

وزارة البحث العلمي والتعليم العالي



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم



Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES

N° d'ordre : M2.../GC/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie Chimique

Thème

**Optimisation du temps de saturation de la section déshydratation au
complexe GP1/Z**

Présenté par

1-Mlle DJELLOULI Sabrine

2-Mlle KHEDIMI Oum Hani

Soutenu le 04/07/ 2019 devant le jury composé de :

Présidente :	Mme M. KHELLADI	MAA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Mme KH. SOLTANE	MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Mr D. MEKHATRIA	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2018/2019

LISTE ABREVIATION

- GP1/Z**: Complexe de gaz pétrolier liquéfié
- RTO** : Transport par canalisation à l'Ouest
- GPL**: gaz pétrolier liquéfié
- **IHI**: Ishikawajima HArima Heavy Industries
- GNL**: gaz naturel liquéfié
- **B.O.G**: Boil Off Gas
- **PDI**: Indicateur de Pression Différentiel
- **HP**: Haute pression
- MP**: Moyenne Pression
- **BP**: Basse Pression
- **ELLIOS**: Unité de liquéfaction d'hélium
- **COGIZ**: Usine de production de l'azote
- **BT**: Base Temperature
- **LCR**: Local Control Room
- **JCR**: Jetty Control Room
- SWV**: Switch valve
- GN**: gaz naturel
- Lb (pound)**: Unité de masse
- CN** : Chargement navire
- ZMT**: Zone de transfert de masse
- Psia**: Pound force square inch

Liste des tableaux

Tableau I-1: Composition molaire du GPL.....	4
Tableau II-1: Le cycle de régénération	14
Tableau III-1: Diamètres critiques de certaines molécules.....	21
Tableau III-2: Configurations de lit pour le séchage de l'air.....	24
Tableau III-3: Fiche technique du tamis moléculaire.....	27
Tableau III-4: Composition de la charge de GPL.....	28
Tableau III-5: Variation du temps de saturation en fonction de teneur en eau de la charge durant un mois (février 2019).....	33
Tableau III-6: Variation du temps de saturation en fonction de taux d'humidité	34
Tableau III-7: Comparaison avec les résultats calculés et ceux simulé.....	36

Liste des figures

Figure I-1: Organigramme du complexe GP1/Z.....	5
Figure I-2: Schéma synoptique du procédé de liquéfaction du GPL	8
Figure I-3: Sphères de stockage à la température ambiante	10
Figure I-4: Rampe de chargement de camions du GP1/Z	11
Figure II-1: Unité de déshydratation de charge	13
Figure II-2: Section déshydratation	16
Figure III-1: Unité de déshydratation sur tamis.....	22
Figure III-2: Evolution de la concentration de l'adsorbat (fluide) au cours de l'adsorption	24
Figure III-3: Variation du temps de saturation en fonction de la teneur en eau dans la charge durant un mois (février 2019).....	33
Figure III-4: Variation du temps de saturation en fonction de taux d'humidité	34
Figure III-5: Représente les temps calcule par le modèle et la méthode de calcul.....	36

Sommaire

Introduction Générale	1
INTRODUCTION :	3
1. Présentation de SONATRACH :	3
2. Complexe GP1Z :	3
3. Les sources des GPL :	4
4. Organigramme du complexe :	4
5. Les installations du complexe GP1/Z :	4
Installations principales:	Erreur ! Signet non défini.
5.1. Zone de stockage d'alimentation :	4
5.2. Zone de production :	5
5.3. Zone des utilités :	6
5.4. Zone de stockage et d'expédition :	7
INTRODUCTION :	10
1. LE CYCLE DE REGENERATION :	10
1.1. Drainage :	10
2.1. Dépressurisation :	11
3.1. Réchauffage :	11
4.1. Refroidissement :	11
5.1. Pressurisation :	11
6.1. Remplissage en liquide :	11
2. LES HYDRATES :	11
Structures des hydrates :	11
3. LE PROCEDE DE DESHYDRATATION :	12
4. Déshydratation par Adsorption :	12
Les Adsorbants :	12
1. Le Silica gel(SiO_2NH_2) :	12

2.	Le Charbons Actifs :	13
3.	Les alumines actives(Al_2O_3) :	13
4.	Les tamis moléculaires :	13
INTRODUCTION :		15
Les tamis moléculaires :		15
Adsorption sur tamis moléculaires :		15
1.	Description des tamis moléculaires :	15
2.	Les avantages des tamis moléculaires :	17
3.	Système d'adsorption à tamis moléculaires :	17
4.	Zone de transfert de masse :	18
5.	Conception du lit:	19
6.	Régénération des tamis moléculaires :	19
III.1. PRESENTATION DU PROBLEME :		Erreur ! Signet non défini.
III.2. Méthode de calcul:		20
III.3. Constitution d'un déshydrateur de charge :		20
Propriété du GPL :		21
Composition de la charge du GPL :		21
III.4. Temps de Fonctionnement du Déshydrateur:		22
CONCLUSION GENERAL		Erreur ! Signet non défini.

Introduction Générale

Grâce à des techniques de plus en plus perfectionnées, l'homme a découvert et a exploité l'une après l'autre, les richesses de la nature telles que l'énergie (les gisements de charbon, de pétrole et du gaz).

Incontestablement, le pétrole et le gaz sont les richesses naturelles les plus importantes de notre pays. Le gaz de pétrole liquéfié connu sous le terme GPL constitue non seulement une source d'énergie, mais aussi une matière première pour plusieurs industries en pleine expansion. C'est un mélange d'hydrocarbures essentiellement composés de propane et butane.

Pour le rendre liquide, le GP subit plusieurs opérations dans un processus de traitement. Ces opérations consistent à éliminer des impuretés qui peuvent entraver le processus de liquéfaction.

Parmi ces opérations existe l'étape de déshydratation sur tamis moléculaire. Elle est composée de trois désécheurs dont le fonctionnement est : un dessécheurs en fonction, le deuxième en régénération et le troisième en attente.

Les dessécheurs ont été dimensionnés pour traiter une charge à 100 ppm. Ils doivent fonctionner pendant 36 heures pour être régénérés pendant 19 heures.

Ces derniers temps, à cause d'opérations en amont, la charge GP est en dessous de 100 ppm, ce qui perturbe la durée du séchage et diminue l'âge du tamis.

Le présent travail entre dans le cadre de la finalisation d'un master dans le système LMD. Il a été réalisé au complexe GP1/Z et a pour tâche de traiter deux questions importantes :

1. Comment utiliser de manière optimale les sécheurs à tamis moléculaire dans le complexe GP1/Z ?
2. Quelle solution peut-on proposer pour optimiser et rendre spécifique le temps de déshydratation en fonction de la teneur en eau dans le GPL ?

Pour ce faire, nous commençons par décrire le complexe GP1/Z ainsi que l'étape de déshydrations et nous terminons par des résultats, une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I

Présentation de
complexe $GP1/Z$

INTRODUCTION :

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

Cette propriété permet de stocker dans un volume réduit une grande quantité de gaz. C'est ainsi que 1m³ de GPL liquide occupe un volume de 225 m³ à l'état gazeux. [1]

Le GPL appartient à la famille de paraffine, composés essentiellement du C₃H₈, C₄H₁₀ avec de faibles proportions de CH₄, C₂H₆, et C₅H₁₂. [1]

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

Le GPL était autrefois considéré comme un résidu de l'extraction du pétrole et directement brûlé au sommet des torches. Il est actuellement récupéré par distillation par la société Algérienne SONATRACH et traité au niveau du complexe GP1/Z. Les fractions les plus nobles servent généralement de carburant pour véhicules en remplacement des essences plus chères et plus polluantes.

1. Présentation de SONATRACH :

SONATRACH est la Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures. Elle a été créé le 31/12/1963 par le décret N°63-491.

SONATRACH est un acteur majeur au service de la satisfaction de la demande domestique en énergie. Première compagnie d'hydrocarbures en Afrique, SONATRACH est aussi un important fournisseur d'énergie dans le monde.

2. Complexe GP1Z :

Le Complexe GP1/Z (JUMBO GPL) est le premier complexe prototype de liquéfaction et de transformation du gaz en Algérie. Il a pour mission la production du GPL, le butane et le propane pour le marché national et international.

Le démarrage des travaux du complexe ont débuté le 10 novembre 1980, l'achèvement de la phase I et mise en production du premier train le 12 décembre 1983 L'entrée en production du premier train de la phase II le 24/02/1998, et l'entrée en production du premier train de la phase III le 12 Février 2010.

3. Les sources des GPL :

Le GPL est obtenu principalement :

- Dans les raffineries, soit au cours de la distillation du pétrole brut ou lors du cracking ou du reforming des produits en vue de la production des essences.
- Au cours des séparations du gaz naturel qui a pour but de séparer et de récupérer condensats et GPL.
- Par liquéfaction du gaz naturel.

Tableau (I-1) : Composition molaire du GPL

Le composant du GPL	% molaire
Méthane	0,32
Éthane	1,12
Propane	60,95
Iso butane	15,46
Normal butane	22,14
Iso pentane	0,01

4. Organigramme du complexe :

Figure (I.1): Organigramme du complexe GP1/Z

5. Les installations du complexe GP1/Z :

Les différents types [2] d'installation du complexe sont :

5.1. Zone de stockage d'alimentation :

Cette section est conçue pour maintenir un fonctionnement stable et assurer une autonomie de plus de 10 heures pour alimenter les trains en GPL brut en cas d'arrêt de pompage. Elle est

destinée aussi pour recevoir soit le flux de recyclage, soit le produit hors spécification revenant des sections en aval. [2]

La charge d'alimentation en GPL brut est livrée par RTO en provenance des différents champs du sud (Hassi Messaoud, Hassi R'mel, Alrar, In Amenas, Tin-Fouye Tabankort et Rhourde Nouss). Elle est acheminée vers le stockage à l'aide de pipe de 24 pouces.

Avant le stockage le GPL brut passe par un collecteur équipé d'un contrôleur de pression permettant le maintien d'une pression de service stable puis traverse des filtres chacun muni de PDI ($\Delta P=0,5$) afin de signaler l'encrassement.

Le GPL, avant d'entrer dans les sphères de charge, passe par la filtration pour éliminer les Slopes (poudre noir) et les coaliser. Les coalisers sont bi-étagé avec 180 jeux de cartouches de coaliser et 40 jeux de cartouches de séparation. Les deux types de cartouches sont montés dans le corps. Ils ont pour rôle de séparer l'eau émulsifiée dans le GPL afin de réduire sa teneur à moins de 25 ppm.

1. Les démèrcuriseurs :

Le démèrcuriseur est une colonne équipée par un lit de démèrcurisation pour adsorber le mercure contenu dans le GPL brut.

2. Les sphères de charge :

Elles sont destinées pour le stockage du GPL, acheminé sous une pression de 18 à 22 Kg/cm² et une température de 5 à 41.8° C. Il existe 22 réservoirs sphériques de capacité de 1000 m³ chacun à des pressions variables entre 7 et 9 bars.

5.2. Zone de production :

Cette zone est constituée de 09 trains pour produire :

- Propane et butane réfrigérés destiné au marché international.
- Propane et butane ambiants destiné au marché national.

Chaque train est constitué de :

1. Section déshydratation : [2]

Constituée de :

- Trois colonnes d'adsorptions à tamis moléculaire pour réduire la teneur de l'eau dissoute de 100 ppm à 5 ppm pour éviter le givrage dans les équipements.

- Une colonne de garde pour réduire la teneur en eau dissoute dans le propane produit de 5 ppm à 1 ppm.

2. Section séparation :

Cette section assure la séparation du GPL en produits finis propane et butane commerciaux. Elle est composée de :

- Un fractionnateur.
- Dé-éthaniseur.
- Dépentaniseur

3. Section réfrigération :

Cette section est conçue pour refroidir les produits finis à leur température de stockage soit -42°C pour le propane et -9°C pour le butane. Le refroidissement se fait en trois stades ; le stade HP, stade MP, et le stade BP.

Le circuit du réfrigérant est une boucle fermée avec du propane pure comme fluide réfrigérant. [2]

4. Section huile chaude :

C'est la section de fluide caloporteur. Elle est utilisée comme source de chaleur pour le troisième préchauffeur et les rebouilleurs de la section de séparation, ainsi que pour le gaz naturel de régénération de la section de déshydratation.

L'huile, circule en boucle fermée à une température de 180°C'est chauffée dans un four, également utilisé pour chauffer le GN de la section de déshydratation. [2]

Figure (I-2) : Schéma synoptique du procédé de liquéfaction du GPL.

5.3. Zone des utilités : [2]

Elle alimente les divers zones de production en :

- **Fuel**, qui est le gaz naturel.
- **Air instrument**, air sec après enlèvement de l'humidité utilisé pour ouvrir les vannes et la manipulation des boucles de régulation (vanne pneumatique) et l'**Air service** pour le nettoyage et l'entretien.
- **Vapeur** obtenue à partir des eaux distillée du dessalement. La pression de vapeur est de 10 kg/cm², elle sert à chauffer les instruments, le traçage des lignes pour le

maintient la température chaude et des échangeurs de chaleur pour les évaporateurs des produits.

- **Eau** : L'eau distillée, l'eau de refroidissement, utilisée pour les équipements (pompes) et l'eau potable.
- **Méthanol** : Il est utilisé pour le dégivrage.
- **Gasoil** : Il est utilisé pour les générateurs de secours et stockage de gasoil.
- **Azote** : Il y'a deux circuits
 - Circuit Gazeux (ELLIOS) ;
 - Circuit de l'azote liquide (COGIZ): On le transforme en vapeur pour l'inertage des équipements.
- **Électricité**: Un générateur électrique de secours d'une capacité de 25.617 kW.
- **Un système de sécurité vide-vite (Blow-down)**
- **Les torches**: deux hautes pressions et une basse pression servent à brûler la quantité de gaz provoqué par un dysfonctionnement des trains.

5.4. Zone de stockage et d'expédition :

Elle s'occupe du stockage des produits finis et leur expédition par navires et camions.

On distingue deux types de stockage [3], [7]:

5.4.1. Section de stockage à basse température: elle est destinée au marché international et est composée de :

5.4.2. Section de stockage à température ambiante: pour le marché national

Figure (I-3): Sphères de stockage à température ambiante.

5.4.3. Section BOG (Boil- Off- Gas):

La section de reliqufaction des vapeurs (BOG), a pour but de reliquifier les vapeurs des bacs de stockage BT par le contrôle de la pression dans les réservoirs.

Les vapeurs excédentaires récupérées sont comprimées pour être reliquifiées sous forme de condensats réfrigérés aux réservoirs à basse température. Cette section est contrôlée par le LCR qui s'occupe de la gestion des opérations de stockage des produits finis, section récupération BOG (gaz évaporé).

5.4.4. Section jetée (CN) :

Elle est réservée aux enlèvements par navires et est gérée par le JCR qui s'occupe de la supervision des opérations de chargement par navire. Elle comprend deux jetées :

- **D1:** avec un débit de chargement de 4.000 m³/h pour les navires a petite capacité.
- **M6:** avec un débit de chargement de 10.000 m³/h pour les navires à grande capacité.

5.4.5. Section Chargement par Camion (CC) :

Réservée pour les enlèvements par camion au niveau de la rampe de chargement par camion (NAFTAL et les opérateurs privés). La section est dotée de cinq (5) réservoirs sphériques, de pompes et de bras de chargement. Ces installations sont conçues de manière à permettre le chargement simultané du propane, pentane et butane [1] ;

Figure (I-4) : Rampe de chargement de camions du GPL1/Z.

CHAPITRE II

Section de déshydratation du GPL

INTRODUCTION :

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

A tous instant, une colonne est en service, une deuxième en régénération, tandis que la troisième est en réserve(en attente)

Le but de cette section est de réduire la teneur d'eau dissoute dans le GPL de 100 ppm à 5 ppm en poids pour éviter, ainsi, la formation de glace et de bouchons de givre dans les parties froides de l'installation (réfrigération).

La durée d'adsorption est de 36 heures. À l'expiration de ce temps, la colonne en réserve est mise en ligne et la colonne qui était en service passe en régénération. À ce moment, la troisième colonne a achevé son cycle de régénération et passe en réserve.

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

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

Figure (II-1):Unité de déshydratation de charge.

1. LE CYCLE DE REGENERATION :

Le cycle de régénération est établi au tableau (II-1) : [4]

Tableau (II-1): Le cycle de régénération

1.1. Drainage :

La vidange de la colonne se fait d'abord par l'ouverture de la vanne (SWV-1003) puis par l'injection du Gaz naturel sous pression de 20 Kg/cm². Le GPL restant dans la colonne doit être drainé vers les sphères de charge.

2.1. Dépressurisation :

Afin de préparer la colonne à la séquence de réchauffage, sa pression doit être réduite de 20 à 4,5 Kg/cm² en évacuant le GN vers la section fuel gaz.

3.1. Réchauffage :

C'est l'opération principale du cycle de régénération. Le réchauffage se fait par le passage de gaz naturel chaud porté à une température de 280°C dans la zone de convection du four, le passage se fait de haut en bas, l'eau contenue dans les lits de tamis moléculaires sera donc évaporée.

4.1. Refroidissement :

La colonne est refroidie par du GN porté à une température de (12°C à 45°C), le gaz chaud passe à travers l'aéro-réfrigérant et le ballon séparateur, puis envoyé vers la section fuel gaz.

5.1. Pressurisation :

Avant le remplissage de la colonne par le GPL, il faut augmenter sa pression par injection de GN à 20 Kg/cm² pour éviter une détente brusque du GPL.

6.1. Remplissage en liquide :

Après la remise sous pression, le GPL liquide peut être introduit dans la colonne, sans risque de détente. Au fur et à mesure que le GPL liquide remonte dans la colonne le GN est refoulé vers le ballon séparateur.

Figure (II-2): Section déshydratation.

2. LES HYDRATES :

Ce sont des combinaisons physiques entre l'eau et les molécules de gaz, produisant un solide dont l'apparence est semblable à la glace, mais de structure différente de celle-ci. [9]

Structures des hydrates :

En présence d'un gaz léger, les molécules d'eau peuvent former une structure cristalline régulière comprenant des cavités ou cages, dans laquelle sont piégées les molécules de gaz.

3. LE PROCEDE DE DESHYDRATATION :

Les procédés de déshydratation [6 et 9], du GPL peuvent être divisés en trois catégories :

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

4. Déshydratation par Adsorption :

C'est un phénomène de surface qui correspond à la fixation de molécules d'un fluide à la surface d'un solide.[13] Lorsque les molécules gazeuses sont en contact avec une surface solide, la vapeur d'eau dissoute dans le gaz est d'abord condensée dans les pores puis maintenues à la surface des pores par des forces qui dépendent des réactions ou des interactions physiques.

Les adsorbants :

Il existe cinq agents desséchants [9] utilisés pour la déshydratation. Ce sont :

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

Une très faible attraction pour les molécules présentes dans un courant fluide similaire à une attraction magnétique, forçant, ainsi, ces molécules à adhérer à la surface.

Au fur et à mesure que le diamètre des pores se rapproche de celui de la molécule à adsorber les forces de condensation commencent à se concentrer.

1. Le Silica gel(SiO_2NH_2) :

C'est un produit dur, granulaire, très poreux et disponible sous forme de poudre ou des grains, utilisé généralement pour la déshydratation de l'air.

2. Le Charbons Actifs :

Il est préparé à partir des matières organiques. Il a une porosité importante pour adsorber les hydrocarbures paraffinés et les produits organiques et est utilisé pour l'adsorption de matières organiques contenues dans les eaux usées.

3. Les alumines actives(Al_2O_3) :

Commercialisées sous forme de poudre granulée elles sont utilisées comme déshydratants pour les gaz et les liquides. Leur capacité d'adsorption est pratiquement faible.

4. Les tamis moléculaires :

Ce sont des cristaux de zéolithe (voir l'annexe 5) synthétique d'alumino-silicate dont la régénération exige une température très élevée. Ils sont largement utilisés pour la déshydratation du gaz naturel.

CHAPITRE III

Déshydratation par
Tamis moléculaire

INTRODUCTION :

Les tamis moléculaires diffèrent des agents adsorbants traditionnels (charbon, gel de silice etc) par leur aptitude à adsorber des petites molécules tout en excluant les plus grandes, si bien que des séparations peuvent être effectuées sur les différences de taille des molécules. (Voir l'annexe 3 et 5)

Le tableau (III-1) présente des dimensions moléculaires utilisées comme guide lors du choix d'un type de tamis moléculaires pour une utilisation spécifique.

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

Les tamis moléculaires sont des aluminosilicates de métaux, doués de certaines propriétés comme la dépollution de l'air et des gaz, comme adoucisseur, comme déshydrateur etc. ils peuvent être naturels ou synthétiques. Ceux disponibles dans le commerce sont synthétiques dont la structure est similaire à ceux naturels pour être classifiés comme zéolites. Bien que les structures cristallines de certains tamis moléculaires soient quelques peu différentes, les types A et X, sont les plus importants. Cette importance vient du fait de l'existence dans leurs structures de cavités d'interconnexions de dimensions uniformes, séparées par des ouvertures plus étroites, ou pores uniformes (Annexe2)

Les tamis moléculaires :

Ce sont des cristaux de zéolithe synthétique d'alumino-silicate dont la régénération est réalisée par une température élevée. Leur utilisation est large dans le domaine du gaz naturel. (L'annexe 5)

Adsorption sur tamis moléculaires :

1. Description des tamis moléculaires :

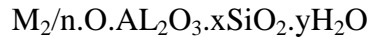
Les tamis moléculaires ont des pores de dimension uniforme. Selon la taille des pores, les molécules peuvent être facilement adsorbées, lentement adsorbées ou complètement rejetées.

Cette sélectivité de tamisage, qui repose sur la taille des molécules à laquelle a été ajoutée une préférence sélective pour les molécules polaires ou polarisables, augmentée d'une haute capacité dans de larges conditions opératoires, donne aux tamis moléculaires un très haut degré de sélectivité d'adsorption.

Tableau (III-1):Diamètres critiques de certaines molécules. [15]

Molécule	Diamètre critique (A°)
Hydrogène	2,4
Acétylène	2,4
Monoxyde de carbone	2,8
Dioxyde de carbone	2,8
Oxygène	2,8
Azote	3
Eau	2,8
Ammoniac	3,6
Ammoniac	3,6
Méthane	4
Éthylène	4,2
Éthane	4,4
Méthanol	4,4
Éthanol	4,4
Mercaptan méthylique	4,5
Propane	4,9
Propylène	5
Mercaptan éthylique	5,1
Butène	5,1
1,3-Butadiène	5,2
Chlorodifluorométhane (R-22)	5,3
Thiophène	5,3
isobutane à 1-C ₂₂ H ₄₆	5,6
Dichlorodifluorométhane	5,7
Cyclohexane	6,1
Benzène	6,7
Toluène	6,7
P-Xylène	6,7
P-Xylène	7,1
O-Xylène	7,4
Triéthyl amine lamine	8,4

Ils ont pour formule chimique de base :



Où M est le cation de valence n.

Plusieurs espèces de zéolites sont connues. Elles diffèrent dans la composition chimique, la structure cristalline et les propriétés d'adsorption. À titre d'exemple on cite :

Zéolithe type 4A°: $Na_{12}((AlO_2)_{12}(SiO_2)_{12})27H_2O$

Type 13X: $Na_{86}((AlO_2)_{86}(SiO_2)_{106})276H_2O$

L'ion sodium (Na^+) peut être échangé afin de former d'autres produits utilisables.

2. Les avantages des tamis moléculaires :

Elles sont diverses et variées. Parmi elles :

1. Une dégradation lente avec le temps.
2. La capacité d'adsorption ne faiblit pas avec l'augmentation de la température.
3. Capacité d'adsorption élevée à de faibles concentrations de l'adsorbat.
4. Convient pour la déshydrations des liquides.

Par ailleurs, les tamis moléculaires sont régénérables et réutilisables d'où leur utilisation dans les installations fonctionnant en continue.

Figure (III-1) : unité de déshydratation sur tamis.

3. Système d'adsorption à tamis moléculaires :

Les tamis moléculaires sont très onéreux pour n'être utilisés qu'une seule fois, par conséquent, ils doivent être recyclés plusieurs fois (environ 4000 cycles pendant 3 ans). Pour déshydrater un lit saturé, il faut augmenter la température ou diminuer la pression.

En pratique, les deux sont utilisés en chauffant le lit à une température comprise entre 340 et 315°C avec un gaz relativement sec.

Le niveau auquel le gaz est séché est une fonction de la température et de la teneur en eau du gaz de régénération, car un lit totalement régénéré sera en équilibre avec le gaz de régénération.

La concentration d'eau restant dans le lit à la fin de la régénération influe sur les performances du lit lors du prochain cycle d'adsorption.

Le lit, en phase l'adsorption, fonctionne comme une colonne chromatographique avec le composant le plus fortement adsorbé se trouve à l'entrée et le composant de plus faiblement adsorbé se trouve à la sortie. L'eau est le composant le plus fortement adsorbée trouvant dans le gaz naturel.

Lorsque le gaz naturel entre dans le lit, l'eau est diffusée à l'intérieur des pores de la structure du matériau en une couche mince.

Au fur à mesure que le gaz pénètre dans la colonne, il passe à travers cette couche jusqu'à un niveau légèrement inférieur où une quantité supplémentaire d'eau est adsorbée.

4. Zone de transfert de masse :

Elle correspond [1 et 9] à la longueur du lit nécessaire au phénomène d'adsorption, où la concentration de l'adsorbat, à la sortie, varie en fonction de la concentration initiale. En amont de la zone de transfert, l'adsorbant est saturé. En aval, l'adsorbant, vierge ou régénéré, est prêt à travailler.

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

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

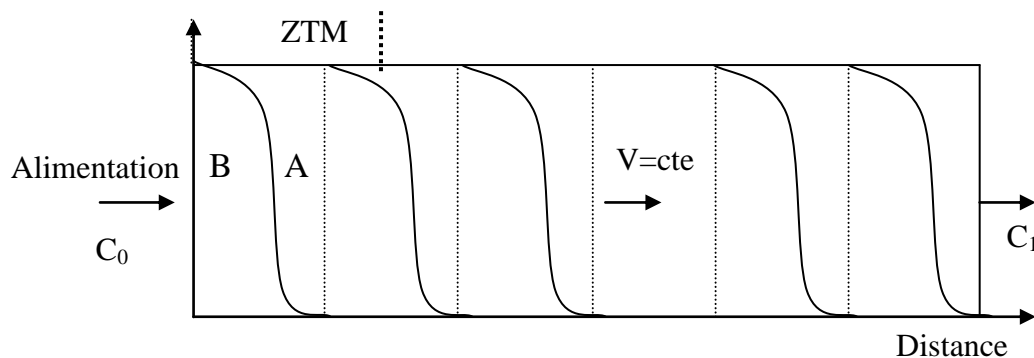


Figure (III-2): Évolution de la concentration de l'adsorbat (fluide) au cours de l'adsorption

5. Conception du lit:

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

La longueur de cette zone est fonction de plusieurs facteurs. [1], [8]

5.1. Vitesse et diamètre du lit:

En général, les lits longs et de faibles diamètres sont plus efficaces que les lits courts de grands diamètres [13]. Le tableau (III-2) donne trois configurations de lit pour le séchage de l'air sur tamis moléculaire.

Tableau (III-2) : Configurations du lit pour le séchage de l'air

La plus élevée est celle des lits de faible diamètre, bien que tous fonctionnent convenablement.

5.2. Teneur en adsorbat de l'effluent :

La capacité utile du lit adsorbant dépend de la teneur en adsorbat désirée dans l'effluent car la longueur de la zone de transfert de masse doit augmenter lorsqu'on désire diminuer la concentration de l'effluent. Une faible concentration en adsorbat se traduit par de faible capacité d'adsorption.

6. Régénération des tamis moléculaires :

Le phénomène d'adsorption se traduit à l'équilibre par un état de saturation. Le tamis moléculaire saturé n'adsorbe plus et doit être désorbé.

Pour désorber les produits adsorbés il faut soit augmenter la température, soit diminuer la pression partielle de l'adsorbat ou combiner les deux méthodes.

6.1. Désorption par augmentation de la température :

Elle est effectuée en balayant le lit avec un gaz préchauffé. L'effet de l'augmentation de la température est amplifié par l'effet de diminution de la pression partielle.

La température se situe entre 200 et 300 °C.

La quantité de chaleur à fournir pour obtenir une régénération convenable est égale à la somme des quantités de chaleur suivante :

1. la chaleur nécessaire au chauffage du lit d'absorbant.
2. la chaleur nécessaire au chauffage de l'adsorbent (fonction de la nature de calorifugeage : externe et interne).
3. la chaleur nécessaire au chauffage et la désorption de masse d'adsorbant retenu dans le lit.
4. les pertes thermiques à travers les parois de la colonne d'adsorption. Des molécules organiques (oléfiniques, aromatiques, paraffines lourds...) présentes dans le fluide à traiter peuvent être co-adsorbées durant la phase d'adsorption. Afin d'éviter les risques de cokage pendant la régénération thermique, on effectue une purge avec un gaz inerte. La phase chauffage est suivie d'une étape de refroidissement qui ramène le lit à la température d'adsorption.

6.2. Désorption par diminution de la pression partielle :

La régénération par variation de pression est basée sur la réduction de la capacité d'adsorption, due à la réduction de la pression partielle de l'adsorbant. L'adsorbant est éliminé par un courant de gaz de purge à basse pression avec la même température que le gaz d'adsorption.

6.3. Désorption par déplacement par un composé adsorbable :

La régénération est facilitée non seulement par la réduction de la pression partielle (ou la concentration) de l'adsorbant, mais aussi par l'adsorption compétitive de l'agent de déplacement. Celui-ci est déplacé par les espèces adsorbables au cours de l'étape d'adsorption.

Cette méthode de régénération est employée lorsque l'adsorbant est très fortement lié à l'adsorbant ou s'il présente une stabilité thermique limitée.

III.2. Méthode de calcul:

Ce calcul [12] est utilisé pour estimer le temps de fonctionnement du sécheur en fonction de la teneur en eau du GPL. La méthode est celle utilisée dans le complexe.

III.3. Constitution d'un déshydrateur de charge :

La partie essentielle d'une colonne de déshydratation est le tamis moléculaire, l'agent adsorbant, sous forme de couche de billes en céramique (alumine) de 150 mm d'épaisseur avec

une couche similaire au-dessus qui présente un support. [3], [7]

Treillis métalliques, grilles et tiges sont utilisés pour supporter le tamis moléculaire.

La fiche technique du tamis moléculaire est présentée au Tableau (III.3) : [3]

Tableau (III.3) : fiche technique du tamis moléculaire

Propriété du GPL :

Ses principales propriétés sont :

- Débit de traitement à 100% : $Q = 240 \text{ m}^3/\text{h}$
- $P = 30.7 \text{ Kg}/\text{cm}^2$
- $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Composition de la charge du GPL :

Elle est représentée au tableau (III.4)

Tableau (III.4) : composition de la charge de GPL [4]

COMPOSANT	% MOLLAIRE	M_i (g/mole)
C1	0.24	16,043
C2	1.92	30,07
C3	59.37	44,097
i-C ₄	13.68	58,123
n-C ₄	24.54	58,123
i-C ₅	0.20	72,15
n-C ₅	0.05	72,15
C6	0.00	86.177

Le poids moléculaire du GPL est donné par :

$$M_{\text{GPL}} = \sum Y_i * M_i$$

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

Les caractéristiques du GPL sont :

- Solubilité de l'eau dans le GPL à $T=25^\circ\text{C}$. (voir Annexe n°2)
- Teneur en eau à l'entrée du sécheur : $X_E = 100 \text{ ppm}$.
- Teneur en eau à la sortie du sécheur : $X_S = 5 \text{ ppm}$.

- Masse volumique du GPL : $\rho_{\text{GPL}}=530$ (Kg/ m³).

III.4. Temps de Fonctionnement du Déshydrateur: [12]

L'estimation du temps de fonctionnement du déshydrateur est :

Avec :

X : La quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant (X).

H_t : La hauteur totale du lit (m).

ρ_{tamis} : Masse volumique du dessicant : $\rho_{\text{tamis}} = 641$ (kg/ m³).

q_w : Le débit d'eau (kg/m².h).

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

La quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant (X) (45.36 Kg de dessicant) est calculée par la relation suivant :

Avec :

X_s : La capacité d'adsorption à l'équilibre.

C : Constante empirique (C=0.45) dépend de la forme des particules du tamis.

H_z : La longueur de la zone de transfert de masse (m).

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

1.1. Estimation de la capacité d'adsorption à l'équilibre : [12]

La capacité d'adsorption est de 22 Lb d'eau / Lb de tamis moléculaire (9.98 Kg d'eau/ 0.45 Kg de tamis moléculaire). Elle représente la saturation complète du tamis moléculaire. (annexe 4)

$$X_s = (22 - X_1)$$

X₁ : La teneur en eau résiduelle, X₁= 1.5 % en poids.

A cause des pertes lors de l'adsorption engendrées par l'encrassement des pores, la destruction des cristaux et l'attaque chimique, il convient d'ajouter une quantité de tamis pour compenser l'effet de vieillissement.

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

Coefficient d'usure = 70 %

La capacité sera en fin de compte égale à :

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

1.2. Hauteur de la zone de transfert de masse:

La hauteur de la zone de transfert de masse est calculée comme suit :

Avec :

q_w : Le débit d'eau ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$).

U_{act} : La vitesse actuelle d'écoulement de fluide (m/h).

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

1.2.1. Débit d'eau:

Le débit d'eau est calculé par l'équation suivant :

Avec :

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

Q : Le débit de traitement à 100% : $Q = 240 \text{ (m}^3/\text{h)}$.

ρ_{GPL} : Masse volumique du GPL : $\rho_{GPL} = 530 \text{ (Kg/ m}^3\text{)}$.

D_L : Le diamètre du lit. ($D_L = 2.1 \text{ m}$).

$$q_w = 3.68 \text{ kg /m}^2 \cdot \text{h}$$

1.2.2. Vitesse actuelle d'écoulement de fluide U_{act} :

La vitesse d'écoulement de fluide U_{act} : [12]

Avec :

D_L : Le diamètre du lit. ($D_L = 2.1 \text{ m}$).

Q : Le débit de traitement à 100% : $Q = 240 \text{ (m}^3/\text{h)}$.

S : La surface : $S = 3.46 \text{ m}^2$

$$U_{act} = 1.16 \text{ m/mn} = 69.36 \text{ m/h}$$

D'après l'équation suivant :

$$H_z = 0.46 \text{ m}$$

1.3. Hauteur de la zone d'équilibre:

La hauteur de la zone d'équilibre calculé par équation suivant :

H_t : La hauteur total du lit ($H_t = 1.8 \text{ m}$).

H_z : La hauteur de la zone de transfert de masse : $H_z = 0.46 \text{ (m)}$.

$$H_s = 1.34 \text{ m}$$

D'après l'équation suivant :

$$X = 12.13 \text{ Lb d'eau/100 Lb de dessicant}$$

2. Hauteur totale du lit : [12]

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

Avec :

H_s : La hauteur de la zone d'équilibre : 1.34 m.

H_z : La longueur de la zone de transfert de masse : 0.46 m.

$$H_t = 1.8 \text{ m}$$

Le temps de saturation calculée par la relation suivant :

$$t_{ads} = 38.03 \text{ h}$$

3. Quantité d'eau adsorbée par les tamis moléculaire M_{ads} :

Elle est donnée par :

Avec :

H_t : La hauteur totale du lit 1.8 m.

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

H_z : La hauteur de la zone de transfert de masse : 0.46 m.

X_s : La capacité d'adsorption à l'équilibre : $X_s = 14.35 \text{ Lb d'eau/ 100 Lb adsorbant}$.

D_L : Le diamètre du lit. 2.1 m.

ρ_{tamis} : Masse volumique du dessicant: 641 kg/m^3 .

$$M_{ads} = 5.07 \cdot 10^2 \text{ Kg}$$

4. Détermination de l'efficacité d'adsorption:

Elle exprimée comme :

Avec :

X : La quantité réelle d'eau adsorbée par 100 Lb de dessicant (X) : (X= 12.13 Lb d'eau/100 Lb de dessicant).

X_s : La capacité d'adsorption à l'équilibre :X_s= 14.35 Lb d'eau/ 100 Lb adsorbant.

$$\mathbf{EFF = 84.53}$$

D'après les relevés effectués durant la période de notre stage, un bulletin d'analyse de la teneur en eau de la charge GPL à l'entrée du sécheur a été réalisé. Cette période est de un mois figure (III.3). Durant ce mois, la concentration de la charge en eau n'a pas dépassé 24 ppm, teneur inférieure à la valeur design (100 ppm). Ces résultats calculés sont dans le tableau (III.5) et la figure (III.3)

Tableau (III.5): Variation du temps de saturation en fonction de la teneur en eau dans la charge durant un mois (février 2019).

Figure (III.3): Variation du temps de saturation en fonction de la teneur en eau dans la charge durant un mois (février 2019).

Cette figure montre que la variation du temps de saturation du tamis est inversement proportionnelle à la teneur en eau dans la charge. Cependant, son évolution est une courbe de puissance dont la fonction est donnée par une régression linéaire avec un coefficient de régression de 1. Ceci signifie que tous les points appartiennent à la courbe

L'équation de cette courbe est :

TS : temps de saturation

TH : taux d'humidité

D'autres calculs ont été réalisés sur la base de la méthode utilisée au niveau du complexe. Ces calculs ont été établis dans l'intervalle 100 ppm à 10 ppm avec un pas de 10. Les résultats sont présentés au tableau (III.6) et à la figure (III.4).

Tableau (III.6): Variation du temps de saturation en fonction de taux d'humidité.

Figure:(III.4): Variation du temps de saturation en fonction de taux d'humidité.

La figure représente l'évolution du temps de saturation calculé en fonction du taux d'humidité. L'évolution est encore une courbe de puissance dont la linéarisation a été réalisée avec un coefficient de régression de 0,998, ce qui indique que la courbe englobe 99% des points.

L'équation de cette courbe représente le modèle mathématique de l'évolution du temps de saturation. Son expression est :

Remarque : ce modèle n'est valable que dans l'intervalle 100-10 ppm.

Cette équation permettra de prédire le temps de saturation du tamis pour n'importe quelle valeur du taux d'humidité de la charge, chose qui n'était pas faisable au complexe.

Pour vérifier la qualité de ce modèle, des calculs ont été réalisés et comparés à ceux du modèle, Ces calcul sont obtenus par la méthode utilisée au complexe. Les résultats sont ci-après

Tableau (III.7): comparaison avec les résultats calculés et ceux simulé.

Le tableau est constitué de trois colonnes ; une colonne contenant des valeurs issues du calcul par la méthode du complexe, la deuxième colonne contient des valeurs simulé par le modèle et une colonne qui calcul l'erreur entre les deux colonnes.

La figure (III.5): Représente les temps calcule par le modèle et la méthode de calcul.

On remarque que les courbes se confondent, ce qui montre que le modèle est fiable.

