne est en ligne pour l'adsorption et la deuxième est en régénération. La durée d'adsorption est de 24 heures théoriquement, mais elle était modifiée suivant les caractéristiques du GPL à l'entrée, elle est de l'ordre de 48 heures, à l'échéance de ce temps, la colonne en réserve est mise en service, et l'autre colonne passe en régénération.

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

**Pourquoi la déshydratation du GPL*

- ✓ Risque de corrosion des pipes (surtout en présence de gaz acide).
- ✓ Risque de formation des hydrates.
- ✓ Risque de solidification dans les procédés cryogéniques.

III.2.Procede De Sechage

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

- ✓ Déshydratation du GPL par absorption.
- ✓ Déshydratation du GPL par adsorption.

III.2.1. Sechage Par Absorption

Un absorbant liquide convenant au séchage des gaz naturels doit remplir de nombreuses conditions parmi les quelles :

- ✓ Grande affinité pour l'eau ;
- ✓ Faible cout ;
- ✓ Absence de caractère corrosif ;
- ✓ Facilite de régénération ;
- ✓ Stabilité pendant la régénération ;
- ✓ Viscosité faible ou modérée ;
- ✓ Faible tension de vapeur à la température de contact ;
- ✓ Faible solubilité pour les gaz naturels et les hydrocarbures liquides ;
- ✓ Faible tendance au moussage ou à l'émulsifiassions.

Les glycols qui peuvent être utilisés pour la déshydratation du gaz sont au nombre de quatre:

- ✓ Éthylène glycol
- ✓ Diéthylène glycol
- ✓ Triéthylène glycol
- ✓ Tetraéthylene glycol

III.2.2. Deshydratation Par Adsorption

Les propriétés adsorbantes d'un solide microporeux sont créées par la résultante des forces existant entre deux molécules, les forces de Van der Waals. L'origine de ces forces attractives est l'interaction électrostatique entre les atomes ou les interactions dipolaires. Puisque la répulsion liée au rapprochement des orbitales atomiques s'oppose à ces forces d'attraction, il existe une distance critique correspondant au minimum d'énergie potentielle du système composé des deux molécules.

Si l'on considère maintenant une molécule d'un fluide et un ensemble de molécules ou atomes à la surface d'un solide, la résultante des interactions conduit à la fixation de la molécule du fluide à la surface du solide. Ce phénomène est l'adsorption. On distingue deux types de phénomène, selon la nature de la fixation. Si l'adsorption conduit à la création d'une véritable liaison chimique entre le fluide et le solide, on parlera de chimisorption. Si la fixation est purement la résultante de forces d'interaction physiques, on emploiera le terme de physisorption, les énergies mises en jeu lors de cette dernière étant généralement beaucoup plus faibles que la chimisorption et plus facilement réversibles.

III.2.3. Différents Types D'adsorbants Utilisés Pour La Deshydratation

Il existe 4 dessiccants principaux utilisés dans les applications du GPL :

- ✓ Le gel de silice,
- ✓ Le gel d'alumine,
- ✓ L'alumine activée,
- ✓ Les tamis moléculaires.

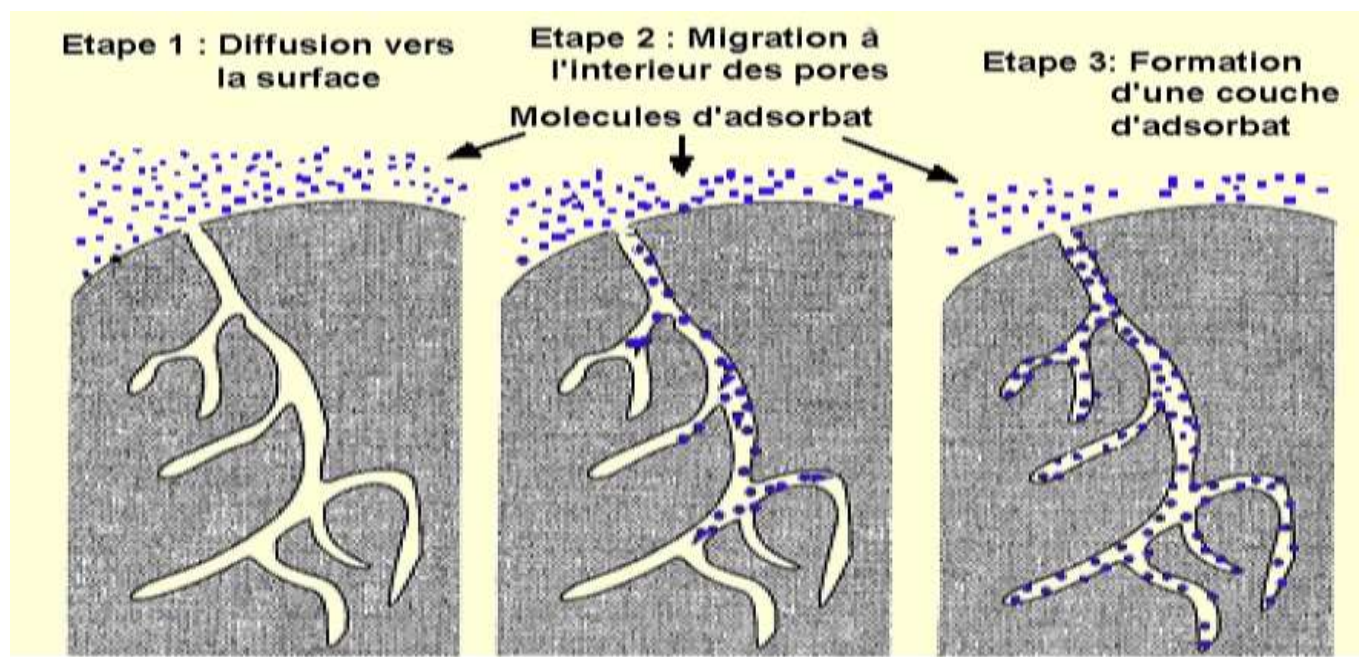


Figure 3-1. Diffusion d'eau à l'intérieur des pores

III.3 Tamis Moléculaires

Ils sont les aluminosilicates cristallisés de telle manière qu'ils forment des molécules poreuses dont le diamètre des pores est parfaitement défini.

Tableau 3-1. Les propriétés du tamis moléculaires [15].

Désignation	3A	4A	5A	10X	13X
Nature du cation	Potassium	Sodium	Calcium	Calcium	Sodium
Taille des particules	Poudre cristalline	0.6 à 5			
Masse volumique globale	0.75	0.7	0.7	0.6	0.6
Chaleur spécifique à 40°C	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Volume des cavités (cm ³ /g)	0.28	0.28	0.28	0.36	0.36
Surface interne	700 à 800 m ² /g				
Surface externe	3 à 10 m ² /g				
Diamètre effectif des pores	3A	4.2 A	5A	8A	10A

Les tamis moléculaire sont stables jusqu'à 700°C. On les régénère entre 200 et 400 °C. Ils sont extrêmement avides d'eau et fournissent les meilleurs adsorbants connus pour le séchage des gaz et des liquides dans le domaine des faibles teneurs en eau. La chaleur d'adsorption de l'eau est très grande : 18kcal/mole. En outre leur capacité d'adsorption reste élevée a haute température : ils peuvent être dessécher efficacement des gaz à plus de 100°C.

III.4. Description Du Phenomene D'adsorption

III.4.1. Colonne D'adsorption

III.4.1.1. La Procédure De Remplissage Du Sécheur

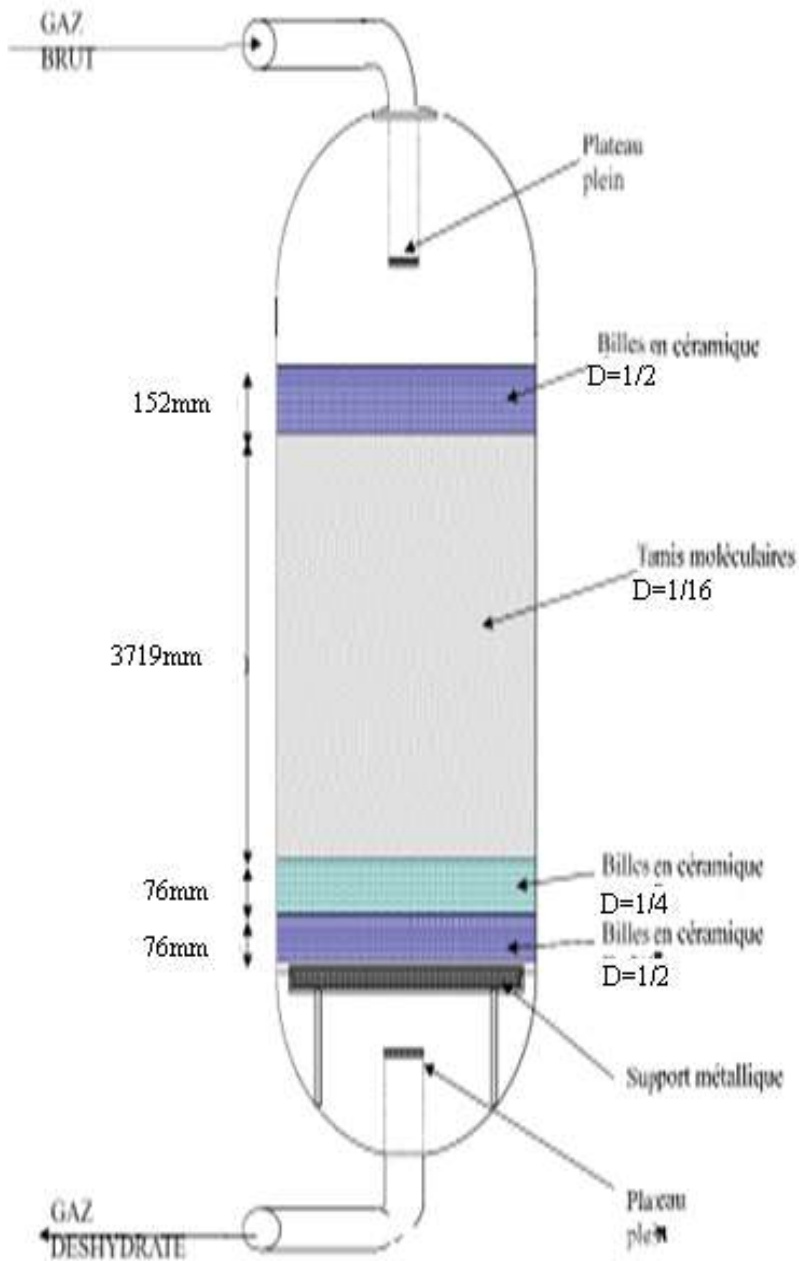


Figure 3-2. Procédé de remplissage du sécheur.

La procédure de remplissage après dépressurisation de sécheur sera comme suite :

Du bat en haut :

- 1- Installer un extracteur d'air afin d'évacuer toute la poussière générée lors de l'opération de remplissage
- 2- Inspection de la bonne disposition du caillebotis.
- 3- Inspection du grillage (coudre les endroits déchirés)
- 4- Mise en place du grillage avec vérification de leurs bonnes fixations.
- 5- Mise en place d'un entonnoir de remplissage au niveau du trou d'homme de 18" et l'enlèvement du spool de 10" en dessus du sécheur et qui va servir comme un cheminée d'aération.
- 6- Remplissage des billes céramiques de 1/2" à 76mm équivalent à trois futs de 200Kg.
- 7- Egaliser le niveau
- 8- Remplissage des billes céramiques de 1/4" à 76mm équivalent à trois futs de 200Kg.
- 9- Egaliser le niveau
- 10- Remplissage du tamis moléculaire à 3719mm (1/8" 4A UOP « trisiv ») qui est en poids « 9990Kg » équivalent de 74 futs de 135Kg.
- 11- Egaliser le niveau
- 12- L'emplacement du grillage.
- 13- Remplissage des billes céramiques de 1/2" à 152mm qui fait l'équivalent de six futs de 200Kg
- 14- Egaliser le niveau

Note :

- ✓ Le remplissage des billes sera suivi par la pénétration d'un agent ou deux pour s'assurer de la bonne dispersion des billes.

- ✓ Pour le tamis moléculaire en particulier il faut une pénétration d'un agent ou deux et ça après le dégagement totale de la poussière dégagée lors du remplissage et qu'ils soient dotés d'un masque poussière afin d'assurer de la bonne dispersion du tamis moléculaire.

III.4.2 Concept De Zone De Transfert De Masse

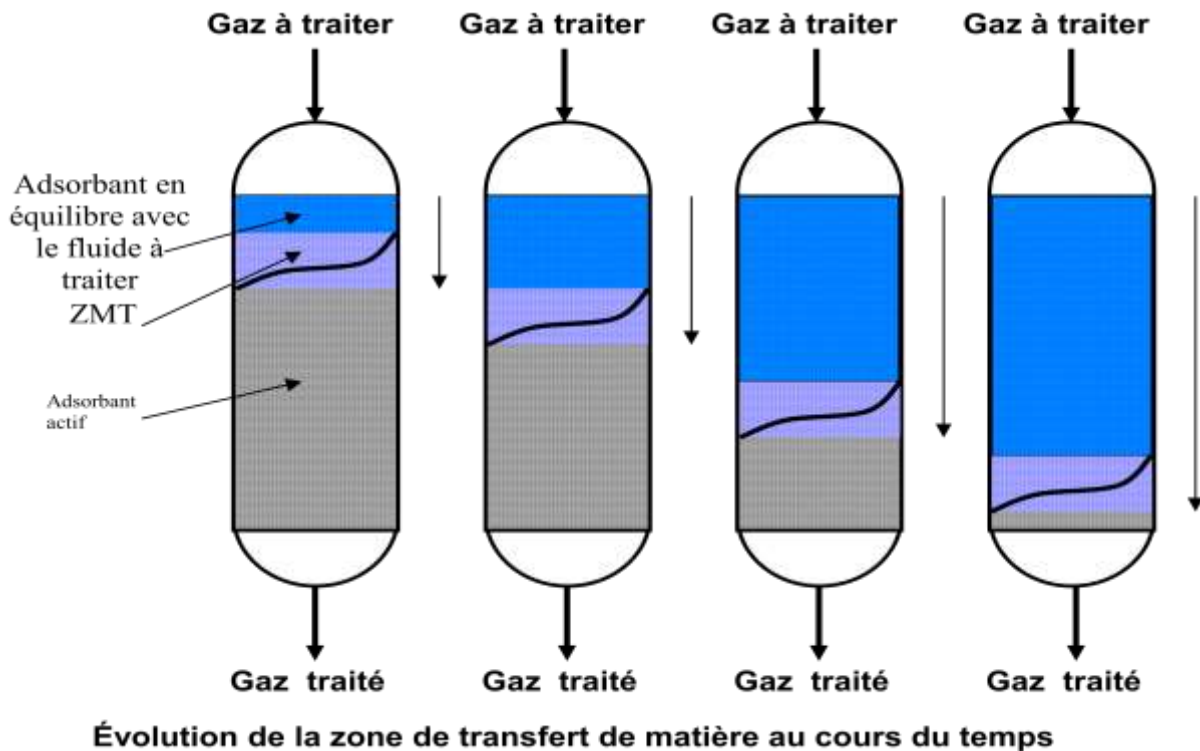


Figure 3-3 Evolution de la zone de transfert de masse

Pendant le cycle d'adsorption, un lit de tamis moléculaire peut être divisé en 3 zones appelées la zone de saturation ou d'équilibre. Le tamis moléculaire de cette zone est en équilibre avec le gaz d'entrée humide, la zone du milieu est la zone de transfert de masse. La zone du bas est le lit non utilisé. Le tamis moléculaire dans cette région est en équilibre avec le gaz de sortie absolument sec. Si le lit fonctionne trop longtemps, la zone de transfert de masse commence à sortir du fond de sécheur. Cela s'appelle la percée et si cela persiste longtemps, l'unité cryogénique se bouche et ce suite à la saturation du lit du tamis moléculaire.

Comme l'eau est adsorbée du gaz dans la section 1, la section 2 commence à traiter le gaz avec moins d'eau et de gradient de concentration. Pour que la section 2 retienne autant d'eau que la section 1, elle devrait être beaucoup plus grande. La section 3 devra être plus grande que

la section 2, la région d'un lit à tamis moléculaire composée de quantités croissantes de tamis pour retenir des quantités égales d'eau est appelée la zone de transfert de masse.

La zone de transfert de masse est la longueur de lit requise pour réduire la teneur en eau du gaz depuis la saturation jusqu'à la spécification requise (moins de 0.1ppm). Cette longueur est normalement de 0.15 à 1.8 m et dépend de divers facteurs tels que la composition du gaz, la température et la pression, la vitesse du gaz, le type d'adsorbant, et sa la granulométrie.

III.5. Regeneration

Pour la description des cycles de régénération, on suppose que l'absorbant a atteint les 24 heures d'absorption (durée d'adsorption du tamis moléculaire), en vue du cycle de régénération et qui se compose des étapes suivantes :

- ✓ Drainage : 02 heures
- ✓ Dépressurisation : (6 min)
- ✓ Chauffage : 12 heures
- ✓ Refroidissement : 06 heures
- ✓ Pressurisation : (6 min)
- ✓ Remplissage : 02 heures
- ✓ Attente : 2.8 heures

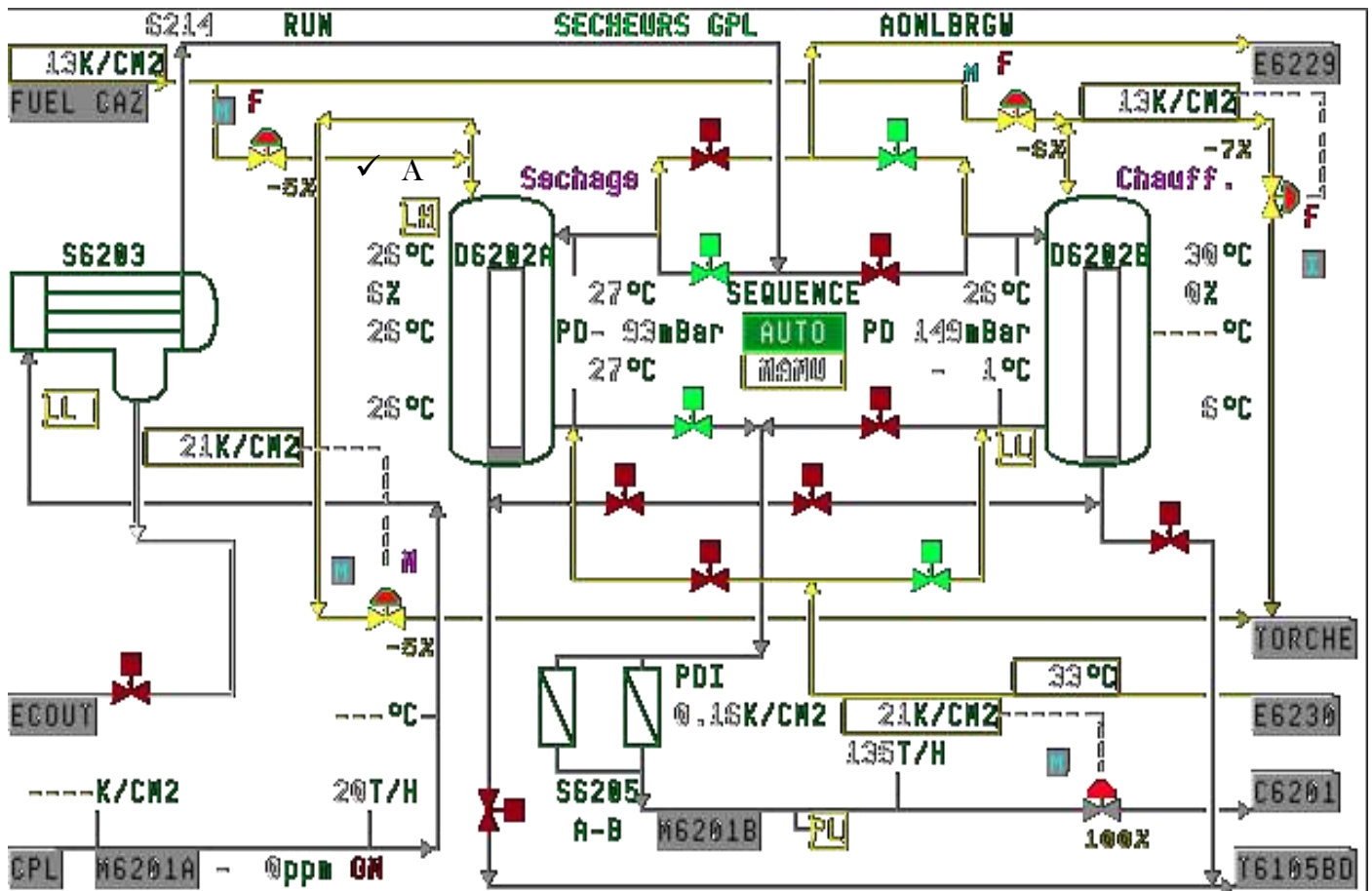


Figure 3-4. Schéma de la section de déshydratation

* on a répéter les étapes du procédé de déshydratation vue leur grande importance.

➤ Drainage

Le but de la séquence de drainage est de chasser le produit GPL de l'absorbeur vers les sphères de stockage tampon par le fuel gaz à haute pression (10 Bars).

➤ Dépressurisation

Le sécheur est dépressurisé par excitation de l'électrovanne pour permettre le passage de l'air instrument. Le contrôleur de pression s'ouvre la vanne et l'adsorbeur est dépressurisé vers la torche jusqu'à la pression de gaz de régénération qui est de l'ordre de 11 à 12 bars. Une fois que cette pression est atteinte, la vanne se désexcite pour la fermeture.

➤ Chauffage

Le cycle de chauffage est le plus important du cycle de régénération. Durant cette séquence, l'eau adsorbée est complètement éliminée du tamis moléculaire. Le chauffage du tamis

moléculaire sera effectué du bas vers le haut (sens inverse de fonctionnement normal de l'opération d'adsorption).

Après la dépressurisation de l'absorbeur, les Vannes s'ouvrent graduellement pour établir une circulation du gaz de chauffage à travers le réchauffeur (l'économiseur de la turbine). Le gaz de régénération est véhiculé vers le four.

Le débit de fuel gaz qui est de l'ordre de 1300 Kg/h est chauffé graduellement pour atteindre une température de 280 °C à la sortie du sécheur. Les gaz chaud circule du bas vers le haut à travers le lit, l'eau adsorbée par le tamis moléculaire est vaporisée et évacuée avec le gaz vers le refroidisseur où il est refroidi et la vapeur d'eau est condensée et séparée dans le séparateur.

➤ *Refroidissement*

A la suite de la séquence de chauffage, le sécheur doit être refroidi à la température de service. Le gaz de refroidissement passe directement du bas vers le haut à travers le lit où la température de ce dernier baisse progressivement jusqu'à la température de service qui est de l'ordre 20 à 40°C.

➤ *Remplissage*

A cette étape, la vanne de remplissage reçoit l'ordre de s'ouvrir, pour permettre l'admission du liquide GPL par le bas de l'absorbeur. Au fur et à mesure que le niveau monte dans le sécheur ; le gaz emprisonné se comprime en créant l'augmentation de pression ; lorsque cette dernière atteint le point de consigne du contrôleur de pression, le surplus est évacué vers la torche.

➤ *Attente*

Après la remise sous pression, le GPL liquide peut être réintroduit dans la colonne, la vanne s'ouvre pour admettre un faible débit de GPL liquide dans la colonne. En même temps, le contacte de niveau est mis en service.

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 de liquide atteint, la vanne se ferme, l'absorbeur demeure en stand by et prêt à être remis en fonction d'absorbeur. Cette opération demande environ une durée de 2 heures.

III.5. Effet Des Variables De Procédé

Température

L'efficacité d'un lit adsorbant est particulièrement sensible à la température du fluide d'entrée, en général l'efficacité de la déshydrations diminue lorsque la température augmente. Pour cette raison il est important de concevoir un système de séchage ayant une température aussi faible que possible, à condition que celle ci soit au moins de 5°C au dessus de point de formation d'hydrates.

La température du gaz chaud entrant et sortant d'un lit desséchant pendant le cycle de chauffage peut fortement affecter l'efficacité de l'unité et la vie du matériau desséchant. Une température de régénération élevée est nécessaire pour assurer une bonne désorption de l'eau.

Pression

En général, l'efficacité d'adsorption augmente avec la pression à une température constante, la teneur en eau de saturation du fluide d'entrée diminue lorsque la pression augmente, et par conséquent, si les déshydrateur sont utilisés bien au dessous de la pression nominale, le desséchant devra travailler plus dur pour éliminer l'eau supplémentaire et la valeur souhaitée du point de rosée de l'effluent.

Teneur en humidité de la charge

La saturation relative du gaz d'alimentation est la variable qui détermine la capacité d'un matériau desséchant donné à une température donnée.

Direction de l'écoulement

La direction de l'écoulement de la charge pendant le cycle de séchage est habituellement vers lebas pour le gaz, ceci permet d'avoir des vitesses plus élevées sans risques d'endommagement du matériau par une fluidisation.

En générale, la direction de l'écoulement du gaz de chauffage est à contre-courant de la direction du courant d'adsorption. Ceci permet une meilleure réactivation du lit desséchant. Si le courant de gaz de chauffe est Co-courant avec le courant d'adsorption, toute l'eau et les autres contaminants doivent se déplacer à travers la longueur totale du lit. Ceci peut entraîner une contamination supplémentaire du matériau et un temps de régénération plus important.

III.6 Type Et Dimension Du Tamis

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

Les usines de GPL préfèrent utiliser des granulés de 1.588 mm au lieu de 3.175 mm, car les granulés de petits diamètres offrent une surface plus importante par unité de volume pour le transfert de masse. et par conséquent une meilleure efficacité d'adsorption

III.7. Description Des Tamis Moléculaires

III.7.1. Introduction [19] [20]

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 basées sur les différences de tailles des molécules.

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

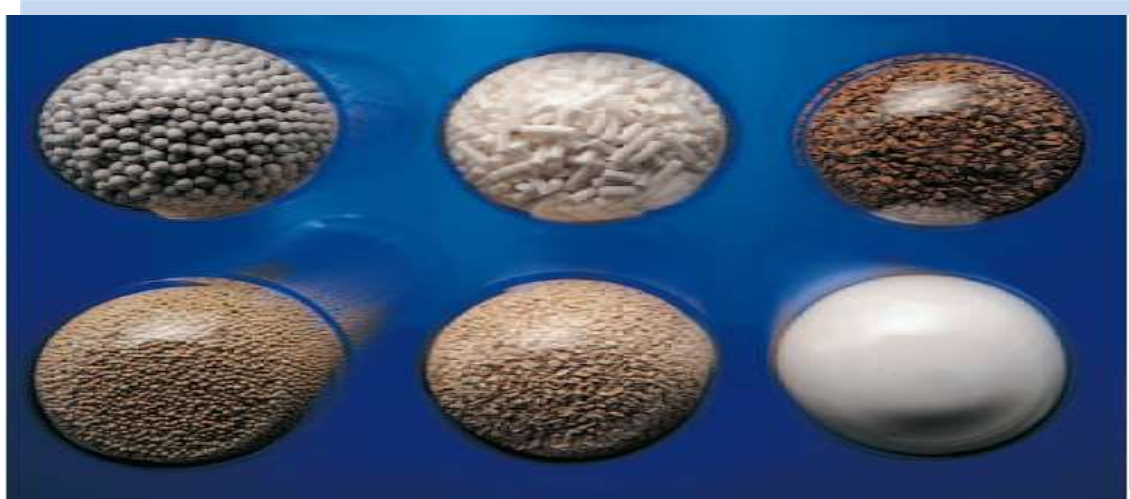


Figure 3-5. Différent type de tamis moléculaires

III.7.2. Tamis Moléculaire Sous Ses Différentes Formes

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

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

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

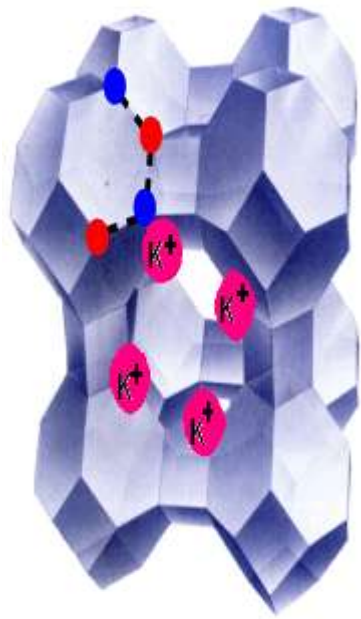
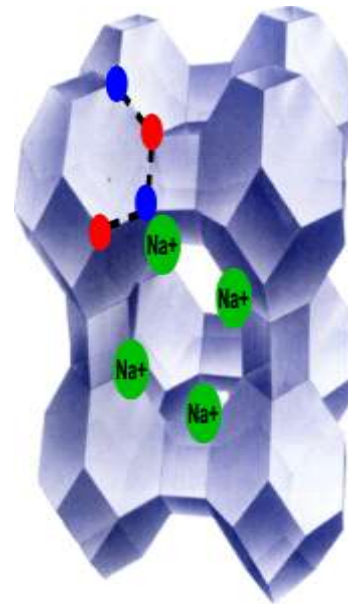
**Tamis moléculaire 3A****Tamis moléculaire 4A**

Figure 3-6. différents formes des tamis moléculaire

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

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

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

Les tamis moléculaire utiliser dans le traitement du gaz au niveau du GP2Z sont les tamis UOP type 4A-DG TRISIV 1/8".

III.7.3. Description

Le tamis moléculaire UOP TYPE AG-DG est un adsorbant a base d'alumino -silicate, il adsorbe les molécules avec un diamètre critique jusqu'à 4 Angstrom.

III.7.3.1 Fiche Technique Du Tamis Moléculaire

Tableau 3-2. Fiche technique du tamis moléculaire [16] [18].

Propriétés	Caractéristiques	
Diamètre nominale des pores	4	°A
Diamètre des particules	1.6	Mm
Densité tassée	700	kg/m ³
Chaleur de désorption de l'eau	1800	kcal/kg d'eau
Teneur en eau résiduelle	2	%
Capacité en eau à l'équilibre	21	%
Capacité calorifique	0.22	kcal/kg°C

Application

LE TYPE A4-DG a été spécialement développé pour les applications de séchage des hydrocarbures saturé .sont excellente capacité dynamique combinée a sa faible perte de charge en font un choix idéal pour le séchage du gaz naturel et des GPL ou des spécifications très stricte de séchage sont nécessaire dans la durée.

* FORMULE CHIMIQUE : $\text{Na}_{12} \cdot (\text{AlO}_2)_{12} (\text{SiO}_2)_{12} \cdot \text{H}_2\text{O}$

Regeneration

Le tamis moléculaire UOP type 4A-DG peut être régénérer par purge a haute température, l'efficacité de la régénération dépend de la température, de la pression et de la teneur en humidité du gaz de purge.

III.8. Propriétés de tamis moléculaire type 4a-dg trisiv™ 1/8"

Tableau 3-3. . Les propriétés du tamis moléculaire [21].

PROPRIETE TYPIQUE	4A-DG TRISIV™ 1/8"
Formule de la particule	Extrudé trilobique (brevet UOP)
Diamètre de la particule	3.2 mm
Masse volumique apparente (kg/cm ³)	641
Resistance a l'encrassement	8
Chaleur d'adsorption (kJ/kg h ₂ O)	4186
Capacité en eau a l'équilibre (%wt) **	22
Teneur en eau résiduelle (a l'expédition)	<1.5

** kg H₂O/100kg d'adsorbant activé à 23.3 hpa, 25 °C

Paramètres De Fonctionnement

Tableau 3-4. Les paramètres de fonctionnement [21].

DEBIT DE CHARGE GPL	195000kg/hr
DIRECTION DE L'ÉCOULEMENT GPL	Vers le bas à travers couches
PRESSION DE DESIGN	39kg/cm ² (555psia)
PRESSION DE SERVICE	24kg/cm ² (341psia)
TEMPERATURE DE SERVICE	280°C
TEMPERATURE DE DESIGN	A déterminer

Composition A L'entrée

Tableau 3-5. La composition de GPL a l'entrée [21].

COMPOSITION	POURCENTAGE
ETHANE	1-2%
PROPANE	62-65%
I-BUTANE	13-15%
N-BUTANE	23-30%
I-PENTANE	21ppm
H ₂ O	320PPM

Composition A La Sortie [7].

- ✓ Débit GPL 195000 kg/hr
- ✓ H₂O <1PPM
- ✓ Lit de tamis moléculaire 9990 kg de UOP MOLSIV 4A(1/16)
- ✓ Dimension 2286*4801 mm
- ✓ Profondeur du lit 3719 mm
- ✓ Température minimum design 14°f -10°c at 555 psia 3827 kpa
- ✓ 76 mm couche billes céramique de ½" pour le support du lit (partie supérieure)
- ✓ 76 mm couche de billes céramique de ¼ "pour le support du lit
- ✓ 76 mm couche de bille céramique de ½ " pour le support du lit (Partie inferieure)

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

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

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE IV :
OPTIMISATION
DES PARAMETRES

CHAPITRE IV: Problématique

Problématique

Le problème qui nous a été soumis pour notre étude étant d'évaluer les performances des sécheurs, rechercher l'optimisation du tamis moléculaire particulièrement du temps de passage du GPL en fonction des différentes phases des opérations, sans pour autant négliger la qualité du gaz de charge avec sa concentration en eau.

Il est à noter que le design de la section de déshydratation de charge du complexe GP2/Z a été conçu pour une teneur en eau dissoute dans la charge du GPL égale à 100 ppm, avec un temps d'adsorption et de régénération fixé à 24 heures.

Actuellement nous avons remarqués que cette teneur est loin d'être atteinte, ceci est due à l'amélioration de la qualité de la charge provenant du sud à 25ppm et dont le temps de traitement sur les tamis moléculaire méritent d'être revu pour son efficacité.

Relèves de l'humidité contenue dans la charge

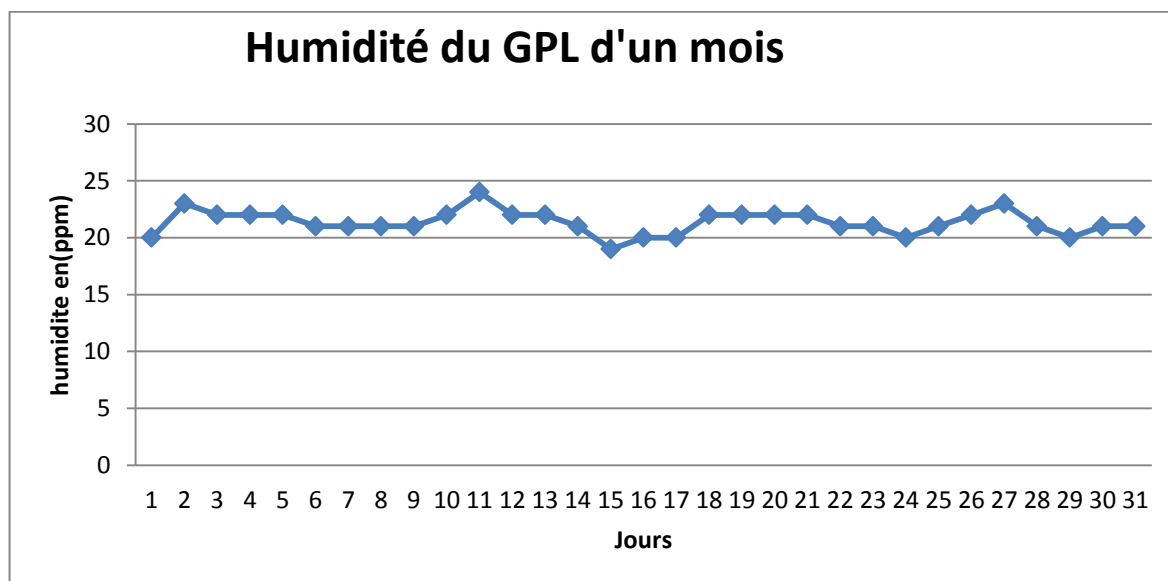


Figure 4-1 . humidite de GPL d'une durée d'un mois.

REMARQUE

D'après les suivis effectués dans des périodes différentes allant de 24h à un mois, et les résultats du laboratoire, nous avons constaté que la teneur en eau dans la charge n'a pas dépassé les 25 ppm.

Donc le sécheur travaille bien au dessous de ses performances, et ceci induit des pertes considérables en énergie.

L'objet de notre travail consiste à effectuer une étude théorique et pratique en prenant en considération les différentes concentrations en eau.

C'est pourquoi nous allons procéder à la recherche des solutions possibles à notre problème, cette préoccupation est axée sur les variables suivantes :

- ✓ La prolongation du temps d'adsorption ;
- ✓ Variation du temps de régénération.

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.

La durée de vie du dessiccant augmente suite à la diminution du nombre de séquences :

- ✓ Dépressurisation ;
- ✓ Pressurisation ;
- ✓ Chauffage ;
- ✓ Refroidissement.

BUT

Dans cette partie, notre travail consiste à optimiser le fonctionnement de la section de déshydratation de la charge, en déterminant le temps d'adsorption nécessaire pour exploiter l'adsorbeur jusqu'à son point de saturation, en fonction de la teneur d'eau dans la charge, tout en essayant d'optimiser les paramètres de fonctionnement du cycle de chauffage, avec une partie calcul qui se compose comme suit :

- ✓ Un bilan thermique ;
- ✓ Un bilan de matière.

Introduction

Ce chapitre sera consacré à l'étude du temps d'adsorption du sécheur de l'unité de déshydratation de gaz au niveau du complexe GP2/Z, cette étude nous permet d'avoir une meilleure exploitation des tamis moléculaire et une augmentation de la durée de leur utilisation.

En effet, les sécheurs sont conçu pour traiter une charge contenant une teneur en eau de 100 ppm et un temps d'adsorption de 24H, mais en pratique, la concentration en eau à l'entré du déshydrateur ne dépasse pas 20ppm. L'objectif de cette étude est d'optimiser le temps de passage du gaz pour une teneur de 20ppm en eau. Pour cela, nous allons dans un premier temps vérifier le dimensionnement du déshydrateur et sa conformité avec la marge du design pour une concentration de 100 ppm d'eau à l'entrée de déshydrateur (concentration du design). Ensuite, la même procédure de calcul sera appliquée pour le cas de fonctionnement actuel qui est d'une concentration de 20 ppm d'eau.

Le dimensionnement consiste à déterminer:

- Le diamètre de lit.
- La masse de tamis.
- La perte de charge à travers le déshydrateur.
- Le débit de gaz de régénération.

Conditions de fonctionnement du déshydrateur

Propriété du GPL

Débit de traitement : $Q = 180 \text{ t/h} = 335.5 \text{ m}^3/\text{h} = 11848.07 \text{ LB/hr}$

$P = 21 \text{ bars}$

$T = 22^\circ\text{C}$

$d_{\text{GPL}} = 0.54$

IV.1 Composition De La Charge

Tableau 4-1 composition de la charge

COMPOSANT	Poids Molaire (y_i)	% Molaire (M_i)
C ₁	16	0.8
C ₂	30	1.65
C ₃	44	55.76
i-C ₄	58	12.66
n-C ₄	58	28.79
i-C ₅	72	0.25
n-C ₅	72	0.09
C ₆	86	0.00

Teneur en eau à l'entrée de sécheur : $X_E = 100$ PPM.

Teneur en eau à la sortie de sécheur : $X_S = 5$ PPM.

Phase liquide

Masse volumique de GPL

$$\rho_{\text{GPL}} = 536.6 \text{ Kg/m}^3 = 33.5 \text{ Lb/ft}^3$$

**Propriétés de l'adsorbant*

Tamis moléculaire : type UOP MOLSIV 4A(1/16)

Masse volumique du tamis:

Diamètre moyen des particules: 1,6 mm

Masse d'adsorbant dans chaque sécheur: 9990 Kg équivalent à 22024,18 Lb

IV.2. Dimensionnement Du Deshydrateur Pour Une Teneur De 100ppm

IV.2.1. Diametre Minimum Du Lit

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

$$D_{\min} = \left[\frac{4 \times \rho_{\text{GPL}} \times Q}{\pi \times G} \right]^{0.5}$$

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

ρ_{GPL} : Masse volumique de la charge (33.5Lb/ ft³).

Q : Débit volumique de la charge (11848,07 ft³ / hr).

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

D_p : dimatere de la particule (0,00525 ft).

La vitesse massique de l'écoulement peut être déterminée à partir de la relation:

$$G = 3600 \times (1.06 \times \rho_{\text{GPL}} \times \rho_{\text{tamis}} \times D_p)^{0.5}$$

$$G = 10274.21 \text{ Lb} / \text{ft}^2 \text{ hr.}$$

Donc

$$D_{\min} = 7.01 \text{ ft} = 2.13 \text{ m}$$

C'est le diamètre minimum que nous devons respecter où le sécheur doit avoir un diamètre $D \geq D_{\min}$.

IV.2.2 La hauteur totale du lit

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

$$H_t = H_s + H_z$$

Avec H_s : la zone d'équilibre

H_z : la zone du transfert de masse

IV.2.3. Calcul De La Vitesse Actuelle D'écoulement

$$U_{act} = \frac{Q}{S}$$

Avec:

$$S = \frac{\pi D_L^2}{4} \text{ avec } S = 38.46 \text{ ft}^2;$$

$$U_{act} = 0.085 \text{ ft/s} = 5.1 \text{ ft/min} = 308 \text{ ft/h}$$

D : représente le diamètre théorique du lit.

IV.3. Calcul De Debit D'eau

$$q_w = \frac{4 Y_{in} Q \rho_{GPL}}{\pi D_L^2}$$

Avec :

Y_m : teneur de l'adsorbat dans l'alimentation.

$$Y_m = 100 \text{ kgH}_2\text{O} / 10^6 \text{ kg de tamis}$$

Donc :

$$q_w = 1.027 \text{ LbH}_2\text{O/ft}^2 \text{ hr}$$

IV.4. Calcul de la hauteur de la zone de transfert de masse

$$H_z = \frac{225}{U_{act}^{0.5506}} \times \frac{q_w^{0.7895}}{Y_{in}^{0.2646}}$$

225 c'est une constante caractéristique des tamis NOM

$$H_z = 2.89 \text{ ft} = 0.88 \text{ m}$$

IV.4.1. Calcul De La Hauteur De La Zone D'équilibre

$$H_s = H_t - H_z$$

Avec la hauteur totale du lit $H_t = 11.2 \text{ ft} = 3.4 \text{ m}$ (fiche technique du tamis)

Donc

$$H_s = 8.31 \text{ ft} = 2.53 \text{ m}$$

IV.5. Estimation De La Capacité D'adsorption A L'équilibre X.

La capacité d'adsorption du tamis moléculaire est de **21Lb d'eau / Lb de tamis moléculaire** qui représente la saturation complète de celui ci.

En pratique, il est tenu compte du vieillissement de l'adsorbant et de la perte d'efficacité qui expérimentalement est de **70%** : $21 \times 0,7 = 14,7 \text{ Kg d'eau / 100 Kg tamis}$.

$$X_s = 14,7 \text{ Kg d'eau/100Kg tamis}$$

IV.5.1. Estimation de la quantité réelle d'eau adsorbée par 100Lb d'adsorbant

$$X = X_s \times \left[1 - C \times \frac{H_z}{H_s} \right]$$

$$X = 12,36 \text{ Lb d'eau / Lb d'adsorbant}$$

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

IV.5.2. Estimation De La Quantité D'eau Adsorbée Mads

$$M_{ads} = \frac{[H_s - (C \times H_z)] \times (X_s \times D_L^2 \times \rho_{tamis})}{254.76}$$

$$M_{ads} = 978,933 \text{ Lb}$$

IV.5.3. Calcul Du Temps D'adsorption

$$t_{ads} = \frac{M_{ads}}{Y_{in} \times Q \times \rho_{GPL}} \quad \text{Avec : } Y_{in} = 100 \text{ kgH}_2\text{O} / 10^6 \text{ kg de tamis}$$

$$t_{ads} = 24,66 \text{ hr}$$

Calcul de la quantité de tamis moléculaire pour adsorption:

Quantité de tamis moléculaires nécessaire pour un temps d'adsorption de 24 heures :

$$M_{tamis} = \frac{\text{Masse d'eau absorbée}}{X_s} * 100$$

Donc:

$$M_{tamis} = 6659,408 \text{ Lb}$$

IV.5.4. Determination De L'efficacite D'adsorption

L'efficacité de l'adsorption est le rapport entre la quantité d'eau adsorbée selon le design et la quantité d'eau réelle adsorbée:

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

$$EFF = 0.842 = 84.2\%$$

IV.6. Calcul Du Bilan Thermique

IV.6.1. Propriete Du Gaz De Regeneration

IV.6.1.1. La Composition Du Gaz De Regeneration

Tableau 4-2. Compositions du gaz réfrigèrent

Composition	% Molaire	Poids moléculaire	T. (°K)	P. (atm)
N ₂	5.451	28	126.2	33.5
CO ₂	0.203	44	304.2	72.9
C ₁	83.678	16	190.56	45.8
C ₂	7.499	30	305.5	48.2
C ₃	1.979	44	370	42
i-C ₄	0.295	58	407.82	36
n-C ₄	0.456	58	425.1	32.9
i-C ₅	0.096	72	460.35	37.5
n-C ₅	0.106	72	469.65	33.3
C ₆	0.053	86	506.37	29.9
He	0.184	4	5.2	2.26

Poids moléculaire du GN :

$$M_{GN} = \sum Y_i \times M_i$$

$$M_{GN} = 18.7585 \text{ Kg/Kmole}$$

IV.6.1.2. Le gaz naturel de réchauffage

$$\left\{ \begin{array}{l} T = 280 \text{ °C.} \\ P = 10 \text{ bars.} \end{array} \right.$$

IV.6.1.2.1. Calcul du coefficient de compressibilité (Z) [17].

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

Avec :

$$P_r = \frac{P}{P_c} \quad \text{Et} \quad T_r = \frac{T}{T_c}$$

T_c, P_c : température et pression pseudo-critiques.

T_r, P_r : température et pression réduite.

D'après l'abaque 1 de calcul de facteur de compressibilité Z

$$Z = 0.99$$

IV.6.1.2.2. Calcul De La Masse Volumique Du GN

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

$Z = 0.99$.

$M_{GN} = 18.7585 \text{ Kg/Kmole}$

$T = 280 \text{ °C} = 553\text{K}$.

$P = 10 \text{ bars} = 10.13 \text{ atm}$.

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

$$\rho_{GN} = 4.23 \text{ Kg/m}^3$$

IV.6.1.2.3. Calcul De La Capacité Calorifique Du Gaz De Chauffage (C_{pg})

Pour faciliter les calculs on a utilisé le logiciel hysys pour calculer les capacités calorifiques du gaz naturel qui nous à donner le résultat suivant :

$$C_{pg} = 2.864 \text{ KJ/ Kg °C} = 0.8642 \text{ Btu / Lb mole °F.}$$

IV.6.1.3. Le gaz naturel de refroidissement

$$\begin{cases} T = 40 \text{ °C.} \\ P = 10 \text{ bars.} \end{cases}$$

IV.6.1.3.1. Calcul du coefficient de compressibilité (Z)

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

$$\text{Avec : } P_r = \frac{P}{P_c} \quad \text{Et} \quad T_r = \frac{T}{T_c}$$

T_c, P_c : température et pression pseudo-critiques.

T_r, P_r : température et pression réduite.

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

$$T_c = 363.091 \text{ K}$$

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

$$P_c = 675.75 \text{ psia}$$

Et d'après l'abaque 1 :

$$Z = 0.98$$

*On obtient ce coefficient d'après un abaque universel

IV.6.1.3.2. Calcul De La Masse Volumique Du GN

$$\rho_{GN} = \frac{P}{Z} \frac{M_{GN}}{R T} \quad \Rightarrow \quad \rho_{GN} = 7.55 \text{ kg} / \text{m}^3$$

IV.6.1.3.3. Calcul De La Capacité Calorifique De Refroidissement (CPg)

On utilise le logiciel hysys pour le calcul de la capacité calorifique de refroidissement on trouve :

$$C_{pg} = 2.130 \text{ KJ} / \text{Kg } ^\circ\text{C} = 0.5080 \text{ Btu} / \text{Lb mole } ^\circ\text{F.}$$

IV.7 Calcul Du Bilan Thermique**IV.7.1. Calcul De La Chaleur Necessaire Pour Le Rechauffage Du Tamis Q_{tamis}** **IV.7.1.1. Calcul De La Masse Du Tamis m_t**

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

$$D_t = 7.01 \text{ ft.}$$

$$H_t = 11.2 \text{ ft.}$$

$$\rho_{\text{tamis}} = 700 \text{ Kg/m}^3 = 43.69 \text{ Lb/ft}^3.$$

Donc :

$$m_r = 18822. \text{Lb}$$

IV.7.1.2. Calcul De La Temperature Moyenne Du Lit En Fin De Chauffage

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

Puisque :

$T_s = 200 \text{ }^\circ\text{C} = 473 \text{ K}$. cette température est appelé la température du maintienne car elle reste constante durant l'étape du chauffage

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

Donc :

$$T = 198.04 \text{ }^\circ\text{C} = 471.04 \text{ K}$$

Donc la chaleur nécessaire pour le réchauffage du tamis est :

$$Q_{\text{tamis}} = m_r \times C_{p_t} \times (T - T_{\text{ads}})$$

Puisque :

$$T = 198.04 \text{ }^\circ\text{C} = 388.47 \text{ }^\circ\text{F}.$$

$$T_{\text{ads}} = 22 \text{ }^\circ\text{C} = 71.6 \text{ }^\circ\text{F}.$$

$$m_r = 18902.66 \text{ Lb}.$$

$$C_{p_{\text{tamis}}} = 0.22 \text{ Btu / Lb }^\circ\text{F}.$$

Donc :

$$Q_{\text{tamis}} = 1312107.971 \text{ Btu}$$

IV.7.2. Calcul De La Chaleur Necessaire Pour Le Rechauffage De L'acier Q_{acier}

$$Q_{acier} = m_{acier} \times C_{p_{acier}} \times (T - T_{ads})$$

- ✓ $m_{acier} = 28268.30564 \text{ Lb.}$
- ✓ $C_{p_{acier}} = 0.12 \text{ Btu / Lb } ^\circ\text{F.}$
- ✓ $T = 198.04 \text{ } ^\circ\text{C} = 388.47^\circ\text{F.}$
- ✓ $T_{ads} = 22^\circ\text{C} = 71.6 \text{ } ^\circ\text{F.}$

Donc la chaleur nécessaire pour le réchauffage de l'acier est :

$$Q_{acier} = 1074885.361 \text{ Btu}$$

IV.7.3. Calcul De La Chaleur Necessaire A La Desorption Q_{deshy}

$$Q_{deshy} = M_{ads} \times \Delta H$$

$\Delta H = 1800 \text{ Btu/Lb}$ (une donnée du département technique).

ΔH : La chaleur de désorption

$$M_{ads} = 889.099 \text{ LB}$$

Donc

$$Q_{deshy} = 1600378.2 \text{ Btu}$$

IVIII.7.4. Calcul Des Pertes De Chaleurs Q_{perte}

$$Q_{perte} = 0.1 \times (Q_{deshy} + Q_{amis} + Q_{acier})$$

$$Q_{deshy} = 1600378.2 \text{ Btu.}$$

$$Q_{amis} = 1312107.971 \text{ Btu.}$$

$$Q_{acier} = 1074885.361 \text{ Btu}$$

Donc

$$Q_{perte} = 398737.1532 \text{ Btu}$$

IVIII.7.5. Calcul De La Chaleur Totale Necessaire A La Regeneration Q_{totale}

$$Q_{totale} = Q_{amis} + Q_{deshy} + Q_{acier} + Q_{perte}$$

$$Q_{deshy} = 1600378.2 \text{ Btu.}$$

$$Q_{\text{anis}} = 1312107.971 \text{ Btu.}$$

$$Q_{\text{acier}} = 1074885.361 \text{ Btu}$$

$$Q_{\text{perte}} = 398737.1532 \text{ Btu}$$

$$Q_{\text{totale}} = 4386108.685 \text{ Btu}$$

IVIII.7.6. Calcul De La Chaleur L'economiseur Par Le Four H_f

IVIII.7.6.1. Calcul De La Capacite Calorifique Moyenne Du Gaz $C_{Pg_{\text{moy}}}$

$$C_{Pg_{\text{moy}}} = \frac{C_{Pg_{40^\circ C}} + C_{Pg_{280^\circ C}}}{2}$$

$$C_{Pg_{\text{moy}}} = 2.497 \text{ KJ/ Kg } ^\circ\text{C} = 0.5961 \text{ Btu/ Lb } ^\circ\text{F}$$

D'après l'équation on calcul de la chaleur totale fourni par le four lors de réchauffage H_r :

$$H_r = Mg \times C_{pg} \times (T_e - T_{ad})$$

$$C_{pg} = 0.5961 \text{ Btu / Lb } ^\circ\text{F.}$$

$$Mg = 1300 \text{ Kg/hr} = 2866.6 \text{ Lb/hr.}$$

$$T_e = 280^\circ\text{C} = 536^\circ\text{F.}$$

$$T_{ads} = 22^\circ\text{C} = 71.6^\circ\text{F.}$$

Donc

$$H_r = 793557.5527 \text{ Btu / hr}$$

IV.8.8. Calcul Du Temps De Rechauffage Du Tamis « TR »

On détermine d'abord l'efficacité thermique durant la régénération (EFF)

Tableau 4-3. Paramètre du GN chaud

Débit de GN de chauffage (Q_i : Kg/hr)	1300, 2866.6Lb/hr
Température du GN à l'entrée de l'économiseur (T_e :K)	298
Température du GN sortant de l'économiseur (T_i :K)	626
Capacité calorifique moyenne (C_{pg} :BTU/Lb°F)	2.374

IV.8.1. Calcul de l'énergie totale fournie par l'économiseur

$$E_{\text{totale}} = C_{pg_{\text{moy}}} \times \sum Q_i \times (T_i - T_e)$$

$$E_{\text{totale}} = 1221093194 \text{ Btu / hr}$$

IV.8.2. Calcul De La Chaleur Necessaire Au Rechauffage Du Tamis Q'_{tamis}

$$Q'_{\text{tamis}} = m_t \times C_{pt} \times (T_r - T_i)$$

$$Q'_{\text{tamis}} = 1358195.52 \text{ Btu}$$

IV.8.3. Calcul De La Chaleur Necessaire Au Rechauffage De L'acier Q'_{acier}

$$Q'_{\text{acier}} = m_{\text{acier}} \times C_{p_{\text{acier}}} \times (T_r - T_i)$$

$$m_{\text{acier}} = 28268.30564 \text{ Lb.}$$

$$C_{p_{\text{acier}}} = 0.12 \text{ Btu / Lb } ^\circ\text{F.}$$

$$Q'_{\text{acier}} = 1112640.51 \text{ Btu}$$

IV.8.4. Calcul Des Pertes De Chaleur Q'_{perte}

$$Q'_{\text{perte}} = 0.1 \times (Q_{\text{deshy}} + Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{acier}})$$

$$Q'_{\text{perte}} = 407121.423 \text{ Btu}$$

IV.8.5. Calcul De La Chaleur Totale Reelle Consommer Par Le Systeme « Secheur »

$$Q'_{\text{totale}} = Q'_{\text{tamis}} + Q'_{\text{desly}} + Q'_{\text{acier}} + Q'_{\text{perte}}$$

$$Q'_{\text{totale}} = 4478335.653 \text{ Btu}$$

IV.8.6. Calcul De L'efficacite Thermique De L'economiseur EFF'

$$EFF' = \frac{Q'_{\text{totale}}}{E_{\text{totale}}} \quad EFF = 0.366$$

IV.8.7. Donc Le Temps De Rechauffage Du Tamis Est :

$$t_r = \frac{Q_{\text{totale}}}{(H_f \times Eff')}$$

Puisque H_f : 793557.5527 BTU/hr

$$t_r = 15.42 \text{ hr}$$

IV.8.8. Calcul De La Chaleur Fournie Par L'economiseur Par Cycle

Puisque $t_{\text{ads}} = 24.44 \text{ hr}$

$$H\left(\frac{f}{\text{cycle}}\right) = \frac{H_f \times t_r}{t_{\text{ads}}}$$

$$H_{\text{cycle}} = 541061.9678 \text{ Btu}$$

IV.8.9. Calcul Du Temps De Refroidissement Du Tamis « Tref »

$$t_{\text{ref}} = \left[\frac{(Q_{\text{tamis}} + Q_{\text{acier}})}{Q_{\text{totale}}} \right] \times t_r$$

$$Q_{\text{tamis}} = 1312107.971 \text{ Btu.}$$

$$Q_{\text{totale}} = 4386108.685 \text{ Btu.}$$

$$Q_{\text{acier}} = 1074885.361 \text{ Btu.}$$

$$t_r = 15.42 \text{ hr}$$

$$t_{\text{ref}} = 8 \text{ hr}$$

IV.9. Calcul Des Pertes De Charges

*IV.9.1. Calcul De La Perte De Charge $\frac{\Delta P}{L_1}$ Pour Le GN Chaud**IV.9.1.1. Calcul De La Vitesse Superficielle U_1 A Travers Le Lit*

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = 38.465 \text{ ft}^2$$

$$\rho_{GN} = 4.23 \text{ Kg/ m}^3 = 0.267 \text{ Lb/ ft}^3.$$

$$M_g = 1300 \text{ Kg/ hr} = 2866.6 \text{ Lb/hr.}$$

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

$$U_1 = 5.5 \text{ ft / min}$$

IV.9.1.2. Calcul De La Perte De Charge Connaissant La Densite Relative Et La Pression De Regeneration

$$P = 10 \text{ bars.}$$

$$d_r = \frac{M_{GN}}{M_{air}} = 0.643$$

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

$$VIS = 0.0151 C_p = 0.0365 \text{ Lb/ft hr} \quad \text{d'après la figure 3}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = (A \times VIS \times U) + (B \times \rho_{GN} \times U^2)$$

$$\text{Avec} \quad A = 0.0561 \quad B = 0.0000889$$

$$\Delta P / L = 0.127 \text{ psi/ft}$$

IV.9.1.3. Calcul Du Nombre De Reynolds

$$R_e = \frac{G \times D_L}{VIS}$$

$$G = \frac{M_g}{S} \quad G = 74.524 \text{ Lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$$

Donc :

$$Re_1 = 14292.27$$

IV.9.2. Calcul De La Perte De Charge $\frac{\Delta P}{L_2}$ Pour Le GN Froid

IV.9.2.1. Calcul De La Vitesse Superficielle U_2 A Travers Le Lit

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = 38.465 \text{ ft}^2$$

$$\rho_{GN} = 7.36 \text{ Kg/ m}^3 = 0.455 \text{ Lb/ ft}^3.$$

$$M_g = M_{ref} = 2866.6 \text{ Lb/hr}$$

$$U_2 = \frac{M_{ref}}{60 \times S \times \rho_{GN}}$$

$$U_2 = 0.997 \text{ ft/min}$$

Nous remarquons que la vitesse superficielle U_2 à travers le lit est inférieure à celle de la vitesse de GN chaud U_1 à cause de la différence de viscosité.

IV.9.2.2. Calcul De Perte De Charge Pour Le Gn Froid

Connaissant la densité relative d_r et la pression de régénération

$$P = 10 \text{ bars.}$$

$$d_r = \frac{M_{GN}}{M_{air}} = 0643$$

$$T = 40^\circ\text{C}$$

$$V_{IS_2} = 0.0118 C_p = 0.0285 \text{ Lb/ ft} \quad \text{d'après la figure 3}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = (A \times VIS \times U) + (B \times \rho_{GN} \times U^2)$$

Avec

$$A = 0.0561 ;$$

$$B = 0.0000889.$$

$$\Delta P / L = 0.01 \text{ psi/ft}$$

IV.9.2.3. Calcul Du Nombre De Reynolds

$$R_e = \frac{G \times D_L}{VIS}$$

$$G = \frac{M_g}{S}$$

$$G = 74.524 \text{ Lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$$

Donc $R_{e1} = 18304.14$

IV.10 Recapitulation Des Resultats

Tableau 4-4. Comparaison entre les valeurs calculées et le cas design

	Les valeurs calculées		Les valeurs de design	
D	= 7 ft	= 2.13 m	= 7.5 ft	= 2,2866m
H _i	= 11.2 ft	= 3.4 m	= 11.2 ft	= 3.4ft
H _r	=793557.5527 BTU/hr	= 175000 Kcal /hr	0.15×10 ⁶ ≤ H _r ≤ 0.33×10 ⁶ Kcal/hr	
t _r	= 15.42 hr		= 11 hr	
t _{ref}	= 8 hr		= 6 hr	
M _g	= 2866.6 Lb/hr	= 1300 Kg/hr	1000 ≤ débit ≤ 2500Kg/hr	
M _{ref}	= 2866.6 Lb/hr	= 1300 Kg/hr		
$\frac{\Delta P_1}{L}$	= 0.127 psi/ft		≤ 0.01 ≤ $\frac{\Delta P}{L}$ ≤ 0.25 psi/ ft	
$\frac{\Delta P_2}{L}$	= 0.01 psi/ft			
R _{e1}	= 14292.27		R _e ≥ 2500	
R _{e2}	= 7994.73			
t _{ads}	= 24.66 hr		= 24 hr	

Interpretation Des Resultats

Suite à la mise en œuvre de la méthode de calcul établie, il apparaît clairement que cette dernière est tout à fait 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 l'économiseur.

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 cité étant respectées nous pouvons désormais passer à application de notre méthode de calcul dans le cas où la teneur en eau dans la charge est de l'ordre de 20 ppm (résultats ramener du laboratoire).

IV.11 : Optimisation Du Temps D'adsorption Pour Une Teneur De 20 Ppm

La méthode de calcul étant vérifié, nous pouvons à présent l'appliquer pour une concentration de 20 ppm à l'entrée du déshydrateur, les résultats de calcul sont présentés dans le paragraphe suivant:

Résultats de calculs

- Le débit d'eau massique : **0,2579 Lb H₂O/ft² h**
- La hauteur de zone de transfert de masse : **0,9767 ft**
- La hauteur de la zone d'équilibre : **10,223 ft**
- La quantité d'eau adsorbée par 100Lb de tamis : **14,06 Lb H₂O/100Lb de tamis**
- La quantité d'eau adsorbée : **1374,500 Lb**
- Le temps d'adsorption : **138,51 H**
- La quantité de tamis pour un temps d'adsorption de 138,51H : **9775,960 Lb.**
- L'efficacité d'adsorption : **95,7%**

Résultats du bilan thermique

- la chaleur nécessaire à la désorption : **2549709,72 Btu**
- les pertes de chaleur : **493670.3052 Btu**
- la chaleur totale nécessaire à la régénération : **5430373.357 Btu**
- Le temps de réchauffage du tamis : **15,89 H**
- Le temps de refroidissement du tamis : **6,76 H**
- Perte de charge pour le GN froid: = 0.01 psi/ft
- Perte de charge pour le GN chaud: = 0.127 psi/ft

Résultats et discussion

D'après les résultats obtenus, on remarque que pour une teneur de 20 ppm d'eau le temps d'adsorption est de **138,51H** et le temps de régénération est de **15,89H**. la durée d'un cycle de traitement de gaz est la somme des deux temps, on obtient dans ce cas un cycle de **154,39 heures**.

Dans le Tableau qui suit, nous avons réalisé une comparaison entre les paramètres de fonctionnements pour une concentration de 20ppm et un temps d'adsorption de 138,51heures et le cas des conditions actuelles c'est à dire, une concentration de 20 ppm mais un temps d'adsorption de 24 heures.

Tableau 4-5. Etude comparative entre le cas actuel et le cas optimisé

	Le cas actuel (20 ppm et $T_{ads} = 24$ H)	Temps optimisé 20ppm et $T_{ads} = 138,51$ H
Le débit d'eau massique	0,2579	0,2579
La hauteur de zone de transfert de masse	0,9767	0,9767
La hauteur de la zone d'équilibre	10,223	10,223
La quantité d'eau adsorbée par 100Lb de tamis	14,06	14,06

La quantité d'eau adsorbée	238,146	1374,500
La quantité de tamis	1693,783	9775,960
la chaleur nécessaire à la désorption	257197,68	1484460
Le temps de réchauffage du tamis	15.42	15.89
Le temps de refroidissement du tamis	8h	6.76
Nombre de cycle par an	225	56

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

Tableau 4-6. Variations du temps d'adsorption en fonction des teneurs d'eau

Teneur en eau en ppm	100	80	60	40	20
Temps d'adsorption	24.66	35.33	50.55	54.45	138.51
Temps de réchauffage	15.42	15.41	15.41	15.40	15.39
Nombre d'heures par ans	8640	8640	8640	8640	8640
Débit de réchauffage	2866.6	2866.6	2866.6	2866.6	2866.6
Nombre de cycle pendant un an	216	170	131	124	56

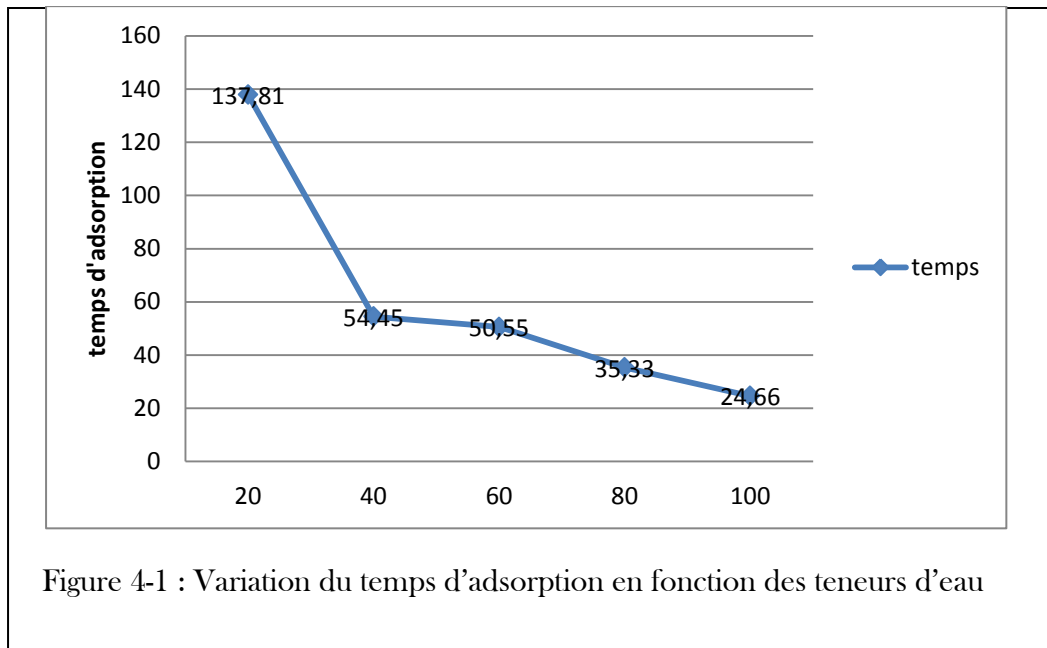


Figure 4-1 : Variation du temps d'adsorption en fonction des teneurs d'eau

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

Nous remarquons pour les deux cas le lit est loin d'être totalement saturé, pour le premier cas le déshydrateur fonctionne avec seulement **7%** de sa masse totale, tandis que pour le deuxième cas, le pourcentage du tamis utilisé est de **44%**. Par conséquent, le chauffage de la partie sèche du lit devient inutile et peut provoquer la dégradation du tamis donc une diminution de son efficacité, ce qui induit une dépense d'énergie inutile.

D'autre part, l'augmentation du temps d'adsorption entraîne:

- une augmentation de la quantité d'eau adsorbée
- Une augmentation de la quantité de tamis utilisée
- Un nombre de cycle réduit.
- Une énergie plus importante pour la désorption
- un temps de réchauffage légèrement supérieur

. Etude de la deuxième solution :

Cette solution est basée sur l'optimisation des paramètres de la régénération sans modifier le cycle d'adsorption (24 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

Tableau 4-7. Les masses d'eau absorbée pour différents teneur d'eau en charge du GPL

Teneur en eau (ppm)	Masse adsorbé (lb)
20	238.146
40	381.033
60	571.55
80	762.06
100	952.58

Tableau 4-8. Le débit massique calculé pour différent teneur de en charge GPL

Teneur en eau	Débit massique d'eau
20	0.2579
40	0.4117
60	0.6176
80	0.8234
100	1.0239

Tableau 4-9. Variation de la hauteur non utilisée en fonctions des teneurs d'eau

Y_{in} ppm	20	40	60	80	100
H t	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
H _z	1.48	1.79	2.21	2.58	2.89
H _s	2.59	3.88	5.07	6.59	8.31
H non utilisé	7.13	5.53	3.92	2.03	-----

Ce tableau nous permet de conclure que la hauteur de la zone non utilisé augmente en diminuant la teneur d'eau présente dans notre charge de GPL.

Bilan thermique

Tableau 4-10. Bilan thermique du déshydrateur pour différentes teneur en eau

Y _{in}	20	40	60	80	100
Q desorp	430462.8	685859.4	1028790	1371708	1600378.2
Q perte	281745.6132	307285.2732	341578.332	413457.465	398737.1532
Q totale	3099201.745	3380138.665	3757361.665	375870.1332	438618.685

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

Tableau 4-11. Variation du temps de réchauffage en fonctions des teneurs en eau

Teneur en eau en ppm	100	80	60	40	20
Temps d'adsorption	24	24	24	24	24
Temps de réchauffage	15.42	6.43	5.84	5.39	4.27
Nombre d'heures par ans	8640	8640	8640	8640	8640
Débit de réchauffage	2866.6	2866.6	2866.6	2866.6	2866.6

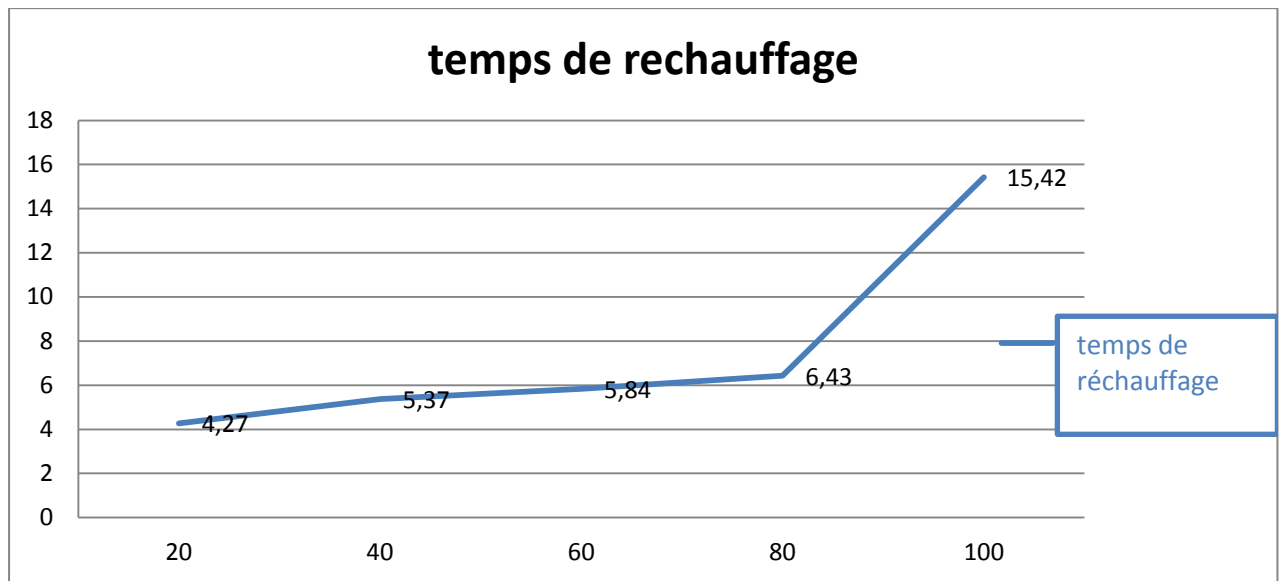


Figure 4-2 : Variation du temps de réchauffage en fonction de la teneur en eau

Nous remarquons qu'en fixant le temps d'adsorption il y aura une variation remarquable dans l'étape de la régénération ce qui est dû à la diminution du temps de réchauffage ce dernier changement va nous permettre d'avoir un gain au niveau du nombre de cycle mais avec une perte importante d'énergie.

Interprétation Des Résultats :

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 être effectuée avant le chargement.

Ayant conservé un temps d'adsorption à 24H, cas usuel au complexe GP2/Z, nous remarquons qu'une partie du tamis est réchauffée sans pourtant avoir adsorbé, ce qui induit donc une dépense d'énergie inutile.

Au cours de cette séquence de régénération, l'humidité est éliminée par un chauffage, et dans notre cas où le lit est loin d'être totalement saturé, le chauffage de la partie sèche du lit devient inutile et peut provoquer la dégradation du tamis et par conséquent la diminution de son efficacité. Ce résultat est vérifié quelque soit la teneur en eau dans la charge.

CONCLUSION

CONCLUSION

Il est nécessaire de rappeler qu'actuellement les sources d'énergie ont une part considérable 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.

Le traitement du gaz (séchage) sur les tamis moléculaire au niveau du complexe est de ramener la teneur en eau dans l'alimentation d'une valeur maximale de 100 ppm à 5 ppm à la sortie des sécheurs au niveau de la section de déshydratation.

Par contre l'exploitation actuelle de ces équipements reçoit une charge de l'ordre de 20ppm sans variation de paramètres, à cet effet Il nous a paru indispensable et sur proposition des responsable de l'exploitation d'étudier ce problème en vue d'optimiser les paramètres de fonctionnement de la section déshydratation particulièrement aux sécheurs.

Selon les résultats obtenus de notre étude nous pouvons réaliser les points suivants :

- Une élévation du temps d'adsorption en tenant compte de la teneur en eau dans la charge.

A noter que ce temps décroît avec la croissance de la teneur en eau.

- 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 de gain obtenue en GN, un gain supplémentaire sera réalisé dans :

- La durée de vie du tamis qui va être plus longue du fait que le vieillissement du tamis est dut surtout aux aléas de l'effet d'entraînement d'hydrocarbure, d'effritement, de tassement à haute température. elle sera plus longue qu'avec un nombre de cycle moins important, le matériel sera exposé à moins de contraintes de pression (moins de séquences de pressurisation / Dépressurisation / Refroidissement).

RECOMMENDATIONS

Recommandations

Laisser le cycle d'adsorption continuer jusqu'à l'utilisation totale du tamis moléculaire (la teneur en eau à l'hygromètre atteindrait 1 ppm)

Le cycle d'adsorption serait plus long que le cycle actuel de 24 heures

Le temps de régénération serait le même que pour le cycle de 24 heures (design pour saturation totale du tamis)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Agence international de l'énergie (AIE/OCDE), division des statistiques de l'énergie (l'AIE transmettra les données à la commission économique pour l'Europe des nations Unies.
- [2] NELSON (W.L) - Oil and gas journal p129 sep1955.
- [3] Centre canadien d'hygiène et sécurité au travail ; site web www.cchst.ca.
- [4] Comité français du butane et du propane, Les gaz Butane Propane site web www.cfbp.fr.
- [5] Caractéristiques du butane et propane Algérien, GPL, Naftal, site web www.naftal.dz.
- [6] Air liquide, fiche sécurité sur site web www.airliquide.com.
- [7] DAVERAT (P), moteurs à gaz et cogénération, revue générale de thermique n°383, Déc. 1993.
- [8] Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social et au Comité des régions concernant les carburants de substitution pour les transports routiers et une série de mesures visant à promouvoir l'utilisation des biocarburants.
- [9] Pollution de l'air : causes, conséquences, solutions, Philippe Arquès- Edisud- Février 1998.
- [10] Daoud (A), les moteurs et les carburants de demain, séminaire environnement et transports,
Ecole nationale des Ponts et Chaussées, pp 21-23 Nov 1995.
- [11] 1^{er} Symposium AIG. Valorisation de GPL. Alger, 1997.
- [18] Plan à Moyen terme de l'activité commercialisation 2008-2012.
- [12] Site internet [www.Horizon GPL.com](http://www.HorizonGPL.com). TOTALGAZ, Comité Français Butane-Propane.
- [13] Frank, Detlef. Drive test, atelier présenté au Clean Energy Seminar, Sacramento 2002.
- [14] Raffinage du Petrole, Exploitation et gestion de la Raffenerie, J-P favennec. Edition Technip, 1997.

- [15] Manuel opératoire complexe GP2/Z.
- [16] Soft Déshydratation, Département technique service étude
- [17] Estimation des propriétés physiques, par le Dr. BELAHSANE
- [18] Projet GPL/Z, formation du personnel Exploitation
Manuel de stage section Déshydratation
- [18] Dimensionnement des colonnes d'adsorption « institut Algérien du pétrole »
« Institut Algérien du pétrole » Mme bouazabia
- [19] Cours de Dr. boulaamri
- Gas processing (LNG programm 2006)
 - Deshydratation du gaz naturel
 - Séparateur chIII
- [20] Department technique (service etude et developpement).
Specification technique pour la fourniture de tamis moleculaire pour l'adsorption de charge
(juillet 2009).

LA THEORIE DE CALCUL [16] [18] [19]

I. Le bilan énergétique

I.1. Calcul de la quantité totale de chaleur nécessaire à la régénération

La quantité de chaleur nécessaire à la régénération est :

$$Q_{totale} = Q_{tamis} + Q_{acier} + Q_{deshy} + Q_{pertes} \quad (\text{BTU}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

- a. Q_{tamis} : la chaleur nécessaire au réchauffage de tamis de la température d'adsorption [la température de désorption en (BTU)] ;
- b. Q_{acier} : la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier de la température d'adsorption [la température de désorption en (BTU)] ;
- c. Q_{deshy} : la chaleur nécessaire à la désorption de l'eau fixée sur tamis (BTU) ;
- d. Q_{pertes} : considérées comme étant égales à 10% de la somme.

I.2. Calcul de la chaleur nécessaire à la désorption Q_{deshy}

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

$$Q_{deshy} = M_{ads} \times \Delta H \quad \dots\dots\dots(2)$$

ΔH : La chaleur spécifique de la désorption de l'eau.

I.3. Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage du tamis

$$Q_{tamis} = m_t \times C_{Pt} \times (T - T_{ads}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

- a. m_t : la masse totale du tamis moléculaire (Lb) ;
- b. C_{Pt} : la capacité calorifique du tamis (BTU/Lb. °F) ;
- c. T : la température moyenne du lit en fin de réchauffage (°F) ;
- d. T_{ads} : la température d'adsorption (°F).

I.4. Calcul de la chaleur nécessaire au réchauffage de l'acier Q_{acier}

$$Q_{acier} = m_c \times C_{Pc} \times (T - T_{ads}) \quad \dots\dots\dots(4)$$

- a. m_c : la masse totale de l'acier (Lb) ;

- b. C_{PC} : la capacité calorifique de l'acier (LTU/Lb.°F) .

I.5. Calcul des pertes de chaleur Q_{perte}

$$Q_{perte} = 0.1 \times (Q_{deshy} + Q_{tamis} + Q_{acier}) \dots\dots\dots(5)$$

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

- a. Calcul de la température du lit « T » :

On peut l'obtenir par la relation suivante :

$$T = T_s - \left(\frac{T_e}{T_s} \right)^2 \dots\dots\dots(6)$$

- a.1 T_e : La température d'entrée de gaz de régénération (°F) ;
 a.2 T_s : La température de sortie de gaz de régénération (°F) ;

I.6. Calcul de la chaleur H_f fournie par le four

$$H_f = M_g \times C_{pg_{moy}} \times (T_e - T_{ads}) \dots\dots\dots(7)$$

- a. H_f : la chaleur fournie par le four (BTU/hr) ;
 b. M_g : le débit du gaz de chauffage (Lb/hr) ;
 c. $C_{pg_{moy}}$: la capacité calorifique moyenne du gaz (BTU/LB.°F).

I.7. Calcul du temps de réchauffage du tamis moléculaire « t_r »

$$t_r = \frac{Q_{totale}}{(H_f \times Eff)} \dots\dots\dots(8)$$

- a. Eff : l'efficacité thermique durant la régénération ;
 b. t_r : le temps de chauffage (hr).

I.8. Calcul de la chaleur fournie par le four par cycle $H\left(\frac{f}{cycle}\right)$

Puisque $H\left(\frac{f}{cycle}\right) = \frac{3 \times H_f \times t_r}{t_{cycle}}$

et on $t_{cycle} = 3 \times t_{ads}$ donc :

$$H\left(\frac{f}{\text{cycle}}\right) = \frac{H_f \times t_r}{t_{ads}} \dots\dots\dots(9)$$

- a. $H\left(\frac{f}{\text{cycle}}\right)$: la chaleur fournie par le four par cycle(BTU/hr) ;
- b. t_{ads} : le d'adsorption (hr).

I.9. Calcul du temps de refroidissement du tamis « t_{ref} »

$$t_{ref} = \left[\frac{(Q_{tamis} + Q_{acier})}{Q_{totale}} \right] \times t_r \dots\dots\dots(10)$$

I.10. Calcul de la chaleur soutirée au système Q_{ref}

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

II. le bilan de la matière de la régénération

II.1. Calcul du débit du gaz de refroidissement

Le débit du gaz de refroidissement est calculé comme suit :

$$M_{ref} = \frac{Q_{ref}}{C_{pg_{\text{ moy }}} \times (T_S - T_E)} \dots\dots\dots(12)$$

- a. M_{ref} : Le débit du gaz de refroidissement (Lb/hr) ;
- b. Q_{ref} : la chaleur soutirée au système (BTU/hr) ;
- c. 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.

II.2. Calcul de la chute de pression

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

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

où :

- a. $\frac{\Delta P}{L}$: la perte de charge par unité de longueur (psi/ft) ;
- b. VIS : la viscosité du GN (C_p) ;
- c. U : la vitesse superficielle (ft/min) ;
- d. ρ_{GN} : la masse volumique du GN (Lb/ft^3) ;
- e. A et B : sont des constantes relatives aux dimensions des particules du tamis.
 - 1) A = 0.0561 ;
 - 2) B = 0.0000889.

II.3. Calcul du nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est calculé par la formule suivant :

$$Re = \frac{G \times D_p}{VIS}$$

NOTE: Numbers in this table do not have accession greater than 1 part in 1000; in some cases cross digits have been added to calculated values to achieve internal consistency or to present 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)	Boiling point, °F 14.696 pascals	Vapor pressure, pascals 100 °F	Freezing point, °F 14.696 pascals	Refractive index, n_D 60 °F	Pressure, pascals	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	-255.60	1.34771	490.4	368.96	0.0684	6		
7	n-Pentane	C ₅ H ₁₂	72.150	96.89	15.580	-201.48	1.35165	488.1	385.7	0.0695	7		
8	Neopentane	C ₅ H ₁₂	72.150	49.10	36.72	2.16	1.342*	464.0	321.01	0.0673	8		
9	n-Hexane	C ₆ H ₁₄	86.177	155.70	4.9614	-139.56	1.37708	439.5	451.8	0.0688	9		
10	2-Methylpentane	C ₆ H ₁₄	86.177	140.44	6.769	-244.60	1.36571	436.6	435.76	0.0682	10		
11	3-Methylpentane	C ₆ H ₁₄	86.177	145.86	6.103	-261.20	1.37090	452.5	448.2	0.0682	11		
12	Neohexane	C ₆ H ₁₄	86.177	121.50	9.859	-147.68	1.36283	446.7	419.92	0.0667	12		
13	2,3-Dimethylbutane	C ₆ H ₁₄	86.177	136.33	7.406	-199.35	1.36938	454.0	440.08	0.0665	13		
14	n-Heptane	C ₇ H ₁₆	100.204	209.07	1.6211	-130.99	1.38234	397.4	510.9	0.0682	14		
15	2-Methylhexane	C ₇ H ₁₆	100.204	194.05	2.273	-180.87	1.37940	396.0	494.44	0.0673	15		
16	3-Methylhexane	C ₇ H ₁₆	100.204	197.33	2.130	—	1.38326	407.6	503.62	0.0646	16		
17	3-Ethylpentane	C ₇ H ₁₆	100.204	200.26	2.012	-181.44	1.38800	419.2	513.16	0.0665	17		
18	2,2-Dimethylpentane	C ₇ H ₁₆	100.204	174.50	3.494	-190.80	1.37667	401.8	476.98	0.0665	18		
19	2,4-Dimethylpentane	C ₇ H ₁₆	100.204	176.85	3.294	-182.59	1.37591	397.4	475.72	0.0667	19		
20	3,3-Dimethylpentane	C ₇ H ₁₆	100.204	186.87	2.775	-209.99	1.38564	427.9	505.60	0.0662	20		
21	Triptane	C ₇ H ₁₆	100.204	177.54	3.376	-12.21	1.38411	427.9	496.24	0.0636	21		
22	n-Octane	C ₈ H ₁₈	114.231	258.17	0.5374	-70.17	1.39248	361.1	563.5	0.0673	22		
23	Diisobutyl	C ₈ H ₁₈	114.231	228.34	1.102	-132.09	1.38735	361.1	530.26	0.0676	23		
24	Isooctane	C ₈ H ₁₈	114.231	210.58	1.709	-161.23	1.38624	372.7	519.28	0.0657	24		
25	n-Nonane	C ₉ H ₂₀	128.258	303.40	0.1716	-64.26	1.40054	330.7	610.8	0.0693	25		
26	n-Decane	C ₁₀ H ₂₂	142.285	345.40	0.06091	-21.33	1.40720	304.6	652.2	0.0702	26		
27	Cyclopentane	C ₅ H ₁₀	70.134	120.60	9.917	-136.89	1.40050	653.8	461.1	0.0594	27		
28	Methylcyclopentane	C ₆ H ₁₂	84.161	161.29	4.491	-224.38	1.40400	548.8	499.28	0.0607	28		
29	Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	84.161	177.40	3.267	43.79	1.42053	590.7	536.6	0.0586	29		
30	Methylcyclohexane	C ₇ H ₁₄	98.188	213.69	1.809	-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*	(1.226)*	731.0	48.54	0.0746	31		
32	Propene(Propylene)	C ₃ H ₆	42.081	-53.83	232.6	-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	0.0584	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	282.25	0.3295	-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 ₁₀	120.194	306.27	(0.188)	-140.838	1.48607	465.4	675.2	0.0589	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		

N15/91

Tableau 1. Propriétés physiques de corps purs

NOTE: Numbers in this table do not have accuracy 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	E Density of liquid 14.696 psia, 60 °F			F Temperature coefficient of density, 1/T	G Acentric factor, ω	H Compressibility factor of real gas, Z 14.696 psia, 60 °F	I Ideal gas 14.696 psia, 60 °F			J Specific Heat 60 °F 14.696 psia Btu/(lb °F)		Number
	Relative density (specific gravity) 60 °F/60 °F	lb/gal (wt in vacuum)	gal/lb mol				Relative density (specific gravity) Air = 1	cu ft gas/lb	cu ft gas/gal liquid	C _p Ideal gas	C _p Liquid	
1	(0.3)*	(2.5)*	(6.4172)	—	0.0108	0.9980	0.5539	23.654	(59.135)*	0.52669	—	1
2	0.35619*	2.9696*	10.126*	—	0.0972	0.9919	1.0382	12.620	37.476*	0.40782	0.97225	2
3	0.50698*	4.2268*	10.433*	-0.00168*	0.1515	0.9825	1.5226	8.6059	36.375*	0.38852	0.61996	3
4	0.56286*	4.6927*	12.386*	-0.00122*	0.1852	0.9711	2.0068	6.5291	30.639*	0.38669	0.57066	4
5	0.58402*	4.8691*	11.937*	-0.00109*	0.1981	0.9667	2.0068	6.5291	31.791*	0.39499	0.57272	5
6	0.62441	5.2058	13.860	-0.00090	0.2286	—	2.4912	5.2596	27.380	0.38440	0.53331	6
7	0.63108	5.2614	13.713	-0.00089	0.2510	—	2.4912	5.2596	27.673	0.38825	0.54363	7
8	0.59665*	4.9744*	14.504*	-0.00106*	0.1965	0.9582	2.4912	5.2596	26.163*	0.39038	0.55021	8
9	0.66404	5.5363	15.566	-0.00076	0.2990	0.9879	2.9755	4.4035	24.379	0.38628	0.53327	9
10	0.65788	5.4849	15.712	-0.00078	0.2780	0.9846	2.9755	4.4035	24.153	0.38526	0.52732	10
11	0.66909	5.5783	15.449	-0.00076	0.2736	0.9860	2.9755	4.4035	24.564	0.37902	0.51876	11
12	0.65408	5.4532	15.803	-0.00081	0.2334	0.9795	2.9755	4.4035	24.013	0.38231	0.51367	12
13	0.66630	5.5551	15.513	-0.00076	0.2481	0.9837	2.9755	4.4035	24.462	0.37762	0.51308	13
14	0.68805	5.7364	17.468	-0.00068	0.3483	0.9947	3.4598	3.7872	21.725	0.38446	0.52802	14
15	0.68316	5.6956	17.593	-0.00071	0.3312	0.9930	3.4598	3.7872	21.570	0.38170	0.52199	15
16	0.69165	5.7664	17.377	-0.00069	0.3231	0.9934	3.4598	3.7872	21.838	0.37882	0.51019	16
17	0.70284	5.8597	17.101	-0.00069	0.3111	0.9938	3.4598	3.7872	22.182	0.38546	0.51410	17
18	0.67842	5.6561	17.716	-0.00072	0.2870	0.9901	3.4598	3.7872	21.421	0.38651	0.51677	18
19	0.67721	5.6460	17.748	-0.00072	0.3035	0.9906	3.4598	3.7872	21.382	0.39627	0.52440	19
20	0.69690	5.8102	17.246	-0.00053	0.2687	0.9919	3.4598	3.7872	22.004	0.38306	0.50194	20
21	0.69561	5.7994	17.278	-0.00067	0.2501	0.9905	3.4598	3.7872	21.963	0.37724	0.49920	21
22	0.70678	5.8926	19.385	-0.00064	0.3978	0.9977	3.9441	3.3220	19.575	0.38331	0.52406	22
23	0.69804	5.8197	19.628	-0.00067	0.3571	0.9958	3.9441	3.3220	19.333	0.37571	0.51130	23
24	0.69629	5.8051	19.678	-0.00066	0.3043	0.9939	3.9441	3.3220	19.285	0.38222	0.49006	24
25	0.72193	6.0189	21.309	-0.00061	0.4425	0.9990	4.4284	2.9588	17.808	0.38246	0.52244	25
26	0.73417	6.1209	23.246	-0.00057	0.4881	0.9996	4.9127	2.6671	16.325	0.38179	0.52103	26
27	0.75077	6.2593	11.205	-0.00072	0.1938	0.9842	2.4215	5.4110	33.869	0.27122	0.42182	27
28	0.75467	6.2918	13.376	-0.00069	0.2266	0.9903	2.9059	4.5090	28.370	0.30027	0.44126	28
29	0.78339	6.5313	12.886	-0.00066	0.2094	0.9927	2.9059	4.5090	29.449	0.29012	0.43584	29
30	0.77395	6.4526	15.217	-0.00062	0.2352	0.9952	3.3902	3.8649	24.939	0.31902	0.44012	30
31	—	—	—	—	0.0860	0.9936	0.9686	13.527	—	0.35789	—	31
32	0.52098*	4.3435*	9.6883*	-0.00171*	0.1404	0.9844	1.4529	9.0179	39.169*	0.35683	0.57201	32
33	0.60035*	5.0052*	11.210*	-0.00109*	0.1914	0.9699	1.9373	6.7636	33.853*	0.35553	0.52581	33
34	0.62858*	5.2406*	10.706*	-0.00107*	0.2054	0.9665	1.9373	6.7636	35.445*	0.33275	0.52980	34
35	0.61116*	5.0954*	11.012*	-0.00110*	0.2034	0.9667	1.9373	6.7636	34.463*	0.35574	0.54215	35
36	0.60153*	5.0151*	11.188*	-0.00116*	0.1953	0.9700	1.9373	6.7636	33.920*	0.36636	0.54839	36
37	0.64538	5.3807	13.034	-0.00086	0.2313	0.9487	2.4215	5.4110	29.115	0.35944	0.51782	37
38	0.65798*	5.4857*	9.8605*	-0.00101*	0.2557	(0.969)	1.8677	7.0156	38.485*	0.34347	0.54029	38
39	0.62722*	5.2293*	10.344*	-0.00110*	0.1956	0.9723	1.8677	7.0156	36.687*	0.34223	0.53447	39
40	0.68614*	5.7205*	11.908*	-0.00082*	0.1745	—	2.3520	5.5710	31.869*	0.35072	0.51933	40
41	—	—	—	—	0.1949	0.9930	0.8990	14.574	—	0.39754	—	41
42	0.88458	7.3749	10.592	-0.00067	0.2090	0.9937	2.6971	4.8581	35.628	0.24295	0.40989	42
43	0.87191	7.2693	12.675	-0.00059	0.2632	0.9970	3.1814	4.1184	29.938	0.26005	0.40095	43
44	0.87168	7.2674	14.509	-0.00056	0.3027	0.9985	3.6657	3.5744	25.976	0.27768	0.41139	44
45	0.88467	7.3757	14.394	-0.00052	0.3113	0.9989	3.6657	3.5744	26.363	0.28964	0.41620	45
46	0.86894	7.2445	14.655	-0.00055	0.3257	0.9987	3.6657	3.5744	25.894	0.27427	0.40545	46
47	0.86570	7.2175	14.710	-0.00056	0.3214	0.9986	3.6657	3.5744	25.798	0.27470	0.40255	47
48	0.91069	7.5926	13.718	-0.00056	(0.241)*	—	3.5961	3.6435	27.664	0.26682	0.41261	48
49	0.86635	7.2229	16.641	-0.00055	0.3260	0.9991	4.1500	3.1573	22.805	0.30704	0.42053	49
50	0.79620	6.6381	4.8270	-0.00065	0.5649	—	1.1063	11.843	78.618	0.32429	0.59192	50
51	0.79395	6.6193	6.9598	-0.00060	0.6446	—	1.5906	8.2372	54.525	0.33074	0.56381	51
52	0.78938*	6.5812*	4.2561*	—	0.0477	0.9996	0.9671	13.548	89.163*	0.24847	—	52
53	0.81801*	6.8199*	6.4532*	-0.00583*	0.2667	0.9964	1.5196	8.6229	58.807*	0.19908	—	53
54	0.80143*	6.6817*	5.1005*	-0.00157*	0.0948	0.9846	1.1767	11.1351	74.401*	0.23839	0.50418	54
55	1.3974*	11.650*	5.4991*	—	0.2548	0.9802	2.2120	5.9235	69.008*	0.14802	0.32458	55
56	0.61831*	5.1550*	3.3037*	—	0.2558	0.9877	0.5880	22.283	114.87*	0.49678	1.1209	56
57	0.87475*	7.2930*	3.9713*	—	—	0.9996	1.0000	13.103	95.557*	0.23980	—	57
58	0.071069*	0.59252*	3.4022*	—	-0.2216*	1.0006	0.06960	188.25	111.54*	3.4066	—	58
59	1.1421*	5.9221*	3.3605*	—	0.0216	0.9992	1.1048	11.859	112.93*	0.21898	—	59
60	0.80940*	6.7481*	4.1513*	—	0.0370	0.9997	0.9672	13.546	91.413*	0.24828	—	60
61	1.4243*	11.875*	5.9710*	—	0.0878	(0.98875)	2.4482	5.3519	63.554*	0.11375	—	61
62	1.00000	8.33720	2.1608	-0.00013	0.3445	—	0.62202	21.065	175.62	0.44469	0.99974	62
63	0.12510*	1.0430*	3.8376*	—	0.	1.0006	0.1382	94.814	98.891*	1.2404	—	63
64	0.85128*	7.0973*	5.1372*	-0.00300*	0.1259	0.9923	1.2589	10.408	73.869*	0.19086	—	64

Tableau 2. Propriétés physiques de corps purs (suite)

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

PHYSICAL CONSTANTS

*See the Table of Notes and References.

Number	Compound	K Heating value, 60 °F						L Heat of vaporization 14,696 psia at boiling point, Btu/lb	M Air required for combustion ideal gas ft ³ (air)/ft ³ (gas)	Flammability limits, vol % in air mixture		ASTM octane number		Number	
		Net		Gross		Btu/lb Liquid (wt in vacuum)	Btu/lb Liquid (wt in vacuum)			Btu/lb Liquid	Lower	Higher	Motor method D-357		Research method D-908
		Btu/ft ³ Ideal gas, 14,696 psia	Btu/lb Liquid (wt in vacuum)	Btu/ft ³ Ideal gas, 14,696 psia	Btu/lb Liquid (wt in vacuum)										
1	Methane	909.4	—	1010.0	—	—	219.45	9.548	5.0	15.0	—	—	1		
2	Ethane	1618.7	20277.*	1769.6	22181.*	65869.*	211.14	16.710	2.9	13.0	+ 0.05	+ 1.6*	2		
3	Propane	2314.9	19757.*	2516.1	21489.*	90830.*	183.01	23.871	2.0	9.5	97.1	+ 1.8*	3		
4	Isobutane	3000.4	19437.*	3251.9	21079.*	98917.*	157.23	31.032	1.8	8.5	97.6	+ 0.1*	4		
5	n-Butane	3010.8	19494.*	3262.3	21136.*	102913.*	165.61	31.032	1.5	9.0	89.6*	93.8*	5		
6	Isopentane	3699.0	19303.	4000.9	20891.	108754.	147.12	38.193	1.3	8.0	90.3	92.3	6		
7	n-Pentane	3706.9	19335.	4008.9	20923.	110084.	153.56	38.193	1.4	8.3	62.6*	61.7*	7		
8	Neopentane	3682.9	19235.*	3984.7	20822.*	103577.*	135.56	38.193	1.3	7.5	80.2	85.5	8		
9	n-Hexane	4403.8	19233.	4755.9	20783.	115061.	143.93	45.355	1.1	7.7	26.0	24.8	9		
10	2-Methylhexane	4395.2	19203.	4747.3	20754.	113834.	138.64	45.355	1.18	7.0	73.5	73.4	10		
11	3-Methylhexane	4398.1	19213.	4750.3	20764.	115828.	139.99	45.355	1.2	7.7	74.3	74.5	11		
12	Neohexane	4384.0	19162.	4736.2	20713.	112952.	131.26	45.355	1.2	7.0	93.4	91.8	12		
13	2,3-Dimethylbutane	4392.7	19195.	4744.8	20746.	115246.	136.10	45.355	1.2	7.0	94.3	+ 0.3	13		
14	n-Heptane	5100.0	19155.	5502.5	20679.	118623.	136.31	52.516	1.0	7.0	—	—	14		
15	2-Methylheptane	5092.2	19133.	5494.6	20657.	117654.	131.37	52.516	1.0	7.0	46.4	42.4	15		
16	3-Methylheptane	5096.0	19146.	5498.6	20671.	119197.	132.53	52.516	(1.01)	(6.6)	55.8	52.0	16		
17	3-Ethylpentane	5098.2	19154.	5500.7	20679.	121173.	133.52	52.516	(1.00)	(6.5)	69.3	65.0	17		
18	2,2-Dimethylpentane	5079.6	19095.	5481.9	20620.	116629.	125.41	52.516	(1.09)	(6.8)	95.6	92.8	18		
19	2,4-Dimethylpentane	5084.2	19111.	5486.7	20635.	116505.	126.78	52.516	(1.08)	(6.8)	83.8	83.1	19		
20	3,3-Dimethylpentane	5086.4	19119.	5488.8	20643.	119940.	127.08	52.516	(1.04)	(7.0)	86.6	80.8	20		
21	Triptane	5081.2	19103.	5483.5	20628.	119630.	123.99	52.516	(1.08)	(6.8)	+ 0.1	+ 1.8	21		
22	n-Octane	5796.1	19096.	6248.9	20601.	121393.	129.51	59.677	0.8	6.5	—	—	22		
23	Diisobutyl	5780.5	19059.	6233.5	20563.	119670.	122.47	59.677	(0.92)	(6.3)	55.7	55.2	23		
24	Isooctane	5778.8	19063.	6231.7	20568.	119399.	115.88	59.677	0.95	6.0	100.0	100.0	24		
25	n-Nonane	6493.2	19054.	6996.5	20543.	123646.	124.36	66.839	0.7	5.6	—	—	25		
26	n-Decane	7189.6	19017.	7742.9	20494.	125442.	119.65	74.000	0.7	5.4	—	—	26		
27	Cyclopentane	3513.2	18825.	3764.8	20186.	126350.	167.35	35.806	(1.48)	(8.3)	84.9*	+ 0.1	27		
28	Methylcyclopentane	4199.0	18769.	4500.8	20130.	126654.	148.55	42.968	1.0	8.35	80.0	91.3	28		
29	Cyclohexane	4179.7	18675.	4481.5	20036.	130861.	153.25	42.968	1.2	8.35	77.2	83.0	29		
30	Methylcyclohexane	4863.6	18640.	5215.7	20002.	129065.	136.17	50.129	1.1	6.7	71.1	74.8	30		
31	Ethene(Ethylene)	1499.1	—	1599.8	—	—	207.50	14.323	2.7	36.0	75.6	+ 0.03	31		
32	Propene(Propylene)	2182.1	(19511)	2333.0	(20872)	(10658.)	188.19	21.484	2.0	11.7	84.9	+ 0.2	32		
33	1-Butene(Butylene)	2878.7	19313.*	3079.9	20674.*	103478.*	167.96	28.645	1.6	10.	80.8*	97.4	33		
34	cis-2-Butene	2871.0	19245.*	3072.2	20606.*	107988.*	178.92	28.645	1.6	10.	83.5	100.0	34		
35	trans-2-Butene	2866.8	19223.*	3068.0	20584.*	104864.*	174.40	28.645	1.6	10.	—	—	35		
36	Isobutene	2859.9	19182.*	3061.1	20543.*	103025.*	169.49	28.645	1.6	10.	—	—	36		
37	1-Pentene	3575.0	19185.	3826.5	20546.	110552.	154.48	35.806	1.3	10.	77.1	90.9	37		
38	1,3-Butadiene	2789.0	19378.*	2939.9	20437.*	112111.*	191.88	26.258	(1.62)	(10.3)	—	—	38		
39	1,2-Butadiene	2729.0	18967.*	2879.9	20025.*	104717.*	185.29	26.258	2.0	12.5	—	—	39		
40	Isoprene	3410.8	18832.	3612.1	19953.	114141.	163.48	33.419	(1.12)	(8.5)	81.0	99.1	40		
41	Acetylene	1424.0	—	1474.3	—	—	352.33	11.935	1.5	100.	—	—	41		
42	Benzene	3590.9	17256.	3741.8	17989.	132667.	169.30	35.806	1.2	8.0	+ 2.8	—	42		
43	Toluene	4273.6	17421.	4475.0	18250.	132665.	154.82	42.968	1.2	7.1	+ 0.3	+ 5.8	43		
44	Ethylbenzene	4970.5	17593.	5222.2	18492.	134389.	144.16	50.129	1.0	8.0	97.9	+ 0.8	44		
45	o-Xylene	4958.1	17544.	5209.9	18444.	136037.	149.02	50.129	1.0	7.6	100.0	+ 0.	45		
46	m-Xylene	4956.2	17541.	5207.9	18440.	133589.	147.40	50.129	1.0	7.0	+ 2.8	+ 4.0	46		
47	p-Xylene	4957.0	17545.	5208.8	18444.	133120.	145.78	50.129	1.0	7.0	+ 1.2	+ 3.4	47		
48	Styrene	4829.9	17414.	5031.1	18147.	137783.	152.85	47.742	1.1	8.0	+ 0.2	>+ 3.*	48		
49	Isopropylbenzene	5660.8	17709.	5962.8	18662.	134794.	134.13	57.290	0.8	6.5	99.3	+ 2.1	49		
50	Methyl alcohol	766.2	8568.	866.9	9760.	64787.	462.90	7.161	5.5	44.0	—	—	50		
51	Ethyl alcohol	1447.5	11530.	1598.5	12770.	84515.	361.34	14.323	3.28	19.0	—	—	51		
52	Carbon monoxide	320.5	—	320.5	—	—	92.77	2.387	12.50	74.20	—	—	52		
53	Carbon dioxide	0.0	—	0.0	—	—	246.47*	—	—	—	—	—	53		
54	Hydrogen sulfide	586.8	6351.*	637.1	6897.A.*	46086.*	235.62	7.161	4.30	45.50	—	—	54		
55	Sulfur dioxide	0.0	—	0.0	—	—	167.37	—	—	—	—	—	55		
56	Ammonia	359.0	—	434.4	—	—	589.45	3.581	15.50	27.00	—	—	56		
57	Air	0.0	—	0.0	—	—	88.20	—	—	—	—	—	57		
58	Hydrogen	273.8	—	324.2	—	—	190.02	2.387	4.00	74.20	—	—	58		
59	Oxygen	0.0	—	0.0	—	—	91.59	—	—	—	—	—	59		
60	Nitrogen	0.0	—	0.0	—	—	85.59	—	—	—	—	—	60		
61	Chlorine	—	—	—	—	—	123.75	—	—	—	—	—	61		
62	Water	0.0	—	—	50.312	0.0	970.18	—	—	—	—	—	62		
63	Helium	0.0	—	0.0	—	—	—	—	—	—	—	—	63		
64	Hydrogen chloride	—	—	—	—	—	190.43	—	—	—	—	—	64		

9/15/95

Tableau 3. Propriétés physiques de corps purs (suite)

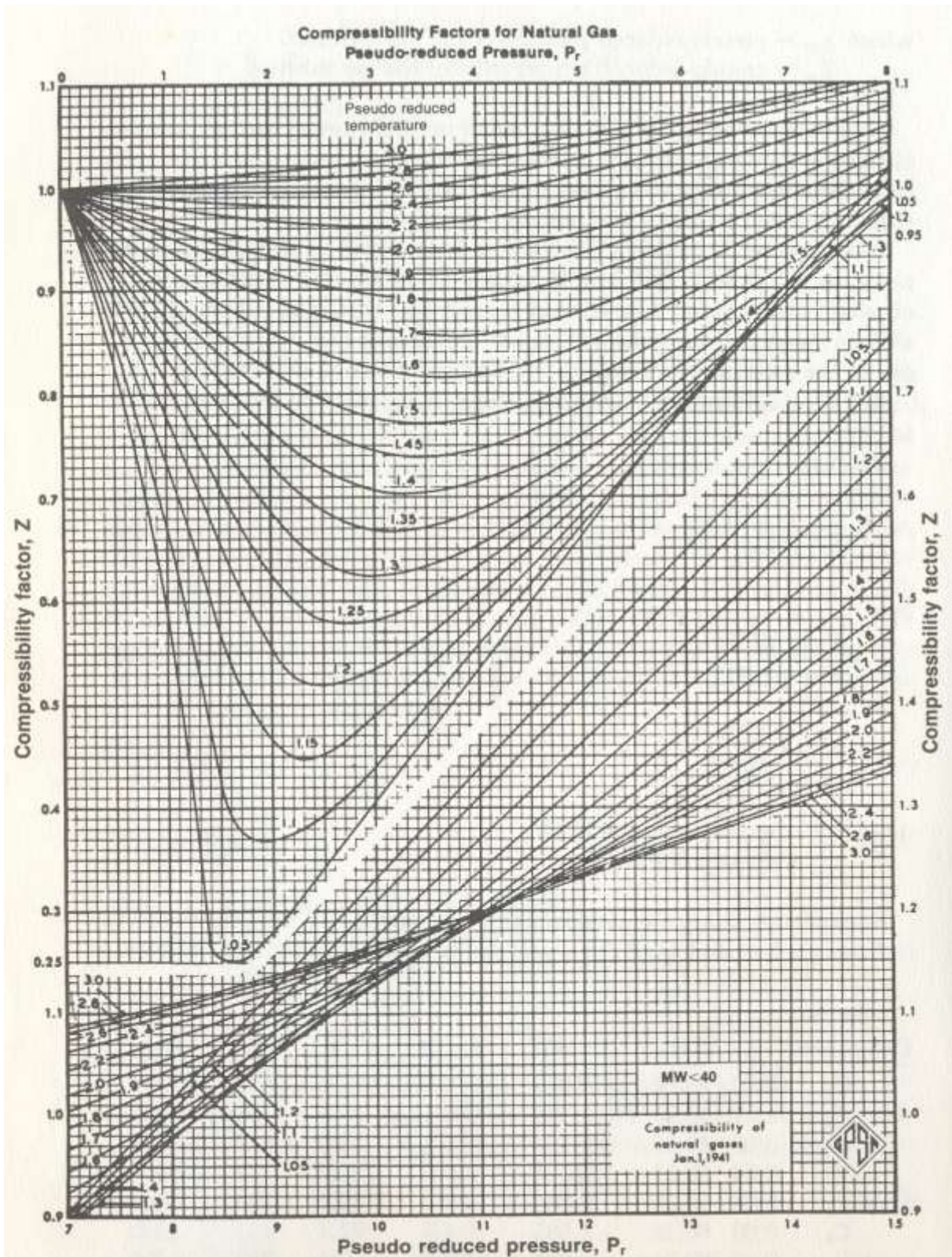


Figure 1. Facteur de compressibilité de gaz naturels ($MW < 40$) d'après Standing et Katz.

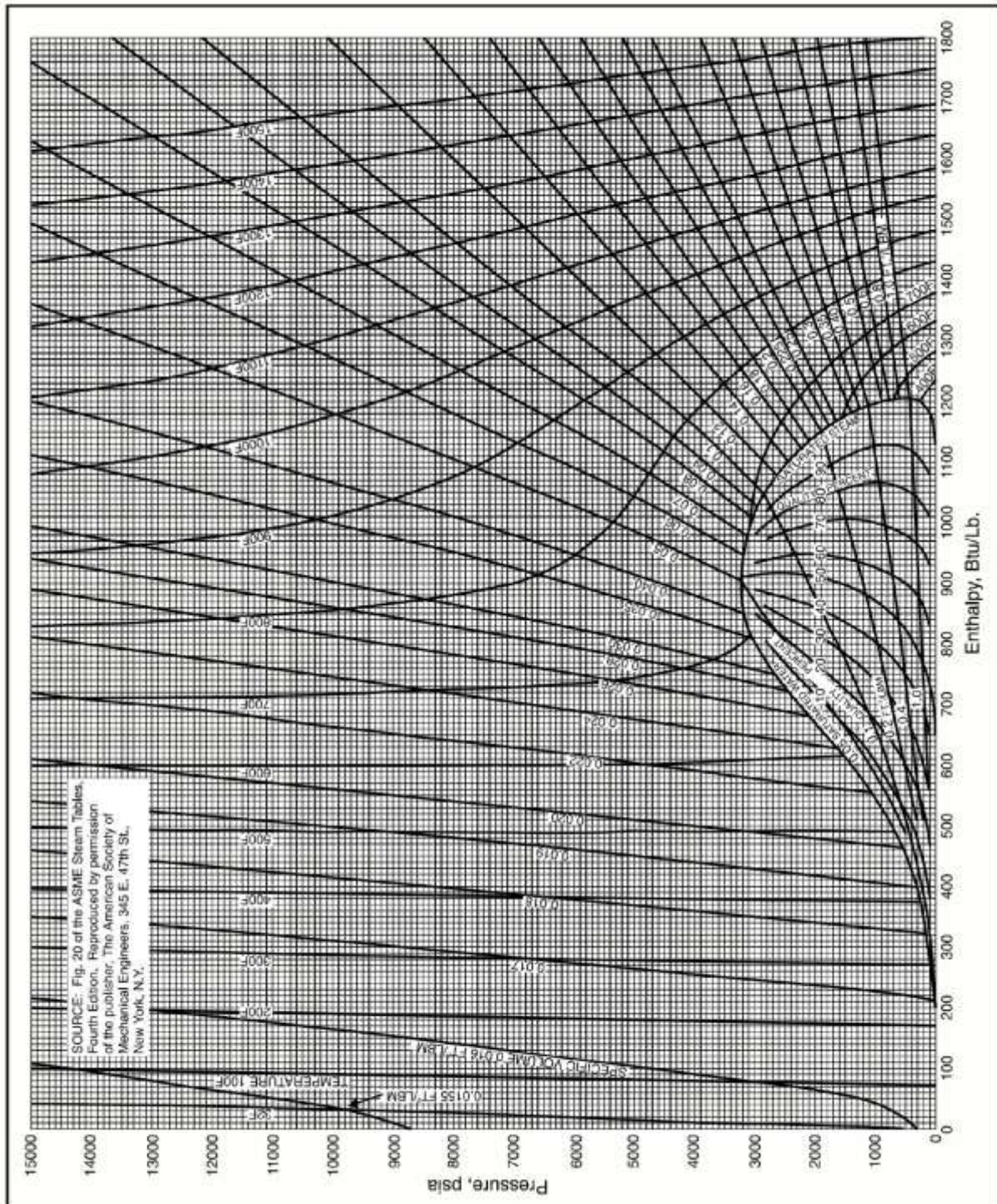


Figure2. Propriétés thermodynamiques de l'eau

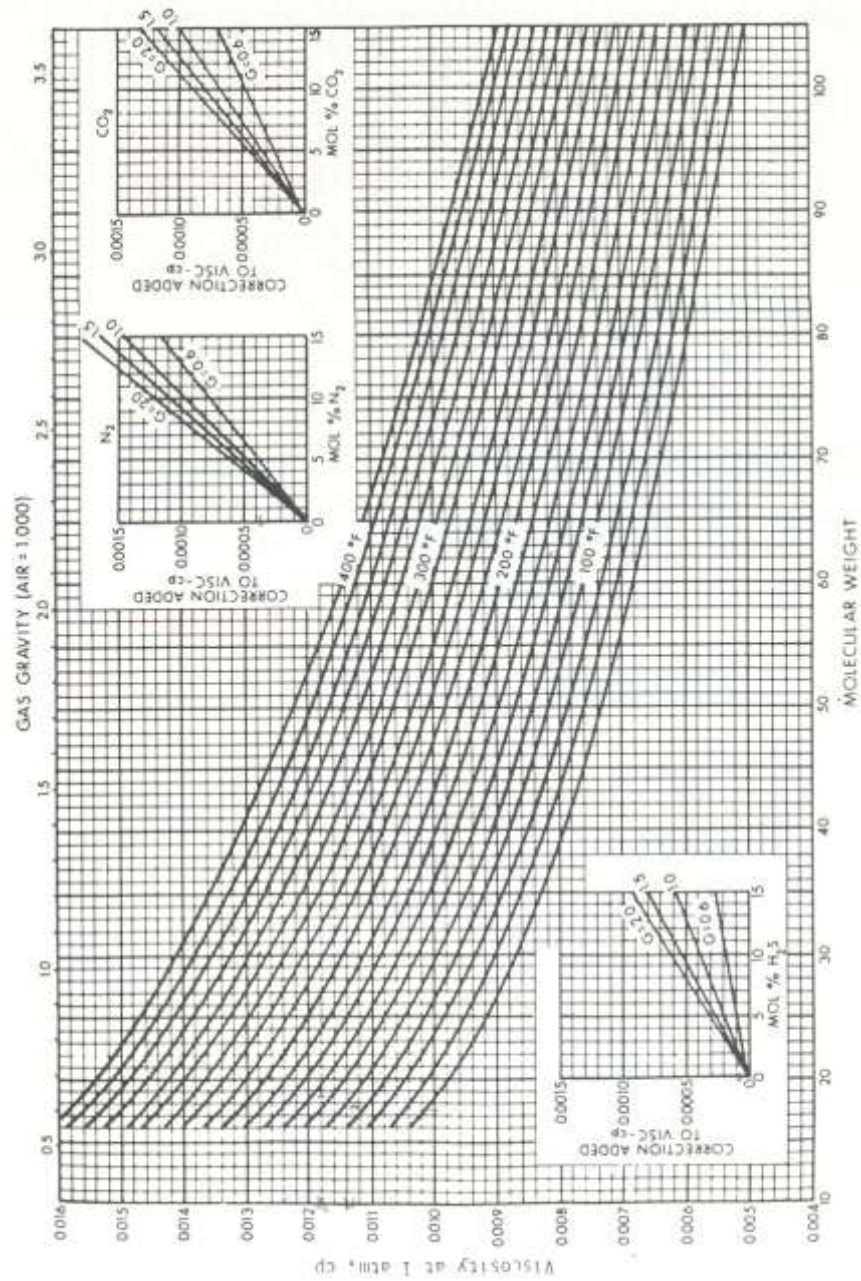


Figure 3. La viscosité μ_g du gaz à la pression et température d'intérêt.

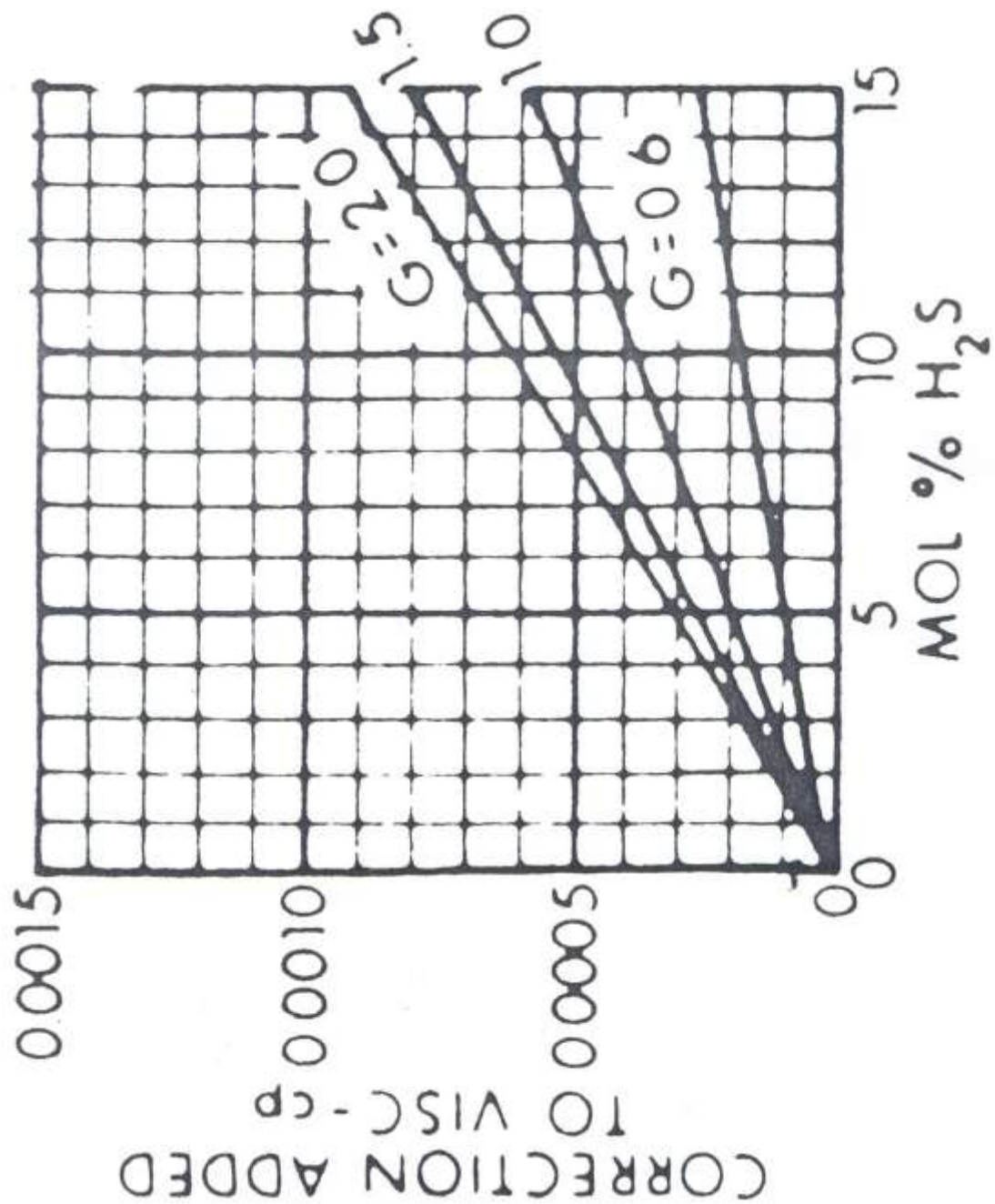


Figure4. Correction de viscosité de H₂S

$$G = \gamma_m = \frac{MW_a}{28.96}$$

G : représente la densité du mélange gazeux.

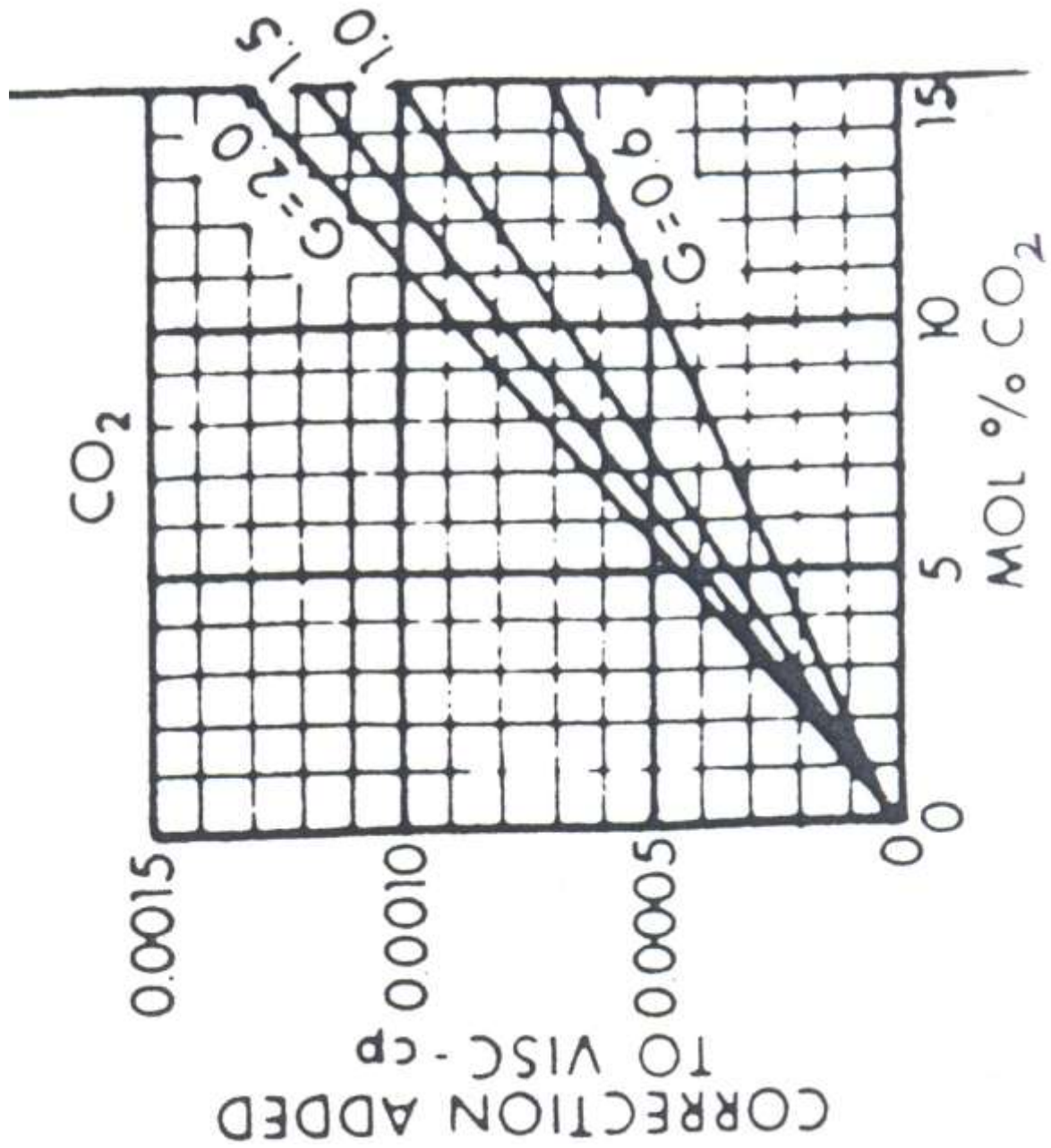


Figure5. Correction de viscosité de CO₂

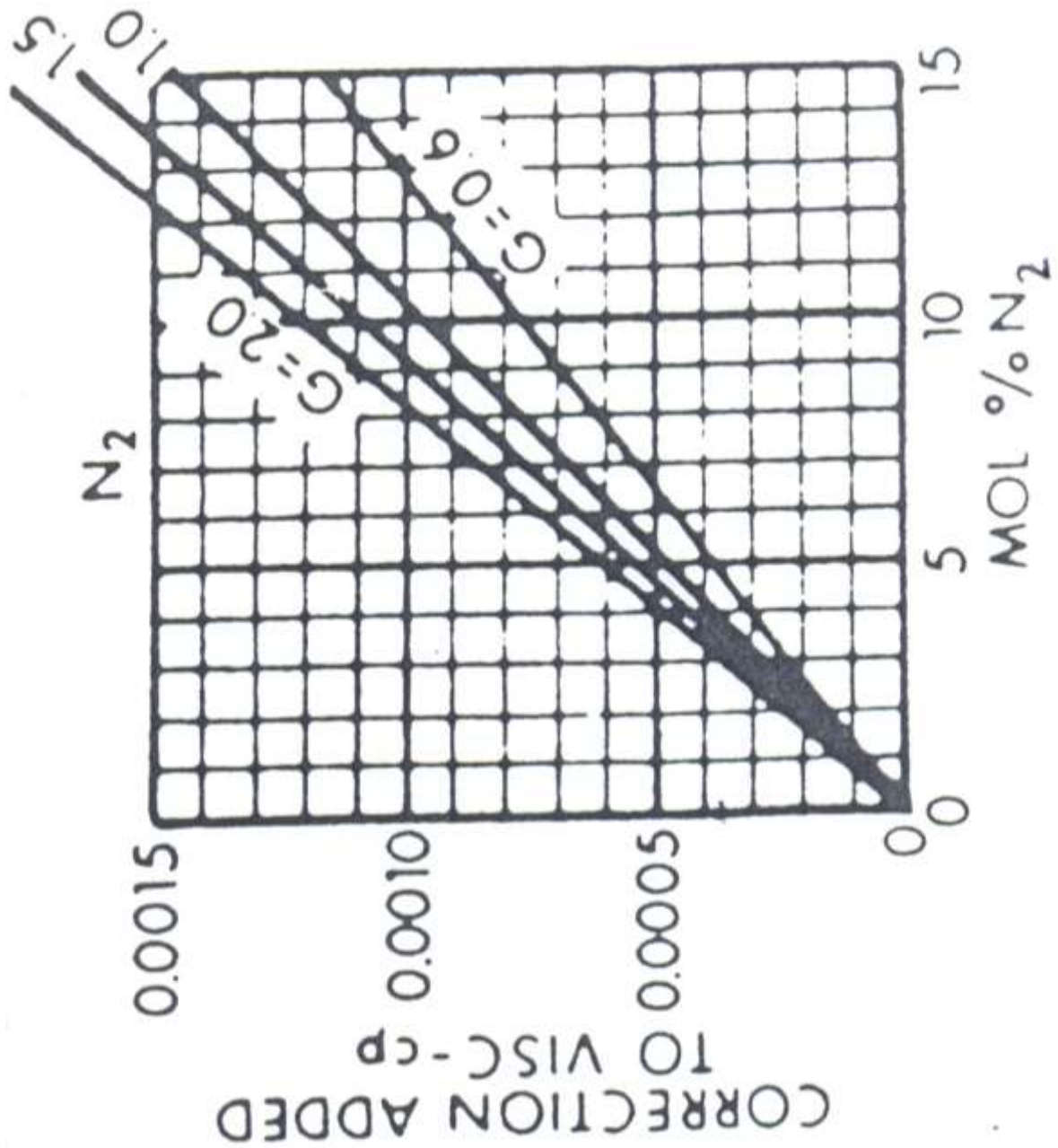


Figure6. Correction de viscosité de N₂

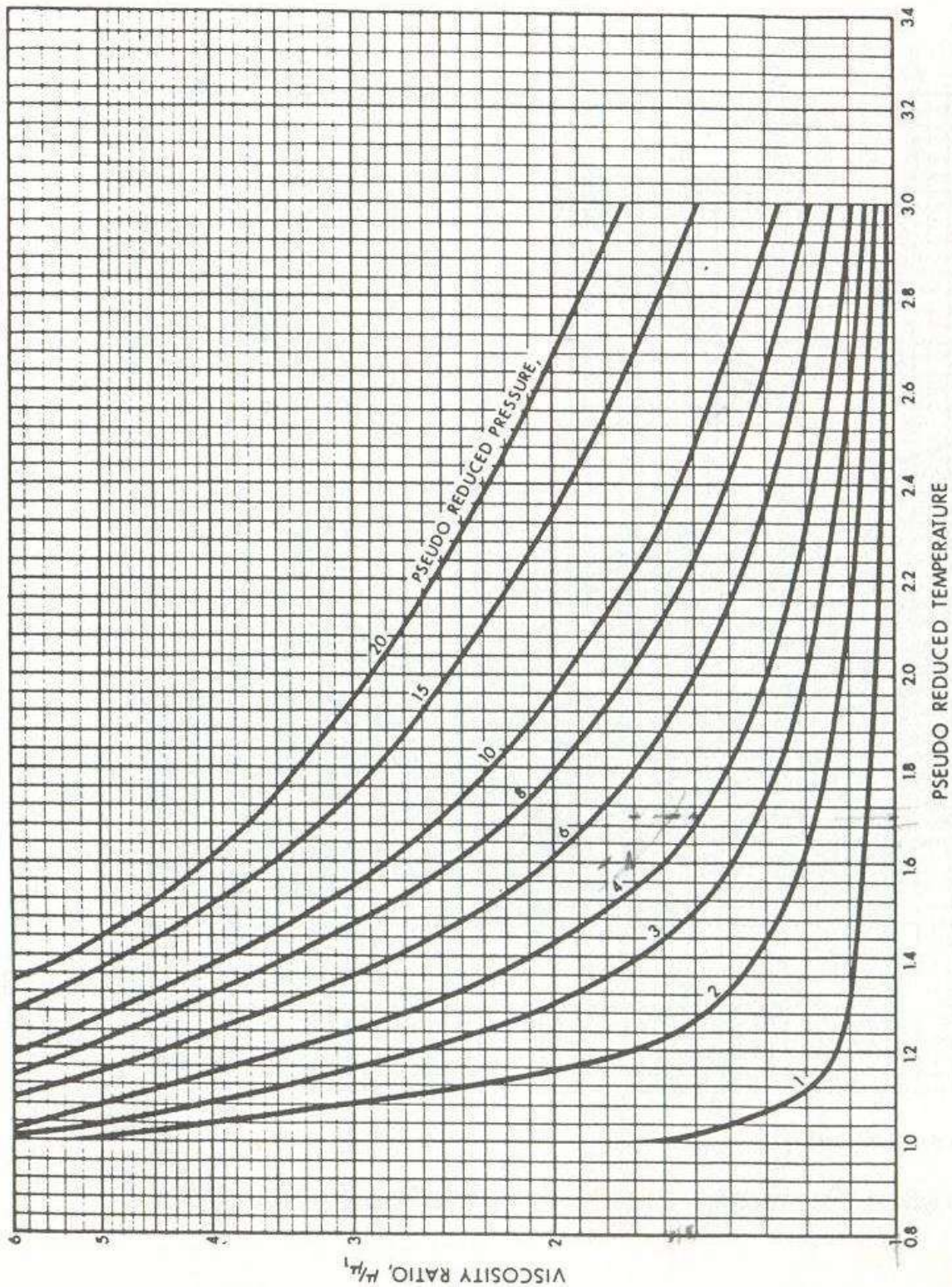


Figure 7. Corrélation du rapport de viscosité

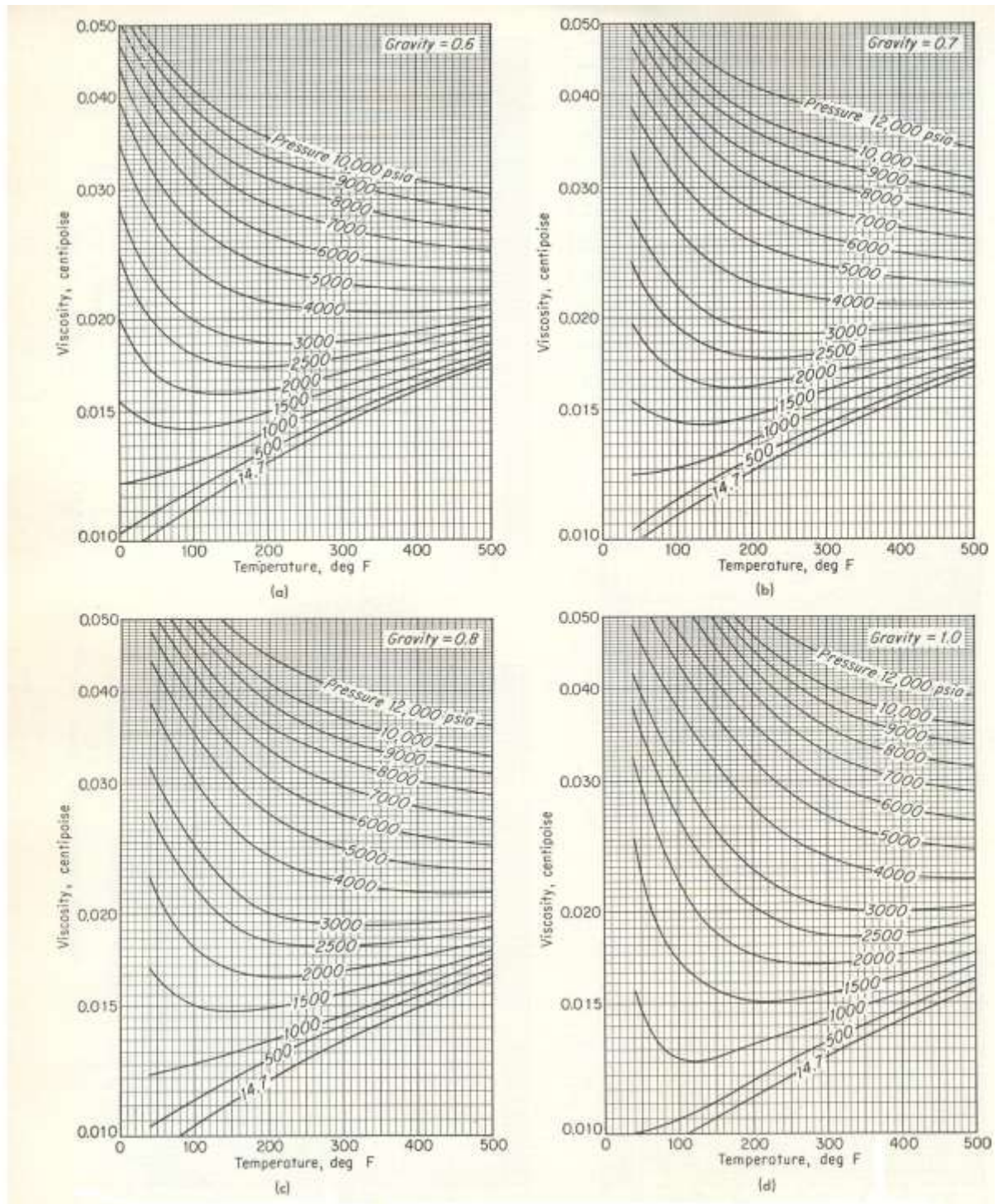


Figure 8. Viscosité de gaz naturels

NOMOCCLATURE		
Dmin	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/ft³.hr
ρ_{tamis}	Masse volumique du dissicant	Lb/ft³
g	accélération du pesanteur	ft/s²
C	constante relative aux tamis moléculaires	
H_s	La hauteur de la zone d'équilibre	ft
H_z	La longueur de la zone de transfert de masse	ft
S	Surface du lit	ft²
D_L	le diamètre de lit	ft
Y_{in}	la teneur en eau dans la charge à l'entrée du déshydrateur exprimée en PPM massique	
H_t	la hauteur total du lit	ft
H_z	la hauteur de la zone de transfert de masse	ft
X_s	la capacité d'adsorption à l'équilibre	

X_1	la teneur en eau résiduelle	
P	la pression du travail	Psia
ΔC_p	l'augmentation de la capacité calorifique	BTU/ Lb. K
C_{pi}	la capacité calorifique du gaz de régénération	BTU/ Lb. K
C_{p0}	la capacité calorifique du gaz de régénération à pression constante	BTU/ Lb. K
V_C	le volume de l'acier	ft³
S_{ext}	la surface externe de sécheur	ft²
S_{int}	la surface interne de sécheur	ft²
L	la hauteur de la colonne	ft
$C_{Pg_{moy}}$	la capacité calorifique du GN	Kcal/Kmole.°K
Q_i	le débit du GN sortant du l'économiseur	°K
T_i	la température du GN à la sortie du l'économiseur	°K
T_E	la température du GN à l'entrée du l'économiseur	°K
m_t	la masse totale du tamis moléculaire	Lb
C_{Pt}	la capacité calorifique du tamis	BTU/Lb. °F
T	la température finale du sécheur	°F

	après le réchauffage	
T_{ads}	la température initial du sécheur avant le réchauffage	°F
m_c	la masse totale de l'acier	Lb
C_{PC}	la capacité calorifique de l'acier	LTU/Lb.°F
Eff	l'efficacité thermique durant la régénération	
V_{IS_1}	la viscosité du GN	Lb/ ft
tch	le temps de chauffage	hr

CONVERTION DES UNITES

Distance	
1ft	0.3048m
1ft	12 pouce
Température	
1°C	33.8 °F
1°C	274.15°K
1°C	493.47°R

Masse	
1kg	0.001 T. métrique
1kg	0,001102 T
1Lb	0,45359 kg
Surface	
1m ²	10000cm ²
1m ²	1E-6 km ²
1m ²	1550,0031 pouces carrés

Volume	
1ft ³	0,02831 m ³
	28,3168 litre
1m ³	1000 litre
Pression	
1 bar	1000 milibar
1 bar	100000 pascal
1 bar	14,5037 PSI
1 bar	0,98692 atm

Vitesse	
Ft ²	M ²
Force	
N	J/m
N	0,10197k. force