



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M/GP/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie chimique

Thème

**ÉTUDE DU PROBLÈME DE LA BAISSÉ DE
TEMPÉRATURE DANS LA LIGNE GN AU NIVEAU DE LA
SECTION DÉSHYDRATATION DU COMPLEXE GP1/Z.**

Présenté par :

- Melle FELLOUH Houria
- Melle ELMEDDAH Hanane

Soutenu le 16/07/2019 devant le jury composé de :

Présidente :	Dr .F. BESSAHA	M.C.A -UMAB Mostaganem
Examinatrice :	Dr .K. MENAD	M.C.B - UMAB Mostaganem
Encadreur :	Dr .I. TOUMI	M.C.B - UMAB Mostaganem

Année Universitaire : 2018 / 2019



Remerciement

Au terme de ce travail, On tient à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

*Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter notre profondes gratitudes et nos sincères remerciements à Notre encadreuse **Dr I.Toumi**, pour sa précieuse aide, ces orientations et le temps qu'elle nous nous accordée pour notre encadrement.*

Nous remercions par ailleurs vivement les membres du jury de nous avoir fait l'honneur de juger notre travail et d'assister à la soutenance.

Nous adressons nos sincères remerciements à tout Les chefs service de fabrication et tous les chefs des zones pour avoir permis de nous guider dans les meilleures conditions, tout particulièrement pour tous leurs efforts, ainsi que tous les opérateurs et les ingénieurs qui nous ont aidés.

Finalement, nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.





Dédicace

A mon très cher père

Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement jusqu'à ce jour, pour son amour, Et ses encouragements. Que ce travail, soit pour vous, un faible témoignage de ma Profonde affection et tendresse. Qu'ALLAH le tout puissant te préserve, t'accorde Santé, bonheur et te protège de tout mal.

A ma très chère mère

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré D'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et Affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de M'encourager durant toutes les années de mes études. Qu'ALLAH te protéger et te Donner la santé, le bonheur et longue vie.

*A mes sœurs **Souhila, Amina, Fatima et Touta**, à mon frère **Laid** et mon nièce **rawane** qui j'aime tant Pour leur petits mots et leur soutiens*

Houria





Dédicace

A mon très cher père

Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement jusqu'à ce jour, pour son amour, Et ses encouragements. Que ce travail, soit pour vous, un faible témoignage de ma Profonde affection et tendresse. Qu'ALLAH le tout puissant te préserve, t'accorde Santé, bonheur et te protège de tout mal.

A ma très chère mère

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré D'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et Affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de M'encourager durant toutes les années de mes études. Qu'ALLAH te protéger et te Donner la santé, le bonheur et longue vie.

*A mes sœurs **Nor El Houda, Faiza, Nadia, Karima** et **Rachida** à mes frères **Amine** et **Abd Allah Kamel Eddine Abdallah** qui j'aime tant Pour leur petits mots et leur soutiens*

A mes nièces et mes neveux.

Hanane



Sommaire

Remerciement	
Dédicaces	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
INTRODUCTION GENERALE	01

CHAPITRE I : PARTIE THEORIQUE

I.1 PRESENTATION DU COMPLEXE GP1/Z	01
I.1.1 introduction	01
I.1.2 organisation du complexe	01
I.1.3 fiche technique du complexe	03
I.1.4 date de mise en production	04
I.1.5 principales installations	04
I.1.6 description du système de production	05
I.1.6.1 traitement du GPL brut	05
a) section de déshydratation	05
b) section de séparation	05
c) section de réfrigération	05
d) section d'huile chaude	06
I.1.6.2 stockage du produit finis	07
I.2 PRESENTATION DE LA SECTION DE DESHYDRATATION DE CHARGE	08
I.2.1 Introduction	08
I.2.2 cycle de régénération	08

I.2.2.1 drainage	08
I.2.2.2 dépressurisation.....	09
I.2.2.3 réchauffage	09
I.2.2.4 refroidissement.....	10
I.2.2.5 pressurisation	11
I.2.2.6 remplissage.....	12
I.3 LA SIMULATION ET LE SIMULATEUR HYSYS.....	13
I.3.1 Introduction.....	13
I.3.2 principe de fonctionnement et rôle des simulateurs.....	13
I.3.3 Les logiciels de simulation des procédés	13
I.3.4 Présentation de simulateur HYSYS.....	13
I.3.5 fonctionnement de simulateur HYSYS	14
I.4 LES ÉCHANGEURS DE CHALEUR.....	14
I.4.1 Généralités.....	14
I.4.2 les modes de transfert de chaleur	14
I.4.3 Différents types d'échangeurs de chaleur	15
I.4.3.1 Échangeur à plaque	15
I.4.3.2 Échangeur à spirale	15
I.4.3.3 Échangeur tubulaire	16
CHAPITRE II : PARTIE PRATIQUE	
II.1 PRÉSENTATION DU PROBLÈME.....	19
II.2 LES EQUIPEMENTS UTILISES ET SES CARACTÉRISTIQUES.....	19

II.3 VERIFICATION PAR SIMULATION	21
II.4. PROPOSITION 1: AUGMENTATION DE L'ÉPAISSEUR DU CALORIFUGE	23
II.5. PROPOSITION 2 : INSTALLATION D'UN ECHANGEUR DE CHALEUR	24
II.5.1 DIMENSIONNEMENT DE L'ECHANGEUR PROPOSE	24
II.5.2 détermination la chaleur spécifique de GN.....	24
II.5.3 Calcul le débit de vapeur d'eau surchauffée pour chauffer le GN.....	24
II.2.4 Détermination la quantité de chaleur échangée.....	25
II.5.5 détermination la différence de température logarithmique moyenne (DTLM).....	25
II.5.6 Calcul du coefficient h_i (coté tube du gaz).....	27
II.5.7 Calcul du coefficient h_0 (coté section annulaire de vapeur surchauffée)	27
II.5.8 calcul de coefficient d'échange global (U).....	29
II.5.9 Calcul la surface d'échangeur de chaleur (S).....	29
II.5.10 calcul de la longueur (L)	29
II.5.11 calcul de pertes de charges (DP).....	29
II.6 Simulation de l'échangeur	31
CONCLUSION	33
BIBOGRAPHIE	
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

<i>Figure I.1</i> : organisation du complexe GP1/Z	02
<i>Figure I.2</i> : Procédé de traitement du GPL.....	06
<i>Figure I.3</i> : sphères de stockage	07
<i>Figure I.4</i> : bacs de stockage.....	07
<i>Figure I.5</i> : schéma de la phase de drainage.....	08
<i>Figure I.6</i> : schéma de la phase de dépressurisation.....	09
<i>Figure I.7</i> : schéma de la phase de réchauffage.....	10
<i>Figure I.8</i> : schéma de la phase de refroidissement.....	10
<i>Figure I.9</i> : schéma de la phase de pressurisation.....	11
<i>Figure I.10</i> : schéma de la phase de remplissage.....	11
<i>Figure I.11</i> : échangeur à plaque	15
<i>Figure I.12</i> : échangeur à spirale.....	16
<i>Figure I.13</i> : échangeur coaxial.....	17
<i>Figure I.14</i> : échangeur à calandre et tube	17
<i>Figure I.15</i> : échangeur à double tubes	18

CHAPITRE II

<i>Figure II.1</i> : schéma de simulation de la ligne GN entrée de déshydrateur par HYSYS	21
<i>Figure II.2</i> : résultats de la simulation de la ligne GN.....	21
<i>Figure II.3</i> : fenêtre des conditions de GN après l'augmentation de l'épaisseur de calorifuge	23
<i>Figure II.4</i> : schéma de la simulation de deuxième solution par simulateur HYSYS.....	31
<i>Figure II.5</i> : résultats de simulation après l'installation de l'échangeur	31

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

CHAPITRE I

Tableau I.1 : symboles des départements03

Tableau I.2 : les paramètres de cycle de régénération.....12

CHAPITRE II

Tableau II.1 : Paramètres de fonctionnement de la section de déshydratation (cas actuel)20

Tableau II.2 : Comparaison des paramètres obtenus par simulation avec le cas actuel.....22

Tableau II.3: Comparaison des résultats de la première solution simulée avec le cas actuel..23

Tableau II.4 : Les chaleurs spécifiques de chaque constituant.....24

LISTE DES ABRÉVIATIONS

GPL : gaz de pétrole liquéfié

GN : gaz naturel

HP : haute pression

MP : moyen pression

BP : basse pression

SONATRACH : société national de transfère et commercialisation déshydratation



*Introduction
générale*

INTRODUCTION GENERALE

Le gaz de pétrole liquéfié connu sous le nom de GPL est obtenu à partir du pétrole brut après une distillation atmosphérique ou dans des champs de production du gaz naturel par utilisation des procédés de fractionnement, son origine est un mélange d'hydrocarbures à teneurs variables en légers .le complexe GP1/Z traite la mélange brut GPL afin de produire du propane et du butane commerciaux.

L'objet de notre étude consiste à vérifier par simulation le problème de la baisse de température rencontré au niveau de la section de déshydratation pour faire une comparaison entre les paramètres actuels pris du site et les résultats trouvé de la simulation par l'logiciel hysys. Après l'étude du problème il est nécessaire de chercher des solutions et vérifier leurs validations.

Notre démarche de travail comprend deux chapitres :

Le premier chapitre contient quatre parties la première est une description du complexe GP1/Z, après on va baser sur la section de déshydratation ou se manifeste le problème, puis on décrit la simulation et le simulateur HYSYS et à la dernière partie on termine par des notions de base sur les échangeurs de chaleurs.

Le second chapitre comprend une présentation des résultats obtenus par simulation effectués au moyen du logiciel HYSYS concernant la vérification du problème. Puis une étude de dimensionnement détaillé de l'échangeur de chaleur a double tube.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion dans laquelle les résultats trouvés sont récapitulés.



Chapitre I

Partie théorique

I.1 PRESENTATION DU COMPLEXE GP1/Z :

I.1.1 INTRODUCTION:

Le complexe GP1/Z dénommé Jumbo a été construit pour le traitement du GPL brut en provenance des différents champs situés au Sud Algérien afin de produire du propane et du butane destinés pour la consommation local et l'exportation [1].

I.1.2 ORGANISATION DU COMPLEXE :

La description des structures nous permet de connaître la situation géographique, l'effectif, les objectifs et le rôle de chaque département ainsi de connaître tout le fonctionnement du complexe GP1/Z.

Le complexe GP1/Z est géré suivant un organigramme bien déterminé de façon a bien maîtrisé les taches, il est composé d'une direction général et deux sous direction et des départements de contrôle, [1] comme le montre l'organigramme suivant qui nous renseigne sur le fonctionnement du complexe dans la figure I.1

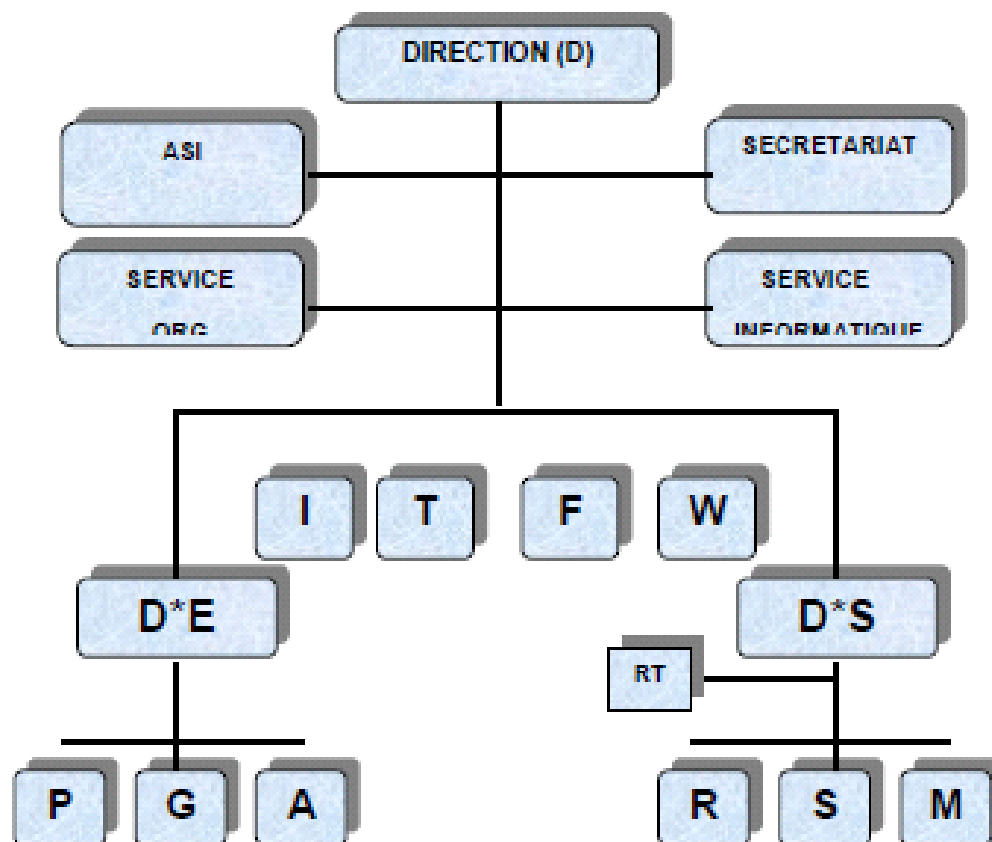


Figure I.1 : Organisation du complexe GP1/Z

Les symboles sont présentés dans le tableau I.1 suivant :

Tableau I.1 : Symboles des départements.

SYMBOLES	DEPARTEMENT	SYMBOLES	DEPARTEMENT
D	La Direction	ORG	Organisation
I	Département Sécurité	T	Département Technique
F	Département Finance	W	Département Travaux neufs
D*E	Département Exploitation	D*S	Sous Direction du personnel
P	Département Production	RT	Relation de Travail
G	Département Maintenance	R	Dpt Ressources Humaines
A	Département Approvisionnement	S	Administration et social
M	Dpt moyens généraux	ASI	Assistance sûreté interne

I.1.3 FICHE TECHNIQUE DU COMPLEXE GP1/Z :

Le complexe a pour mission la production du GPL (Propane et Butane) commerciaux destinée aussi bien au marché national qu'au marché international.

Localisation : Le complexe GP1/Z est situé à Mers El-Hadjadj à 40 Km à l'Est d'Oran.

Superficie : Le complexe GP1/Z s'étend sur une superficie de 120 hectares.

Objet : Séparation du GPL en propane et butane.

Procédé utilisé : Distillation sous pression.

Nombre de trains (9 trains) : (Phase I : 4), (Phase II : 2) et (phase III : 3).

Constructeur : Consortium japonais IHI-ITOCHU. [1]

I.1.4 DATE DE MISE EN PRODUCTION :

La mise en production du 1^{er} train (phase I) : 12 Décembre 1983.

La mise en production du 1^{ème} train (phase II) : 24 Février 1998.

La mise en production du 1^{ème} train (phase III) : Février 2010.

Capacité de production : 10 Millions de tonnes par an.

Destination de la production : Exportation et marché national.

Source d'Approvisionnement : GPL en provenance des champs gaziers et pétroliers de Hassi R'Mel et Hassi Messaoud [1].

I.1.5 PRINCIPALES INSTALLATIONS DU COMPLEXE GP1/Z :

Les principales installations du complexe GP1/Z sont :

- 22 sphères de stockage de la charge d'alimentation de 1000m³ chacune.
- 9 trains de traitement du GPL.
- 2 unités de reliquéfaction des boil-off.
- 1 station électrique alimentée par SONALGAZ.
- 4 générateurs de secours pour assurer l'électricité en cas de coupure de courant.
- 4 bacs de stockage de propane à basse température.
- 4 bacs de stockage de butane à basse température.
- 4 sphères de stockage de produit ambiant (propane, butane).
- 1 sphère de stockage de pentane.
- 5 salles de contrôle.
- Une station de pomperie eau de mer pour le réseau eau incendie.
- 2 quais de chargement (jetées D1 et M6).
- 1 rampe pour chargement camions.
- Système de télésurveillance.
- Bâtiment administratif.
- Laboratoire d'analyses et de contrôle.
- Atelier de maintenance.
- Magasin approvisionnement. [1]

I.1.6 DESCRIPTION DU SYSTEME DE PRODUCTION :

Une fois le GPL introduit dans le train, il passe par le traitement puis le stockage

I.1.6.1 Traitement du GPL brut :

Le GPL venant de l'extérieur est stocké dans 22 réservoirs sphériques dans la section de stockage de la charge, ensuite le GPL brut est acheminé vers les 9 trains identiques installés en parallèle. Chaque train est conçu de manière à produire 10.800.000 de tonnes/an et comprend les sections suivantes : [2]

a) Section de déshydratation:

Cette Section permet d'éliminer l'eau contenue dans le GPL d'alimentation en utilisant des tamis moléculaires qui adsorbent les molécules d'eau afin d'éviter tout givrage dans la Section de réfrigération [3].

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

b) section de séparation :

Après avoir été préchauffé à la limite de la décomposition physique par quatre échangeurs de chaleur, le GPL séché est envoyé dans une colonne de fractionnement où la séparation s'opère.

Le mélange propane-éthane remonte en tête de la colonne, puis envoyé par une pompe vers le dééthaniseur afin de réduire sa teneur en éthane. Le gaz riche en éthane émanant de la partie supérieure de la colonne de dééthanisation est utilisé comme combustible du four. Le propane sortant de la partie inférieure du dééthaniseur est canalisé vers la section réfrigération. Le produit de fond du fractionnateur est envoyé vers le dépentaniseur commun à l'ensemble des trains, afin de réduire sa teneur en pentane.

Le butane sortant de la tête de dépentaniseur, est envoyé à la section de réfrigération. Le pentane recueilli du fond du dépentaniseur sera refroidi par aéroréfrigérant et est envoyé vers le stockage ambiant [4].

c) section de réfrigération:

Le propane et le butane provenant de la section de séparation sont refroidis à des températures correspondantes à leur point de saturation liquide soit (- 40 °C) pour le propane

et (-5 °C) pour le butane. Ils sont ensuite canalisés vers les bacs de stockage à basse température.

Le refroidissement se fait par l'intermédiaire de trois chillers pour le propane et trois chillers pour le butane suivant un cycle fermé formant une boucle de réfrigération au propane pur (agent réfrigérant) fonctionnant sous trois stades de pression distinctes HP, MP et BP. Les vapeurs issues de l'évaporation du propane pur au niveau des trois stades de réfrigération sont collectées dans les trois ballons d'aspiration où elles sont aspirées par un compresseur centrifuge à trois étages entraîné par une turbine à gaz, pour être ensuite condensées dans les aérocondenseurs [4].

d) section d'huile chaude:

Le circuit du fluide forme une boucle fermée, comprenant un ballon d'expansion, une pompe de circulation et un four. Le fluide caloporteur circule en provenant du four vers les différents consommateurs de calories. La figure I.2 montre le procédé de traitement du GPL [1].

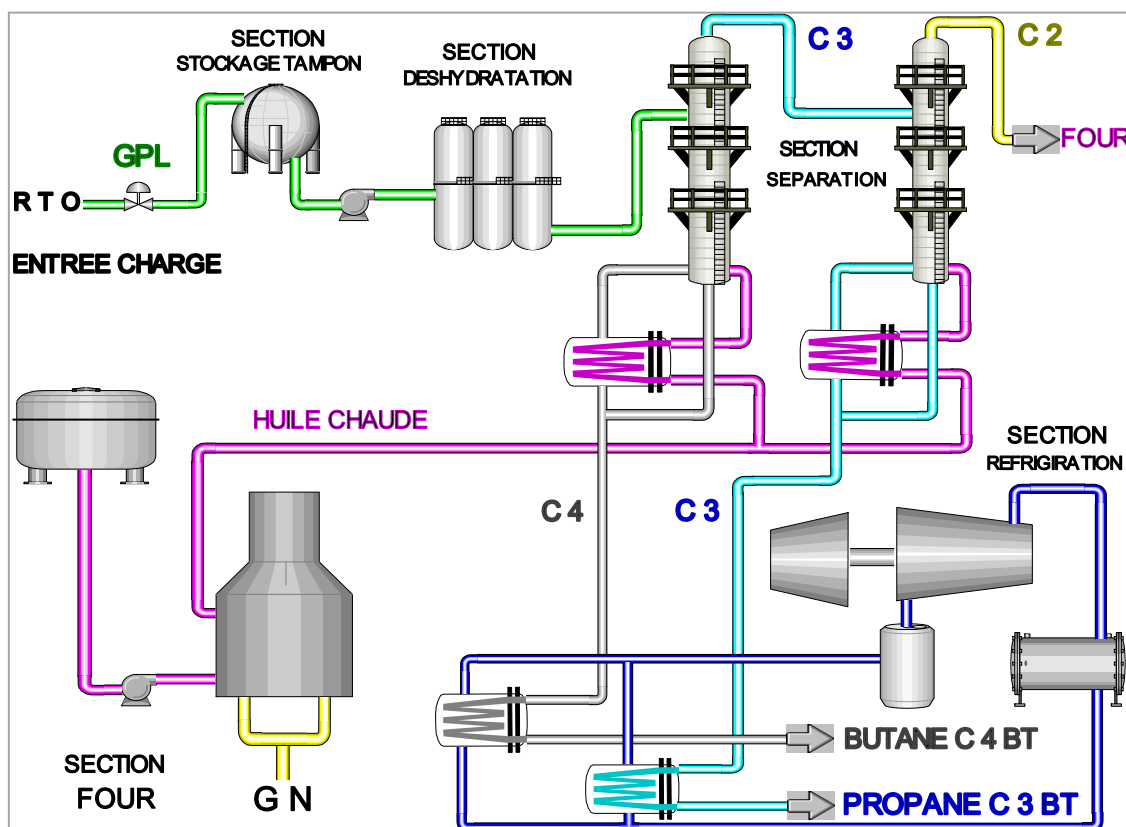


Figure I.2 : Procédé de traitement du GPL.

I.1.6.2 Stockage des produits finis :

Après le traitement, le GPL est envoyé vers le stockage, il existe deux types de stockage

a) Stockage à température ambiante:

Prévu pour la commercialisation du gaz à l'échelle nationale ; le chargement camions se fait à partir des 4 sphères ayant une capacité de 500 m³ chacune dans lesquelles sont stockés le propane et le butane sous pression [5] présenté dans la figure I.3 ; [5]



Figure I.3 Sphères de stockage.

b) Stockage à basses températures:

Les gaz réfrigérés sont véhiculés aux bacs où ils seront stockés dans les conditions de basse température sachant que la capacité de chacun est 70.000 m³ et sont munis de pompes immergées pour la circulation du gaz et le chargement navires présenté sur la figure I.4 ;[5].



Figure I.4 bacs de stockage.

I.2 PRÉSENTATION DE LA SECTION DÉSHYDRATATION DE CHARGE

I.2.1 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 ligne pour l'adsorption, une deuxième en régénération, tandis que la troisième est en réserve.

La durée d'adsorption est de 36 heures, à l'expiration de ce temps, la colonne en réserve est mise en ligne, et la colonne qui était en service passe en régénération. A ce moment-là, la troisième colonne a achevé son cycle de régénération et passe en réserve. Pendant l'adsorption, l'écoulement à travers la colonne se fait du bas vers le haut. Il faut aussi noter que la section déshydratation de la charge peut travailler sur seulement deux adsorbants, si bien qu'une colonne peut être révisée, pendant que les deux autres assurent le séchage de la charge.

Le fonctionnement de la section déshydratation de l'alimentation est en continu, automatique et en séquence sous la commande d'un programmeur, le contrôleur matriciel du cycle [2].

I.2.2 LE CYCLE DE REGENERATION:

Il est composé de plusieurs séquences : drainage, dépressurisation, chauffage, refroidissement, pressurisation et remplissage [2].

a) Drainage :

La séquence de régénération commence avec le drainage du GPL restant dans la colonne d'adsorption. Le GPL est évacué vers les sphères de stockage sous la pression du gaz naturel (20 Kg / cm²) introduit en haut de la colonne. Le temps prévu pour le drainage est d'environ 1 heure. Présenté sure la figure I.5

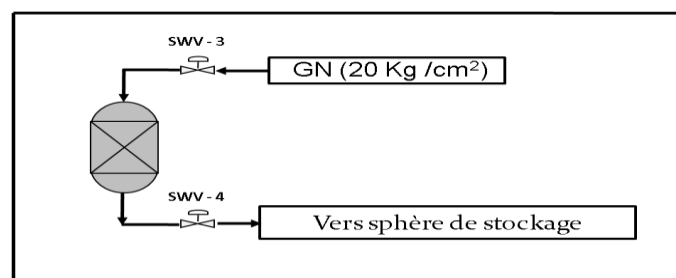


Figure I.5 : schéma de la phase de drainage.

b) Dépressurisation :

Après drainage complet de la colonne d'adsorption, la pression est de 20 Kg / cm²eff. Avant de pouvoir commencer le cycle de chauffage, il faut que cette pression soit réduite à 3,5 Kg / cm²eff, en évacuant le gaz naturel vers fuel gaz. La dépressurisation demande environ une demi-heure et présenté sur la figure I.6

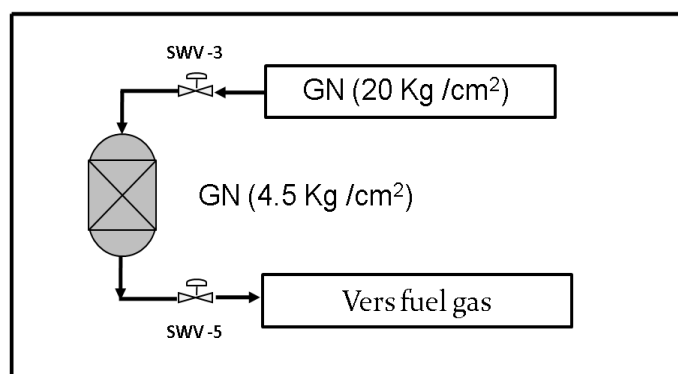


Figure I.6 : schéma de la phase de dépressurisation.

c) Réchauffage :

La séquence de réchauffage représente l'opération principale de la séquence de régénération, puisque l'eau adsorbée est complètement chassée des tamis moléculaires pendant cette opération. Le lit du tamis moléculaire est chauffé du haut vers le bas, en se servant du gaz naturel chaud, qui a été porté à 280°C dans le four de fluide caloporteur. Pour lancer la séquence de chauffage, on ouvre les vannes 8 ; 6 et 10A. Le contrôleur du débit dans la canalisation du gaz chaud introduit un débit constant de gaz dans le lit, qui s'échauffe lentement, pour chasser l'eau entraînée.

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

Le gaz refroidi passe en tête vers le réseau de fuel gaz. Le condensat d'hydrocarbure qui se forme éventuellement au-dessus du niveau de l'eau libre est envoyé sous contrôle de niveau vers le réseau de purge. Le gaz refroidi peut aussi être envoyé directement à la torche, sous contrôle de pression. La période de chauffage demande 11 heures, ensuite le cycle est arrêté par le

programmateur et par WS-1 qui signale que le fond du lit a atteint sa température de régénération de 280°C et présenté sur la figure I.7

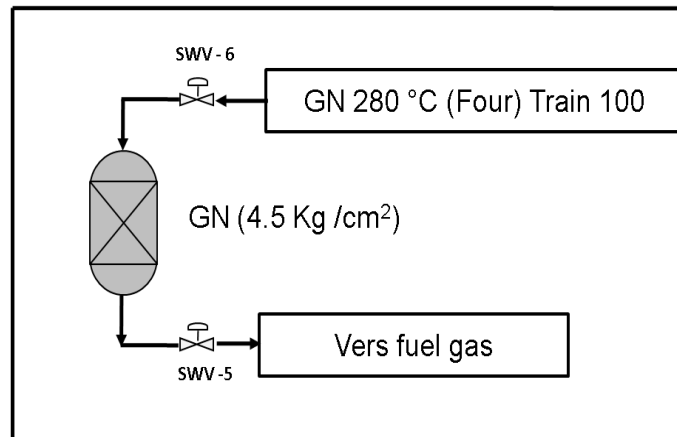


Figure I.7 : schéma de la phase de réchauffage.

d) Refroidissement :

Après la fin du cycle de chauffage, il faut refroidir le lit de régénération. Le refroidissement du lit se fait du bas vers le haut. On se sert de 2258 Kg / h de gaz naturel froid à 12,7 °C pour le cycle de refroidissement. Le gaz sortant du haut du déshydrateur est dirigé vers fuel gas dans la figure I.8

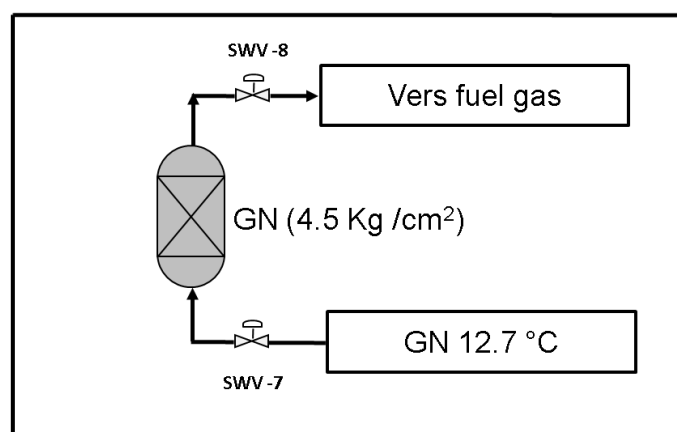


Figure I.8 : schéma de la phase de refroidissement.

e) Pressurisation :

Avant de pouvoir réintroduire du GPL liquide dans le déshydrateur, le déshydrateur doit être remis sous pression par du gaz naturel (20 Kg/cm²eff) pour éviter une détente du propane. Ainsi une perte du produit. L'opération de remise sous pression dure environ une demi-heure et présenté sur la figure I.9.

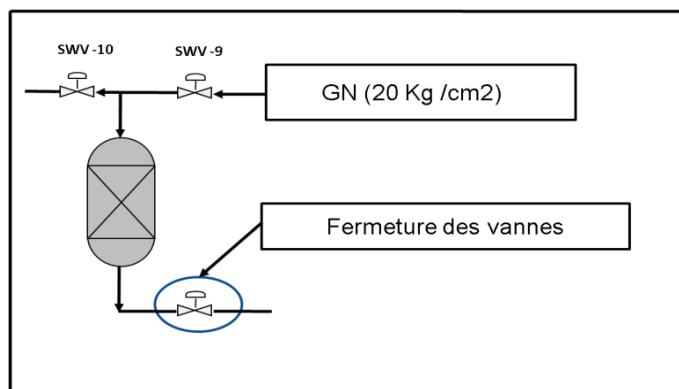


Figure I.9 : schéma de la phase de pressurisation

f) Remplissage :

Après la remise sous pression, le GPL liquide peut être réintroduit dans le déshydrateur, sans risque de détente. Au fur et à mesure que le propane remonte la colonne, le gaz naturel est refoulé vers fuel gas, cette opération demande environ une heure. Le lit est à présent prêt pour un nouveau cycle adsorption régénération dans la figure I.10.

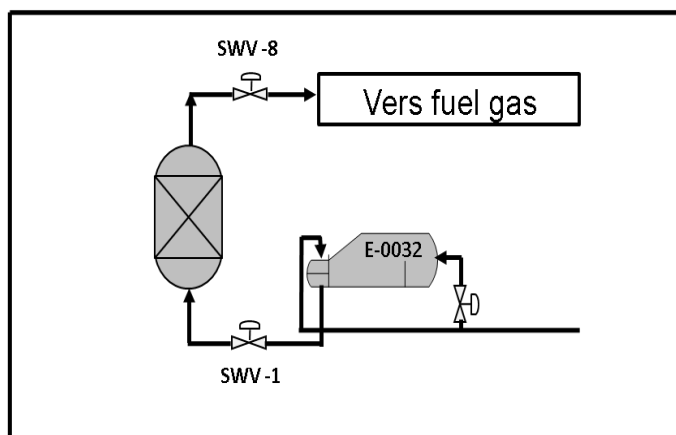


Figure I.10 : schéma de la phase de remplissage

Le tableau suivant englobe les paramètres de température, de pression et de temps pour le cycle de régénération dans le tableau I.2 suivant :

Tableau I.2 : les paramètres de cycle de régénération.

Etapes	Temps (H)	P (bar) (Kg/cm²)	T (°C)
Drainage	1	20	30
Dépressurisation	0,5	3,5	30
Réchauffage	11	3,5	280
Refroidissement	5	3,5	12,7
Pressurisation	0,5	20	45
remplissage	1	30	30

I.3 LA SIMULATION ET LE SIMULATEUR HYSYS :

I.3.1 INTRODUCTION :

En général la simulation est un outil utilisé dans les différents domaines de l'ingénierie et de la recherche. Elle permet d'analyser le comportement d'un système avant de l'implanter et d'optimiser son fonctionnement en testant différentes solutions et conditions opératoires [6].

I.3.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET RÔLE DES SIMILATEURS :

La simulation permet de représenter par des modèles mathématiques les différents phénomènes de transfert de masse, d'énergie et de quantité de mouvement qui se produisent dans les différentes opérations unitaires.

Le simulateur peut être utilisé lors de la conception d'un procédé industriel afin de:

- Établir des bilans de matière et d'énergie d'un procédé industriel.
- Dimensionner les équipements de ce procédé.
- Etre informé sur l'influence d'un paramètre donné sur le bon déroulement d'un procédé ou partie du procédé.

Ou bien dans le suivi des procédés qui sont déjà installés afin de :

- Réajuster les paramètres de fonctionnement dans le cas de changement de compositions de l'alimentation ou des conditions de fonctionnement de certains équipements.
- Déterminer les performances des équipements [6].

I.3.3 LES LOGICIELS DE SIMULATION DES PROCEDES :

Il existe un très grand nombre de logiciels de simulation des procédés chimiques sur le marché. Parmi les plus utilisés au niveau mondial, on peut citer : ASPEN, CHEMCAD, DESIGN II, HYSYS, IDEAS, INDISS, PROSIM, PROII, SIM42 [6].

Pour la suite nous avons utilisé le logiciel HYSYS pour l'étude de notre.

I.3.4 PRESENTATION DE SIMULATEUR HYSYS :

Le simulateur HYSYS est un ensemble de modèles mathématiques des opérations unitaires nécessitant certains appareils spécifiques (ballons, compresseurs, colonnes de distillation, échangeurs de chaleur, etc.). Ces opérations sont connectées dans un schéma de procédé PFD par le courant d'informations généré dans ces opérations.

Donc, le logiciel n'est rien d'autre qu'un programme informatique destiné à la simulation des procédés de l'industrie de gaz, des procédés de raffinages et de la pétrochimie.

I.3.5 FONCTIONNEMENT DE SIMULATEUR HYSYS :

Pour que le logiciel HYSYS puisse résoudre le schéma de procédé et/ ou même dimensionner quelques équipements de ce procédé, l'utilisateur doit au préalable :

- Spécifier les constituants du gaz, du liquide ou du mélange.
- Choisir un modèle thermodynamique convenable.
- Etablir le schéma PFD de la section d'étude.
- Spécifier les paramètres nécessaires pour le calcul de chaque opération unitaire.

La réussite de la simulation dépend du choix du modèle thermodynamique, parce que ce dernier est établi pour une classe de fluides et un domaine de conditions de pression et de température recommandé [6].

I.4 LES ÉCHANGEURS DE CHALEUR :

I.4.1 GÉNÉRALITÉS :

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant de transférer la chaleur entre un ou plusieurs fluides ayant une température différente. Généralement, le transfert de chaleur se fait par l'intermédiaire d'une paroi solide sans que les fluides ne se mélangent. De nombreuses applications nécessitent l'utilisation d'un échangeur de chaleur, par exemple le radiateur d'une automobile, un condenseur, un évaporateur, etc [7].

I.4.2 LES MODES DE TRANSFERT DE CHALEUR :

L'échange de chaleur se produit toujours par convection : plus la surface d'échange est grande plus l'échange est performant. Il existe trois types d'échangeurs de chaleur principaux :

- À co-courants (ou échangeur anti-méthodique) : les deux fluides circulent parallèlement et dans le même sens. Dans un échangeur anti-méthodique la température de sortie du fluide froid est nécessairement moins élevée que la température de sortie du fluide chaud
- À contre-courant (on parle aussi de l'échangeur méthodique) : les deux fluides circulent parallèlement mais dans les sens opposés. Dans un échangeur méthodique, le coefficient d'échange est sensiblement supérieur à celui d'un échangeur anti-méthodique et la température de sortie du fluide froid peut être plus élevée que la température de sortie du fluide chaud.
- À courants croisés : les deux fluides circulent dans des directions plus ou moins perpendiculaires.

I.4.3 DIFFERENTS TYPES D'ÉCHANGEURS DE CHALEUR :

Il n'y a pratiquement pas une seule branche de la technique qui ne soit plus ou moins intéressée par la nécessité du transfert de chaleur. On reconnaît, pour ce but, trois types classiques des échangeurs de chaleur :

I.4.3.1 Échangeur à plaque :

Destiné à l'origine pour l'industrie laitière, puis ayant connu un développement en raison de leurs performances thermiques appréciables, on les trouve aujourd'hui dans divers secteurs de l'industrie.

Il est constitué par un empilement de plaques métalliques embouties qui servent de surfaces d'échanges à deux fluides. Les plaques sont positionnées dans un bâti constitué par un flasque fixe et un autre mobile sont serrées entre elles au moyen de tirants latéraux. Dans d'autres configurations, les plaques peuvent aussi être brasées ou soudées entre elles.

Le domaine d'application des échangeurs à plaques est limité par la tenue des joints. On admet cependant, comme marges d'utilisation 0 à 250°C en température et une pression voisine de 20 bars.

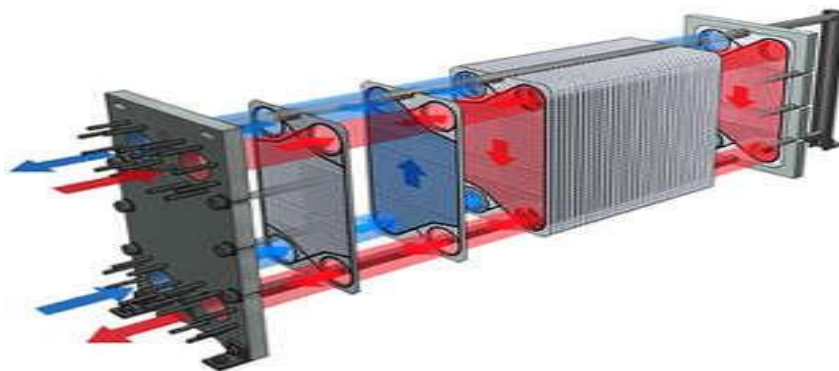


Figure I.11 : Échangeur à plaque.

I.4.3.2 Échangeur à spirale :

Généralement constitué de deux ou quatre bandes de tôle enroulées et maintenues parallèles (par des taquets soudés sur les plaques) autour d'un collecteur central cylindrique, il est compact (jusqu'à 150m² par m³). Les tôles sont soudées bord à bord de chaque côté du cylindre pour assurer l'étanchéité inter-circuit.

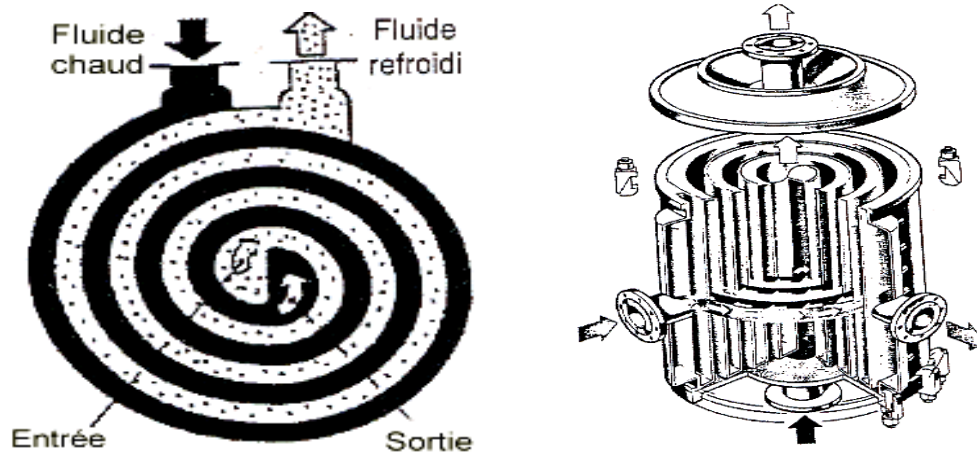


Figure I.12 : Échangeur à spirale.

I.4.3.3 Échangeur tubulaire :

C'est le type le plus utilisé dans le secteur de l'industriel, est connu aussi sous le nom d'échangeur à calandre et tube. Echangeur tubulaire est un appareil thermique dans lequel circulent deux fluides (généralement liquides) qui échangent de la chaleur (tout en changeant de phase dans certain cas : évaporation ou condensation). Il existe trois types d'échangeur tubulaire :

- Échangeur coaxial :

C'est le plus simple des échangeurs à deux fluides séparés. Il se compose de deux tubes coaxiaux. Le premier fluide circule dans le tube intérieur, le second circule dans l'espace annulaire formé par les deux tubes. L'inconvénient de ce type d'échangeur est qu'il devient très encombrant.

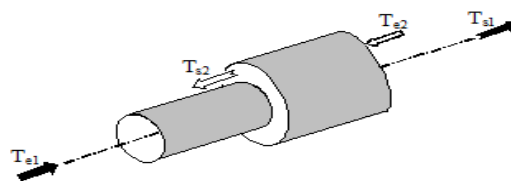


Figure I.13 Echangeur coaxial.

- **Échangeur de changeur à calandre et tubes :**

Un faisceau de tubes est inséré dans une calandre pour permettre l'échange de chaleur entre le fluide circulant à l'intérieur des tubes et celui circulant dans la calandre. Ici le problème d'encombrement est minimisé car la surface d'échange peut aller jusqu'à 300m^2 , ce qui en fait un échangeur compact et très utilisé par l'industrie.

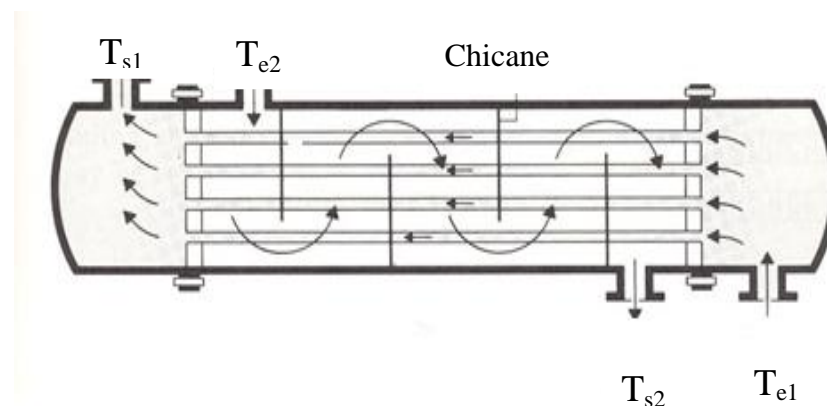


Figure I.14 Echangeur à calandre et tubes.

- **Échangeurs à double tubes :**

Les échangeurs de chaleur tubulaires à doubles tubes consistent généralement en deux tuyaux concentriques dont le tuyau interne peut être sans ou avec ailettes. La figure 4.2 montre un schéma de cet échangeur. Un fluide circule dans le tuyau intérieur et l'autre fluide dans l'espace entre les deux tuyaux dans la direction contraire pour une plus haute performance par unité de surface de contact.

C'est probablement le plus simple des échangeurs envisageables. La distribution des écoulements est simple et le nettoyage peut facilement être fait en désassemblant l'échangeur. C'est également un excellent échangeur si un ou les deux fluides sont à haute pression, car le coût des tuyaux est beaucoup moindre qu'un réservoir ayant un grand diamètre. Ces échangeurs sont généralement utilisés pour de petites applications ayant une surface d'échange de chaleur est moins de 50 m^2 , car leur coût par unité de surface est élevé.

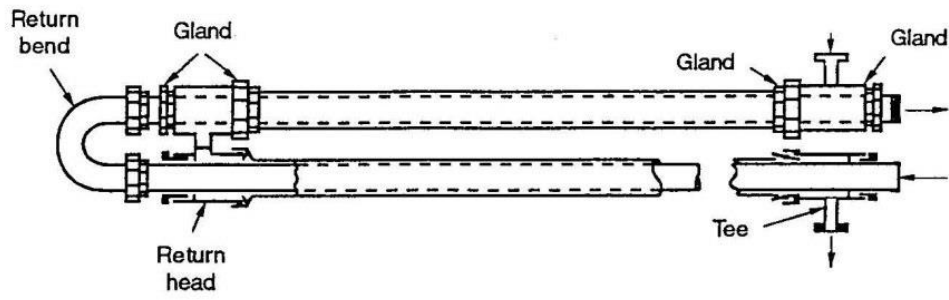


Figure I.15 : Échangeur à double tubes.



Chapitre II

Partie pratique

II.1 PRESENTATION DU PROBLEME :

Dans la séquence de réchauffage comme nous avons détaillé précédemment dans le chapitre 1, le gaz naturel chaud, qui sort du four à une température de 280°C doit être porté à la même température vers le déshydrateur pour évaporer l'eau contenu dans ces tamis moléculaires. Malheureusement, ce n'est pas du tout le cas sur le site, nous avons remarqué que cette température ne dépasse pas 266°C.

Cette baisse dans la température pose vraiment un problème dans la section de déshydratation et conduit par la suite à la formation des givres au niveau de la section de réfrigération, ce qui influe par la suite sur tout le procédé.

II.2 LES ÉQUIPEMENTS UTILISÉS ET SES CARACTÉRISTIQUES :

Pour effectuer nos calculs de simulation, nous avons collecté le maximum des données concernant les principaux équipements tels que :

- a) **Pipe** : C'est un corps cylindrique creux en métal avec un diamètre interne de 102.26 mm, diamètre externe de 114,3mm, épaisseur du calorifuge 100 mm et de type d'isolant « Fiberglass block » (annexe 1 jusqu'à 9)
- b) **Four** : Le four est composé de 02 cellules à 15 brûleurs. Il contient un tank, un ballon d'expansion et 02 pompes. Le GN vient de la zone utilité entre dans le four pour être chauffé jusqu'à une température de 280°C, afin d'être utilisé dans la phase régénération de la section déshydratation [8] .
- c) **Déshydrateur** : est une colonne d'adsorption à tamis moléculaires permet de déshydrater, sécher et adsorber l'eau dissoute contenu dans le gaz.

Les principaux paramètres de fonctionnement et la composition de GN utilisés lors de cette étude sont indiqués dans le tableau I.1.

Tableau II.1: paramètres de fonctionnement de la section déshydratation (cas actuel)

Paramètres	Valeurs
Température (°C)	A l'entrée : 280
	A la sortie : 266
Pression (kg/cm ²)	3,5
Débit (kg/h)	1688
Composition	Molaire%
N ₂	5,8
H _E	0,19
CO ₂	0,21
C ₁	83
C ₂	7,10
C ₃	2,25
nC ₄	0,4
iC ₄	0,6
nC ₅	0,12
iC ₅	0,15
C ₆	0,18

II.3 VERIFICATION PAR SIMULATION :

Nous avons commencé notre travail par une vérification par le simulateur HYSYS on utilise les paramètres actuels du site.

Le schéma de la ligne de GN concerné simulé par l’logiciel HYSYS à donné le PDF et le flowsheet présentés sur les figures II.1 et II .2 .



Figure II.1 : Schéma de simulation de la ligne GN à l’entrée de déshydrateur par HYSYS.

Worksheet	
Stream Name	SORTIE GN
Vapour / Phase Fraction	1.00000
Temperature [C]	268.62
Pressure [bar]	2.8049
Molar Flow [kgmole/h]	88.400
Mass Flow [kg/h]	1688.0
Liquid Volume Flow [m3/h]	4.966
Molar Enthalpy [kcal/kgmole]	-1.487e+004
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	205.29
Heat Flow [kcal/h]	-1.3149e+06
Std Liq Vol Flow [m3/h]	<empty>

Figure II.2 : Résultats de la simulation de la ligne GN.

❖ **Comparaison des résultats de simulation avec le cas actuel :**

Les valeurs de simulation obtenues sont comparées avec les données de fonctionnement actuelles, les principaux paramètres sont indiqués dans le tableau II.2

Tableau II. 2: Comparaison des paramètres obtenus par la simulation avec le cas actuel

Paramètre	Donnés Actuel		Résultats trouvé par Simulation (HYSYS)	
Débit (kg/h)	1688		1688	
Température (°C)	Entrée	280	Entrée	280
	Sortie	266	Sortie	268.62
Pression (bar)	3,5		2,8	

❖ **Interprétation des résultats :**

La comparaison entre les paramètres actuels observés sur le site avec ceux trouvés par la simulation sont très proche ce qui confirme la baisse de température de sortie. Ce problème nous pousse à trouvé des solutions convenable pour augmenter la température.

II.4 PROPOSITION 1: AUGMENTATION DE L'ÉPAISSEUR DU CALORIFUGE

Cette solution proposée consiste à faire modifier un des paramètres les plus important dans le pipe. Augmenter l'épaisseur du calorifuge de 100 mm à 130mm et voir son influence sur la température de sortie est le but dans cette partie.

Les résultats trouvés par le simulateur HYSYS après le changement de l'épaisseur de 100 à 130 mm, sont présentés dans la figure (II.3).

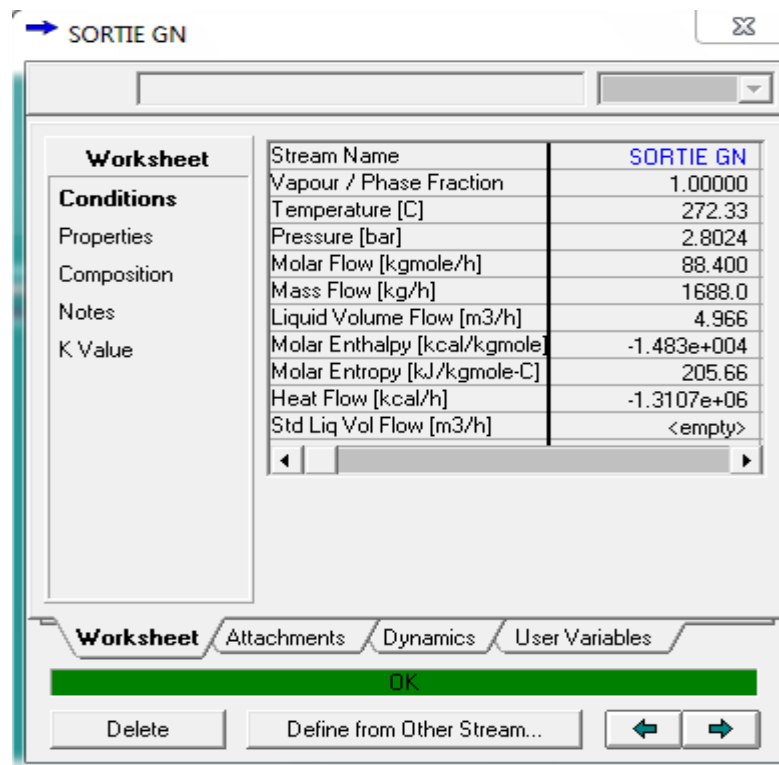


Figure II.3 : Fenêtre des conditions de GN après l’augmentation de l’épaisseur du Calorifuge.

Le tableau II.3 récapitule les paramètres actuels et les paramètres trouvés par simulateur HYSYS après l’augmentation de l’épaisseur du calorifuge dans la pipe :

Tableau II.3 : Comparaison des résultats de la première solution simulée avec le cas actuel

Paramètre	Cas Actuel	Simulateur HYSYS
Épaisseur (mm)	100	130
Température (°C)	266	272,33
Pression (kg/cm ²)	3,5	2,58
Débit (kg/h)	1688	1688

❖ **Interprétation des résultats :**

D'après les données de sortie de pipe qu'on a obtenus par le simulateur HYSYS, on remarque que plus on augmente l'épaisseur de la calorifuge la température de sortie augmente mais cette augmentation est insuffisante puis qu'on n'atteint pas la température désiré.

II.5 PROPOSITION 2 : INSTALLATION D'UN ECHANGEUR DE CHALEURE**A DOUBLE TUBE**

Cette fois ci on va essayer d'installer un échangeur de chaleur à double tubes dans la ligne GN pour augmenter la température et régler le problème. Dans ce type d'échangeur proposé, un faisceau de tubes est inséré dans une calandre pour permettre l'échange de chaleur, dans notre cas on a choisi la vapeur d'eau surchauffée (dans le coté calandre) grâce à sa disponibilité, son faible coût et sa capacité de réchauffement à des hautes températures (jusqu'au 350°C).

Les paramètres de la vapeur d'eau surchauffée utilisés pour les calculs sont regroupés dans l'annexe(10).

II.5.1 DETERMINATION LA CHALEUR SPECIFIQUE DE GN

$$C_p(T) = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad \text{II.1 (annexe11)}$$

$$T_m = (T_s + T_e) / 2$$

$$T_m = 280 + 266 / 2 = 273^\circ\text{C} = 546 \text{ K}$$

Y_i : fraction molaire des constituants.

T_m : température moyenne de .

$$T_1 = 266^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 280^\circ\text{C}$$

a,b,c,d : les Constantes relatives de la capacité calorifique.

Tableau II.4 : les chaleurs spécifiques de chaque constituant.

COMPOSITION	Cp (kJ/Kmol.k)	Yi
N ₂	29,9836	0,058
H ₂	29,1155	0,0019
CO ₂	45,6949	0,0012
C ₁	49,3120	0,83
C ₂	83,2826	0,071
C ₃	120,6833	0,0225
nC ₄	157,8215	0,006
IC ₄	158,7499	0,004
nC ₅	194,7485	0,0015
IC ₅	176,063	0,0012
C ₆	231,4192	0,0018

La masse molaire de GN = 19.92 kg/kmol

$$\sum CP \cdot Y_i = 53.63 \text{ kJ /kmol.k} = 2.691 \text{ kJ/kg.k}$$

II.5.2 Calcul le débit de vapeur d'eau surchauffée pour chauffer le GN

A partir la formule suivante :

$$M_g CP_g (T_s - T_e) = M_v C_{pv} (T_e - T_s) \quad (\text{II.2})$$

M_g : le débit du gaz naturel GN.

M_v : débit de vapeur surchauffée.

C_g : la capacité calorifique de GN.

C_v : la capacité calorifique de vapeur surchauffée.

C_v = 5.6989 kJ/kg.K a la température calorifique moyenne = 297 °C (voir annexe 10).

$$M_v = \frac{M_g \cdot C_p(g) \cdot (T_s - T_e)}{C_p(v) \cdot (T_e - T_s)}$$

$$M_v = 1860.377 \text{ kg.h}^{-1}.$$

II.5.3 Détermination la quantité de chaleur échangée

La quantité de chaleur est déterminée d'après le bilan thermique suivant :

$$Q = M(v) \cdot C_p(v) \cdot (T_e - T_s) = M(g) \cdot C_p(g) \cdot (T_s - T_e) \quad (\text{II.3})$$

$$Q = 1688.2, 691 (280 - 266)$$

$$Q = 63612,6176 \text{ kJ.h}^{-1}.$$

II.5.4 détermination la différence de température logarithmique moyenne (DTLM)

$$DTLM = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \right)} \quad (\text{II.4})$$

Pour la vapeur surchauffée $T_1 = 300 \text{ °C}$; $T_2 = 294 \text{ °C}$

Pour le GN $t_1 = 266 \text{ °C}$; $t_2 = 280 \text{ °C}$

-courant parallèle

$$\Delta t_1 = T_1 - t_1 \quad ; \quad \Delta t_2 = T_2 - t_2$$

$$\Delta t_1 = 300 - 266 \quad ; \quad \Delta t_2 = 294 - 280$$

- $DTLM = 22.540 \text{ °C}$.

- contre-courant

$$\Delta t_1 = T_1 - t_2 \quad ; \quad \Delta t_2 = T_2 - t_1$$

$$\Delta t_1 = 300 - 280 \quad ; \quad \Delta t_2 = 294 - 266$$

- $DTLM = 23,77 \text{ °C}$.

Alors on prend la DTLM la plus grand, donc l'écoulements est à contre-courant.

On va proposer pour chauffer le GN ce température de 266 °C à 280 °C par un échangeur double tube de type : 6-by 4inch I.P.S.

D'après l'annexe (13) on détermine les diamètres d'échangeur qu'on a choisi (6-by 4 inch I.P.S.).

$d_1 = 102.23 \text{ mm}$ (diamètre interne du tube interne)

$d_2 = 114.3 \text{ mm}$ (diamètre externe du tube interne)

$D = 154,1 \text{ mm}$ (diamètre interne du tube externe)

II.5.6 calcul du coefficient h_i (cote tube du gaz)

- **La section de passage (A_g)**

$$A_g = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2$$

$$A_g = \frac{\pi}{4} \cdot (102.26 \cdot 10^{-3})^2$$

$$A_g = 0.0082 \text{ m}^2$$

- **La vitesse massique (G_g)**

$$G_g = \frac{Mg}{A_g}$$

$$G_g = \frac{1688}{0.0082}$$

$$G_g = 205853.65 \text{ kg.h}^{-1}$$

- le nombre de Reynold (Re)

$$Re = \frac{d1.Gg}{\mu g} \quad \mu g = 0,0188 \text{ Cp}$$

$$\text{Donc :} \quad Re = \frac{d1.Gg}{\mu g} \rightarrow \frac{102,26.10^{-3} \cdot 205853,65}{0,0188.10^{-3} \cdot 3600}$$

$$Re = 311031,2389$$

Re > 10000, donc le régime est turbulent

- Le nombre de j_h

$$j_h = 0,027 \cdot (Re)^{0,8}$$

$$j_h = 0,027 \cdot (311031,2389)^{0,8}$$

$$j_h = 669,278$$

- Le nombre de j_H

$$j_H = \frac{j_h}{Re}$$

$$j_H = 0,0021$$

- Le nombre de Prandtl (P_r)

$$P_r = \frac{Cp(g) \cdot \mu g}{\lambda g} \rightarrow = \frac{0,0188.10^{-3} \cdot 2,691}{0,4566 \cdot 3600} = 3,989$$

$$\lambda g = 4,2689 \cdot 10^{-2} \text{ btu.ft.f.hr}$$

$$\lambda g = 0,4566 \frac{\text{kJ}}{\text{m.h.K}}$$

$C_p(g)$: la chaleur spécifique du GN.

λg : La conductivité thermique du GN.

Alors pour le coefficient de transfert interne

$$h_i = j_H \cdot C_p \cdot G_g \cdot (P_r)^{-2/3}$$

$$h_i = 0,0021 \cdot 2,8017 \cdot 205853,66 \cdot (3,989)^{-2/3}$$

$$h_i = 462,62 \text{ kJ.h}^{-1}\text{m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

II.5.7 calcul du coefficient h_0 (cote section annulaire de vapeur d'eau surchauffée)

- Diamètre équivalent (D_{eq})

$$D_{eq} = \frac{(D1)^2 - (D2)^2}{D2}$$

$$D_{eq} = \frac{(154,1 \cdot 10^{-3})^2 - (114,3 \cdot 10^{-3})^2}{114,3 \cdot 10^{-3}}$$

$$D_{eq} = 0,0934 \text{ m}$$

- La section de passage (A_e)

$$A_e = \frac{\pi}{4} \cdot (D)^2 - (d_2)^2$$

$$A_e = \frac{\pi}{4} \cdot (154,1 \cdot 10^{-3})^2 - (114,3 \cdot 10^{-3})^2$$

$$A_e = 8,38 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

- **La vitesse massique (G_v)**

$$G_v = \frac{Wv}{Av}$$

$$G_v = \frac{1860,377}{8,380 \cdot 10^{-3}} = 222002,0286 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

- **Le nombre Reynolds**

$$Re = \frac{Gv \cdot Deq}{\mu v}$$

$$\mu v = 0,000020 \quad (\text{annexe10})$$

$$Re = \frac{222002,0286 \cdot 0,0934}{0,000020 \cdot 3600}$$

$$Re = 287985,96$$

- **Nombre de j_h**

$$j_h = 0,027(Re)^{0,8}$$

$$j_h = 0,027(287985,96)^{0,8}$$

$$j_h = 629,304$$

- **Nombre de J_H**

$$J_H = \frac{j_h}{Re}$$

$$J_H = 0,0021$$

- **Nombre de Prandtl**

$$Pr = \frac{cp(v) \cdot \mu(v)}{\lambda(v)}$$

$C_p(v)$: la chaleur spécifique de vapeur d'eau surchauffée.

$\lambda(v)$: la conductivité thermique de vapeur d'eau surchauffée

$\mu(v)$: la viscosité thermique de vapeur d'eau surchauffée

$$\lambda(v) = 5,4758 \cdot 10^{-2} \text{ w/m.k}$$

$$Pr = \frac{5,6989 \cdot 0,000020}{5,4758 \cdot 10^{-2}}$$

$$Pr = 0,002$$

Alors pour le coefficient de transfert externe h_0

$$h_0 = J_H \cdot C_p(v) \cdot G_v \cdot (p_r)^{-2/3}$$

$$h_0 = 0.0021 \cdot 5,6989 \cdot 222002,0286 \cdot (0,002)^{-2/3}$$

$$h_0 = 167371,1539 \text{ kj.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{k}^{-1}.$$

II.5.8 CALCUL DE COEFFICIENT D'ÉCHANGE GLOBAL (U)

$$U = \frac{h_{i0} \cdot h_0}{h_{i0} + h_0} \rightarrow h_{i0} = ?$$

h_i : coefficient de film interne du gaz en $\text{Kj.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{°k}$.

h_0 : coefficient de film externe vapeur d'eau surchauffée en $\text{Kj.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{°k}$.

h_{i0} : coefficient de film interne du gaz rapporté à la surface externe de tube en $\text{Kj.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{°k}$.

Donc :

$$h_{i0} = h_i \cdot \frac{d_1}{d_2}$$

$$h_{i0} = 462,62 \cdot \frac{102,3}{114,3}$$

$$h_{i0} = 413,88 \text{ Kj.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{°k}.$$

$$U = \frac{h_{i0} \cdot h_0}{h_{i0} + h_0}$$

$$U = \frac{413,88 \cdot 167371,1539}{413,88 + 167371,1539}$$

$$U = 412,861, \text{ kj.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{k}^{-1}.$$

II.5.9 CALCUL LA SURFACE D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR (S)

$$Q = S \cdot U \cdot \text{DTLM}$$

$$S = \frac{Q}{U \cdot \text{DTLM}}$$

$$S = \frac{63612,6176}{412,861 \cdot 23,77} \Rightarrow S = 6,1 \text{ m}^2$$

II.5.10 CALCUL DE LA LONGUEUR (L)

$$S = \pi \cdot d_2 \cdot L$$

$$L = \frac{S}{\pi \cdot d_2}$$

$$L = \frac{6,1}{3,14 \cdot 114,3 \cdot 10^{-3}}$$

$$L = 16,99 \text{ m}.$$

II.5.11 CALCUL DE PERTES DE CHARGES DP

❖ Calcul de pertes de charges pour le coté tube interne du gaz

$$\Delta p_g = \frac{f \cdot G_g \cdot L}{d_1 \cdot \rho \cdot \phi t} \quad (\text{II.5})$$

Le calcul des termes de l'équation

a) Calcul de facteur de friction par la relation suivante :

$$f = 0,0070 + 0,528 (\text{Re})^{0,42} \quad (\text{II-6})$$

Sachant que : $\text{Re} = 311031,2389$

$$f = 0,0070 + 0,528 (311031,2389)^{-0,42}$$

$$f = 0,0096.$$

b) Calcul de la masse volumique du vapeur surchauffée ρ_g :

$$\rho_g = \frac{p \cdot M(g)}{z \cdot R \cdot T} \quad (\text{II.6})$$

Sachant que :

$$T = 266^\circ\text{C} = 539^\circ\text{K}$$

$$P = 3,5 \text{ kg.cm}^{-2}$$

$$M(g) = 19,92 \text{ kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$$

$$R = 0,0821 \text{ atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot ^\circ\text{K}^{-1}.$$

- Calcul du coefficient de compressibilité (Z) :

Le facteur de compressibilité est calculé par la formule suivante :

$$Z = 1,046 - [(2,034 * 10^{-4}) * P] + [(4,571 * 10^{-8}) * P^2] \quad (\text{II.7})$$

On obtient : $Z = 1,045$

Alors :

$$\rho_g = 1,5 \text{ kg.m}^{-3}.$$

- Calcul de nombre de Nusselt

$$\text{Nu} = \frac{h_i \cdot d_1}{\lambda_g} = 0,027 \cdot (\text{Re})^{0,8} \cdot (\text{pr})^{1/3} \cdot \Phi \quad (\text{II-8})$$

Sachant que :

$$d_1 = 102,3 \cdot 10^{-3}$$

$$h_i = 462,62 \text{ kcal.h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\lambda_g = 0,4566 \text{ kj.h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

Alors :

$$\text{Nu} = \frac{462,62 \cdot 114,3 \cdot 10^{-3}}{0,4566}$$

$$\text{Nu} = 115,80$$

d) Calcul le facteur correction (ϕ_t) :

$$\phi_t = \frac{\text{Nu}}{0,027 \cdot (\text{Re})^{0,8} \cdot (\text{pr})^{1/3}}$$

$$\phi_t = \frac{115,80}{0,027 \cdot (311031,2389)^{0,8} \cdot (3,989)^{1/3}}$$

$$\phi_t = 0,1$$

$$\text{Donc : } \frac{f \cdot Gg \cdot L}{d1 \cdot \rho \cdot \phi t}$$

$$\Delta p_g = \frac{0,0096 \cdot 205853,66 \cdot 16,99}{102,26 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 3600 \cdot 0,1}$$

$$\Delta p_g = 6,08 \text{ kpas .}$$

❖ **Calcul de perte de charge pour coté section annulaire de vapeur d'eau surchauffée (Δp_v)**

Température de vapeur d'eau surchauffée enter = 300°C → P1=86 bar

Température de vapeur d'eau surchauffée sortie = 294°C → P2= 79 bar. (annexe12)

$$DP=P1-P2=86 - 79 = 7 \text{ bar}=700 \text{ kpas.}$$

II.6 SIMULATION DE L'ECHANGEUR :

Les résultats trouvés sont regroupés dans la figure II.4 et II.5.

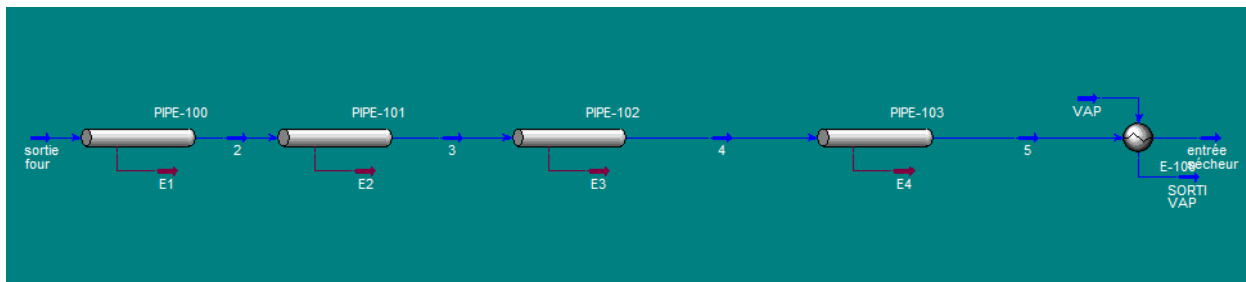


Figure II.4: schéma de la deuxième solution proposée par simulateur HYSYS.

Worksheet	Name	5	entrée sécheur	VAP	SORTI VAP
Conditions	Vapour	1.0000	1.0000	1.0000	0.9773
Properties	Temperature [C]	268.3	280.0	300.0	293.3
Properties	Pressure [kPa]	251.2	246.0	8600	7900
Composition	Molar Flow [kgmole/h]	88.40	88.40	103.3	103.3
Composition	Mass Flow [kg/h]	1688	1688	1860	1860
PF Specs	LiqVol Flow [m3/h]	4.966	4.966	1.864	1.864
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-6.225e+004	-6.162e+004	-2.355e+005	-2.360e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole]	206.2	207.5	154.3	153.9
	Heat Flow [kJ/h]	-5.503e+006	-5.447e+006	-2.432e+007	-2.437e+007

Figure II.5: Fenêtre des conditions de GN après l’installation d’un échangeur.

❖ **Interprétation des résultats :**

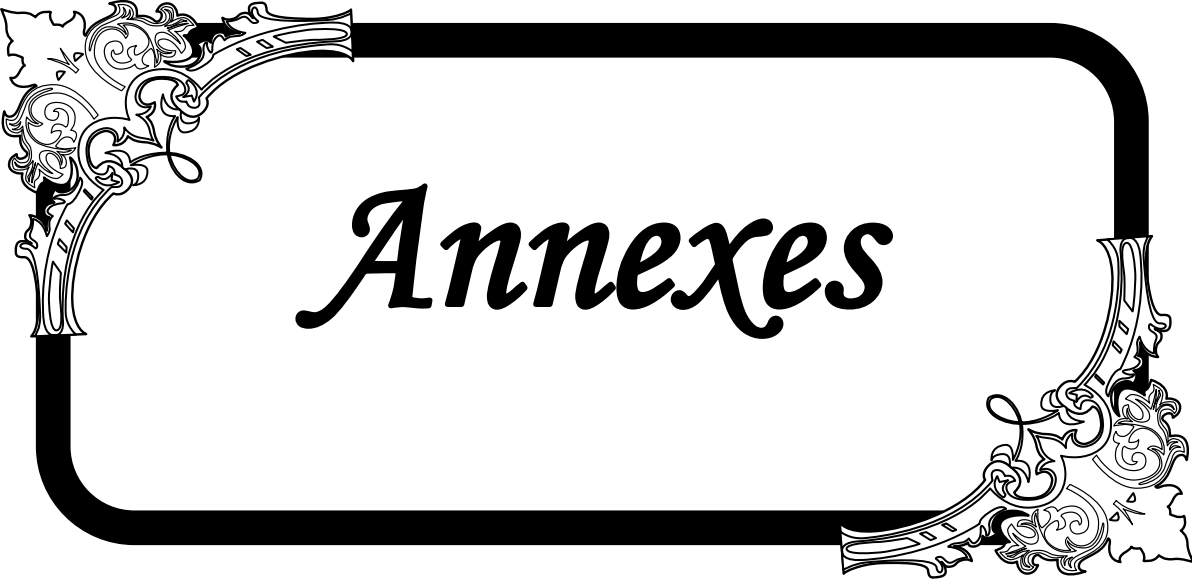
Après une étude détaillé sur l’échangeur proposé, on remarque que lorsque la température de sortie atteint la valeur désiré (280°C) l’échangeur a les paramètres suivants : une surface d’échange de 6,1m², une longueur de 16,99m, un débit de vapeur d’eau surchauffée de 1860 kg/h et une perte de charge égale à 6,08 kpas pour le GN et 700 kpas pour la vapeur d’eau surchauffée .

Les résultats de simulation de l’échangeur sont satisfaisants ce qui confirme la faisabilité de cette proposition.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

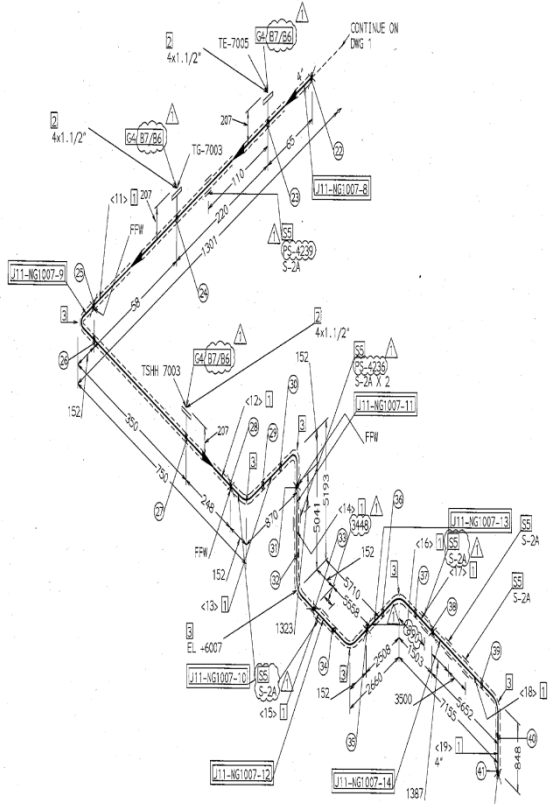
- [1] : **Banque de données GP1/Z** (Généralités sur le complexe GP1-Z)
- [2] : **Manuel opératoire** ; stockage de la charge ; section 1 volume 2 Document GP1-Z
- [3] : **Manuel opératoire** ; section de déshydratation ; Document GP1-Z
- [4] : **Manuels opératoires** ; (séparation, réfrigération) volume 2 Document GP-Z
- [5] : **manuel opératoire** ; stockage et expédition ; section 4 ; volume 3 Document GP-Z
- [6]: **Support technique HYSYS**
- [7]: **KUPPAN T**, Heat exchanger design handbook, Marcel Dekker, New York, 2000.
- [8] : **Fiche technique du four** ; mémoire de chergui Hamid 2010.
- [9] : **département technique** ; complexe GP1-Z
- [10]: **Engineering data book, Tom I, Tom II,FPS**
- [11] : **technique de l'ingénieur**, liquéfaction du GNL
- [12] : **Formation perfectionnement –ingénieur- Déshydratation** Module 3 Bloc 1.
- [13] : **livre (la vapeur d'eau industrielle) ;ingénieure ROBERT Positello .**



Annexes

Annexe 2

(96/168)



M.L. J11/J51
CONTINUE ON
4"-NG1007-DSV-(HC-100)_J51
EAST 115720
NORTH 222235
EL +5159

SHOP FABRICATION MATERIALS

ITEM NO.	MATERIAL DESCRIPTIONS	SIZE (")	CLASS	QTY
PIPE				
1	PIPE 4" Sch80 A106Gr. B	4	DSV	21.9M
FITTINGS				
2	LONG NECK FLANGE 1-1/2" 300# RF A105	4 x 1.1/2	DSV	3
3	ELBOW 90deg 4" Sch80 BW A234G-NPB	4	DSV	7

FIELD ERECTION MATERIALS

ITEM NO.	MATERIAL DESCRIPTIONS	SIZE (")	CLASS	QTY
GASKETS				
4	VORTEX GASKET 1-1/2" 300# RF t=4.5 VHSERREES or eq.	1.1/2	DSV	3

BOLTS

6	100 UNIFIED STUD A320Gr. 88 CL.2	3/4	STUD-C	12
7	UNIFIED HEAVY HEX A194Gr. B	3/4	STUD-C	24

SUPPORTS

5	SUPPORT FOR 4" Sch80 A106Gr. B	4	DSV	6
---	--------------------------------	---	-----	---

PIPING FABRICATION PIECE NO.

J11-NG1007-8 J11-NG1007-9 J11-NG1007-10 J11-NG1007-11 J11-NG1007-12
J11-NG1007-13 J11-NG1007-14

CUT PIPE LENGTH (ONLY REFERENCE)

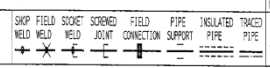
WELD NO.	SHEP WELD PROC	WELDER ID	W/SUAL	NOT ACCEPT	HARD S.R	OR ACCEPT
22	F					
23	S					
24	S					
25	F					
26	S					
27	S					
28	F					
29	S					
30	S					
31	F					
32	S					
33	F					
34	S					
35	F					
36	S					
37	S					
38	F					
39	S					
40	S					
41	F					

CLASS	PIECE NO.	CUT LENGTH	SIZE	REMARKS	END PREP.
DSV	<1>	443	4	INCL'D FFW 100mm	BE/PE
DSV	<12>	546	4	INCL'D FFW 100mm	BE/PE
DSV	<13>	566	4		BE/BE
DSV	<14>	4589	4	INCL'D FFW 100mm	PE/BE
DSV	<15>	5406	4		BE/BE
DSV	<16>	2356	4		BE/BE
DSV	<17>	1351	4		BE/BE
DSV	<18>	5500	4		BE/BE
DSV	<19>	696	4		BE/BE

WELDING CODE: A-2
X-RAY (for BW): 100
PT (for SW and SO): 100
HEAT TREATMENT: NONE
PAINTING CODE: 4-1 / G4

DRAWN [P] CHECKED [MO] REV [APPROVED] [MA]
DESCRIPTION: REV FOR DESIGN PROGRESS
REV: 1
DRAWING NO.: D6309-1101 52
DATE: 22 JAN 2009
PIPE/AREA/FLUID: PIPE/J11/NG
PIPING CLASS: DSV

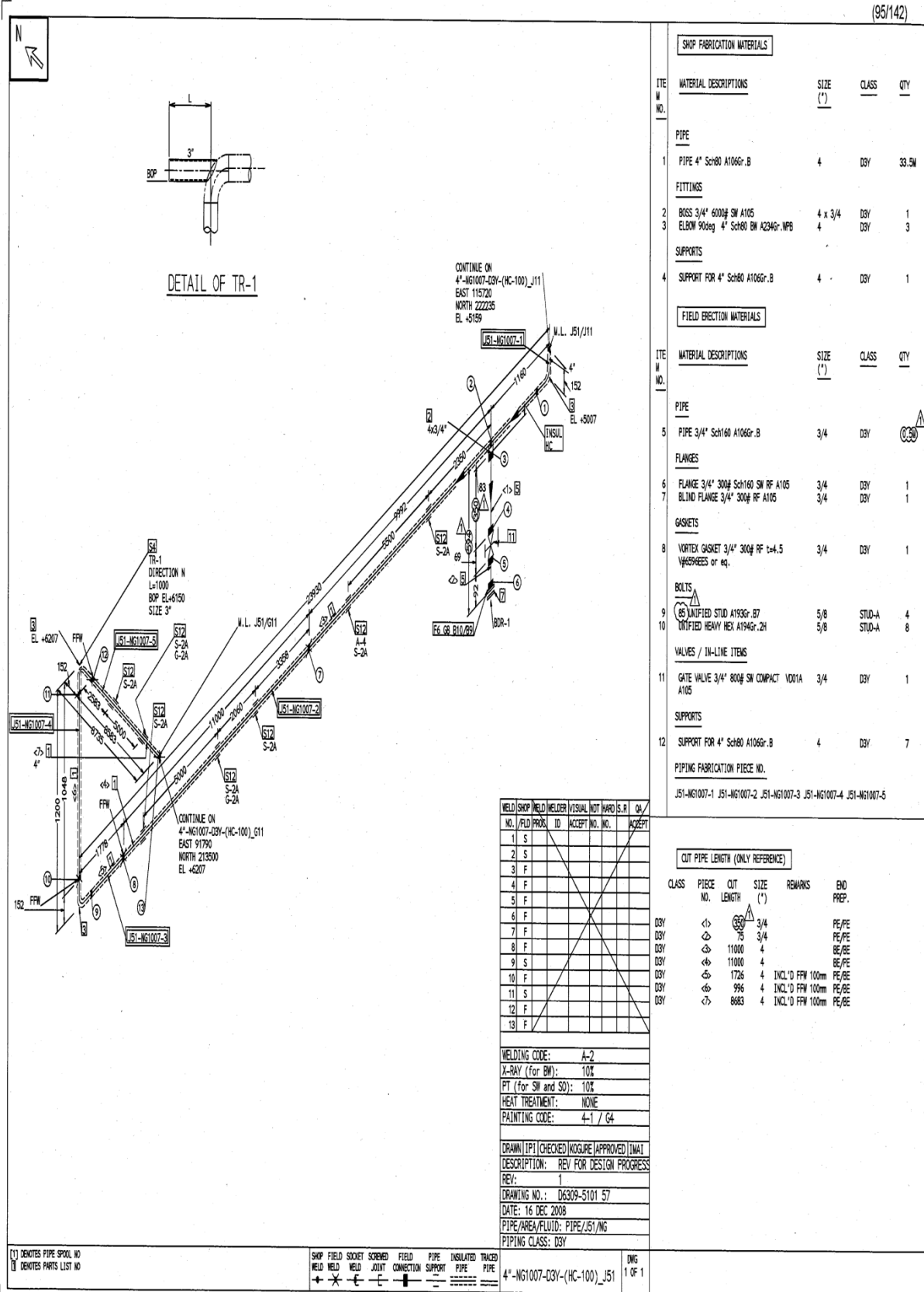
[1] DENOTES PIPE SPOOL NO
[2] DENOTES PARTS LIST NO



4"-NG1007-DSV-(HC-100)_J11
DWG 2 OF 2

Annexe 3

(95/142)



DETAIL OF TR-1

SHOP FABRICATION MATERIALS			
ITEM NO.	MATERIAL DESCRIPTIONS	SIZE (")	CLASS QTY
PIPE			
1	PIPE 4" Sch80 A106Gr. B	4	DSY 33.5M
FITTINGS			
2	BOSS 3/4" 600# SW A105	4 x 3/4	DSY 1
3	ELBOW 90deg 4" Sch80 BW A234Gr. WPB	4	DSY 3
SUPPORTS			
4	SUPPORT FOR 4" Sch80 A106Gr. B	4	DSY 1
FIELD ERECTION MATERIALS			
ITEM NO.	MATERIAL DESCRIPTIONS	SIZE (")	CLASS QTY
PIPE			
5	PIPE 3/4" Sch160 A106Gr. B	3/4	DSY 0.30
FLANGES			
6	FLANGE 3/4" 300# Sch160 SW RF A105	3/4	DSY 1
7	BLIND FLANGE 3/4" 300# RF A105	3/4	DSY 1
GASKETS			
8	VORTEX GASKET 3/4" 300# RF 1-4.5 VHS698EES or eq.	3/4	DSY 1
BOLTS			
9	UNIFIED STUD A193Gr. B7	5/8	STUD-A 4
10	UNIFIED HEAVY HEX A194Gr. 2H	5/8	STUD-A 8
VALVES / IN-LINE ITEMS			
11	GATE VALVE 3/4" 800# SW COMPACT V001A A105	3/4	DSY 1
SUPPORTS			
12	SUPPORT FOR 4" Sch80 A106Gr. B	4	DSY 7
PIPING FABRICATION PIECE NO.			
J51-NG1007-1 J51-NG1007-2 J51-NG1007-3 J51-NG1007-4 J51-NG1007-5			

NO.	WELD	WELDER	FIELD	PROG. ID	ACCEPT NO.	NO.	VISUAL	NOT	REMARKS	S. R.	OK / ACCEPT
1	S										
2	S										
3	F										
4	F										
5	F										
6	F										
7	F										
8	F										
9	S										
10	F										
11	S										
12	F										
13	F										

CUT PIPE LENGTH (ONLY REFERENCE)					
CLASS	PIECE NO.	CUT LENGTH	SIZE	REMARKS	END PREP.
DSY	<1>	75	3/4		PE/PE
DSY	<2>	75	3/4		PE/PE
DSY	<3>	11000	4		BE/BE
DSY	<4>	11000	4		BE/PE
DSY	<5>	1726	4	INCL'D FFW 100mm	PE/BE
DSY	<6>	996	4	INCL'D FFW 100mm	PE/BE
DSY	<7>	8683	4	INCL'D FFW 100mm	PE/BE

WELDING CODE: A-2
 X-RAY (for BW): 10%
 PT (for SW and SO): 10%
 HEAT TREATMENT: NONE
 PAINTING CODE: 4-1 / G4

DRAWN [PI] CHECKED [MO] QURE [APPROVED] [MAT]
 DESCRIPTION: REV FOR DESIGN PROGRESS
 REV: 1
 DRAWING NO.: D6309-5101 57
 DATE: 16 DEC 2008
 PIPE/AREA/FLUID: PIPE/J51/NG
 PIPING CLASS: DSY

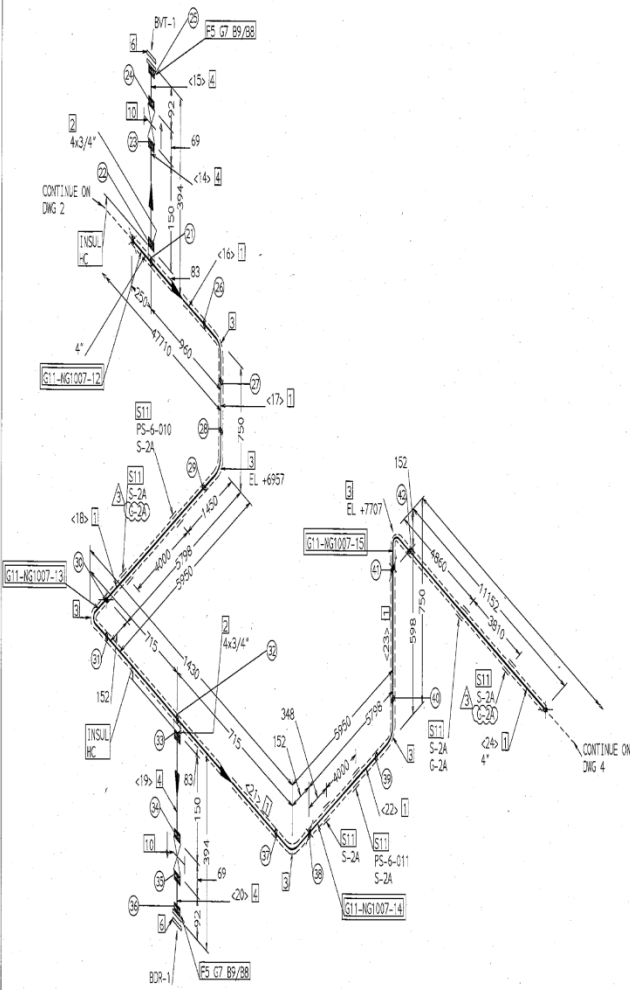
1) DENOTES PIPE SPOOL NO
 2) DENOTES PARTS LIST NO

SHOP FIELD SOCKET SCREENED FIELD PIPE INSULATED TRACED
 WELD WELD WELD JOINT CONNECTION SUPPORT PIPE PIPE
 + * - / =

4"-NG1007-03Y-(HC-100)_J51 DWG 1 OF 1

Annexe 6

(108/144)



WELD NO.	SHOP	WELDER	VISUAL	NOT HARD	S.R	QA
NO.	FLD	PRNC	ID	ACCEPT	NO.	ACCEPT
21	S					
22	F					
23	F					
24	F					
25	F					
26	S					
27	S					
28	S					
29	S					
30	F					
31	S					
32	S					
33	F					
34	F					
35	F					
36	F					
37	S					
38	F					
39	S					
40	S					
41	F					
42	S					

CUT PIPE LENGTH (ONLY REFERENCE)					
CLASS	PIECE NO.	CUT LENGTH	SIZE (")	REMARKS	END PREP.
DSY	<14>	150	3/4		PE/PE
DSY	<15>	75	3/4		PE/PE
DSY	<16>	1058	4		BE/BE
DSY	<17>	446	4		BE/BE
DSY	<18>	5466	4		BE/BE
DSY	<19>	150	3/4		PE/PE
DSY	<20>	75	3/4		PE/PE
DSY	<21>	1126	4		BE/BE
DSY	<22>	5466	4		BE/BE
DSY	<23>	446	4		BE/BE
DSY	<24>	11000	4		BE/BE

WELDING CODE: A-2
 X-RAY (for BW): 10%
 PT (for SW and SO): 10%
 HEAT TREATMENT: NONE
 PAINTING CODE: 4-1 / 4-2 / G4

DRAWN (P): [CHECKED] (K) (G) (U) (R) (I) (M) (A)
 DESCRIPTION: REV FOR DESTON PROGRESS
 REV: 3
 DRAWING NO.: D6307-1101.73
 DATE: 23 SEP 2008
 PIPE/AREA/FLUID: PIPE/G11/NG
 PIPING CLASS: DSY

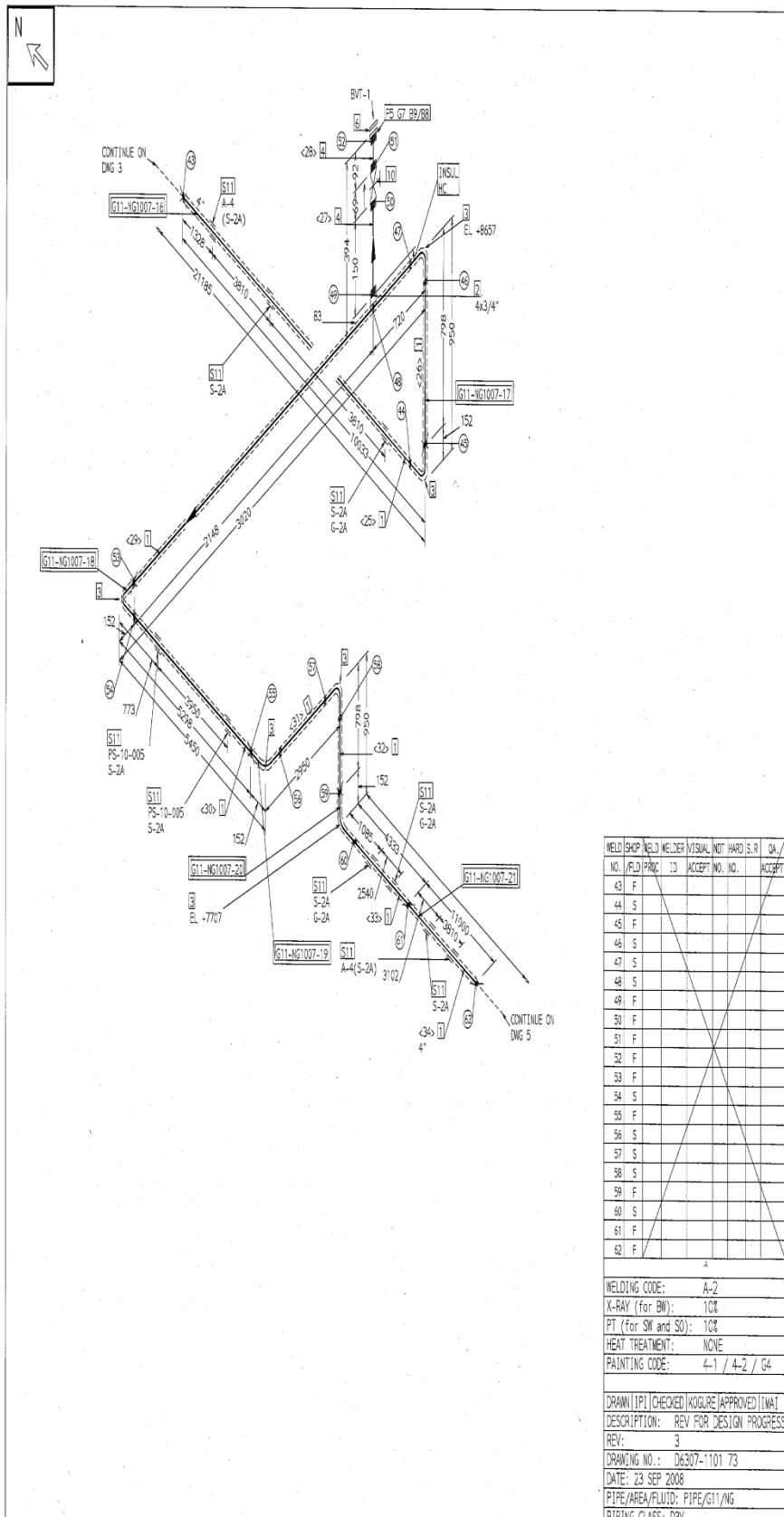
[1] DENOTES PIPE SPOOL NO
 [2] DENOTES PARTS LIST NO

SHOP FIELD SOCKET SCREWED FIELD PIPE INSULATED TRACED
 WELD WELD WELD JOINT CONNECTION SUPPORT PIPE PIPE
 4"-NG1007-DSY-(HC-100)_G11

DWG 3 OF 5

Annexe 7

(109/144)



SHOP FABRICATION MATERIALS			
ITEM NO.	MATERIAL DESCRIPTIONS	SIZE (")	CLASS QTY
PIPE			
1	PIPE 4" Sch80 A106Gr. B	4	D3Y 36.9M
FITTINGS			
2	BOSS 3/4" 6000# SW A105	4 x 3/4	D3Y 1
3	ELBOW 90deg 4" Sch80 BW A234Gr. WPB	4	D3Y 6
FIELD ERECTION MATERIALS			
ITEM NO.	MATERIAL DESCRIPTIONS	SIZE (")	CLASS QTY
PIPE			
4	PIPE 3/4" Sch160 A106Gr. B	3/4	D3Y 0.3M
FLANGES			
5	FLANGE 3/4" 300# Sch160 SW RF A105	3/4	D3Y 1
6	BLIND FLANGE 3/4" 300# RF A105	3/4	D3Y 1
GASKETS			
7	WEDGE GASKET 3/4" 300# RF t=4.5 (VALVESEALS or B9)	3/4	D3Y 1
BOLTS			
8	UNIFIED STD A193Gr. 37	5/8	STD-A 4
9	UNIFIED HEAVY HEX A194Gr. 2H	5/8	STD-A 8
VALVES / IN-LINE ITEMS			
10	GATE VALVE 3/4" 800# SW COMPACT V001A A105	3/4	D3Y 1
SUPPORTS			
11	SUPPORT FOR 4" Sch80 A106Gr. B	4	D3Y 9
PIPING FABRICATION PIECE NO.			
G11-NG1007-16 G11-NG1007-17 G11-NG1007-18 G11-NG1007-19 G11-NG1007-20 G11-NG1007-21			

WELD SHOP NO.	WELDER	VISUAL	HARD S.R.	QA
NO.	PRC	ID	ACCEPT NO.	ACCEPT
43	F			
44	S			
45	F			
46	S			
47	S			
48	S			
49	F			
50	F			
51	F			
52	F			
53	F			
54	S			
55	F			
56	S			
57	S			
58	S			
59	F			
60	S			
61	F			
62	F			

CUT PIPE LENGTH (ONLY REFERENCE)					
CLASS	PIECE NO.	CUT LENGTH (')	SIZE (")	REMARKS	END PREP.
D3Y	<25>	9861	4		BE/BE
D3Y	<26>	646	4		BE/BE
D3Y	<27>	150	3/4		PE/PE
D3Y	<28>	75	3/4		PE/PE
D3Y	<29>	2716	4		BE/BE
D3Y	<30>	5146	4		BE/BE
D3Y	<31>	2646	4		BE/BE
D3Y	<32>	646	4		BE/BE
D3Y	<33>	4181	4		BE/BE
D3Y	<34>	11000	4		BE/BE

WELDING CODE: A-2
 X-RAY (for BW): 100%
 PT (for SW and SO): 100%
 HEAT TREATMENT: NONE
 PAINTING CODE: 4-1 / 4-2 / G4

DRAWN (P) CHECKED (K) QUOTE (APPROVED) (M) AT
 DESCRIPTION: REV FOR DESIGN PROGRESS
 REV: 3
 DRAWING NO.: D6307-1101 73
 DATE: 23 SEP 2008
 PIPE/AREA/FLUID: PIPE/G11/NG
 PIPING CLASS: D3Y

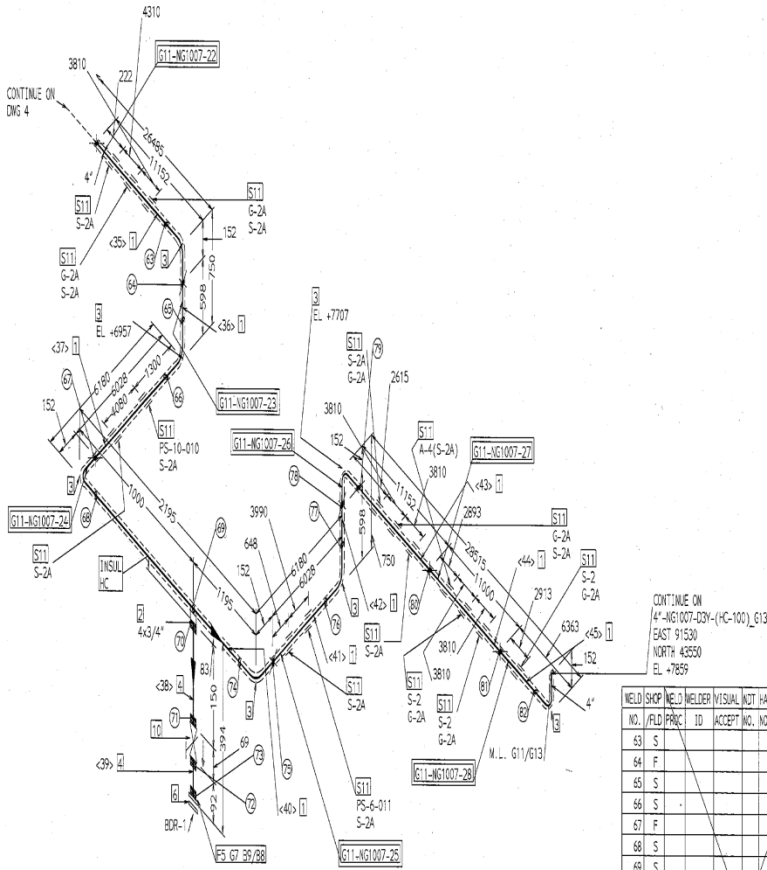
DEVOTES PIPE SPOL NO
 DEVOTES PARTS LIST NO

SHOP WELD	FIELD WELD	SOCKET WELD	SCREWED JOINT	FIELD CONNECTION	PIPE SUPPORT	INSULATED PIPE	TRACED PIPE
—	—	—	—	—	—	—	—

4"-NG1007-D3Y-(HC-100) G11 DNG 4 OF 5

Annexe 8

(110/144)



NO.	WELD	WELDER	VISUAL	NOT	HARD	S.3	QA
NO.	FIELD	PARC	ID	ACCEPT	NO.	NO.	ACCEPT
63	S						
64	F						
65	S						
66	S						
67	F						
68	S						
69	S						
70	F						
71	F						
72	F						
73	F						
74	S						
75	F						
76	S						
77	S						
78	F						
79	S						
80	F						
81	F						
82	S						

WELDING CODE: A-2
 X-RAY (for BW): 10%
 PT (for SW and SO): 10%
 HEAT TREATMENT: NONE
 PAINTING CODE: 4-1 / 4-2 / G4

DRAWN [PT] CHECKED [KOGURE] APPROVED [MAI]
 DESCRIPTION: REV FOR DESIGN PROGRESS
 REV: 3
 DRAWING NO.: D6307-1101 73
 DATE: 23 SEP 2008
 PIPE/AREA/FLUID: PIPE/G11/NG
 PIPING CLASS: D3Y

SHOP FABRICATION MATERIALS

ITEM NO.	MATERIAL DESCRIPTIONS	SIZE (")	CLASS	QTY
PIPE				
1	PIPE 4" Sch80 A106Gr. B	4	D3Y	53.8W
FITTINGS				
2	BOSS 3/4" 6000# SW A105	4 x 3/4	D3Y	1
3	ELBOW 90deg 4" Sch80 BW A234Gr. WPB	4	D3Y	7

FIELD ERECTION MATERIALS

ITEM NO.	MATERIAL DESCRIPTIONS	SIZE (")	CLASS	QTY
PIPE				
4	PIPE 3/4" Sch160 A106Gr. B	3/4	D3Y	0.3W
FLANGES				
5	FLANGE 3/4" 300# Sch160 SW RF A105	3/4	D3Y	1
6	BLIND FLANGE 3/4" 300# RF A105	3/4	D3Y	1
GASKETS				
7	SPRINT GASKET 3/4" 300# RF t=4.5 (SIZES/PCS OR EQ.)	3/4	D3Y	1
BOLTS				
8	UNIFIED STUD A193Gr. B7	5/8	STUD-A	4
9	UNIFIED HEAVY HEX A194Gr. 2H	5/8	STUD-A	8
VALVES / IN-LINE ITEMS				
10	GATE VALVE 3/4" 600# SW COMPACT V001A A105	3/4	D3Y	1
SUPPORTS				
11	SUPPORT FOR 4" Sch80 A106Gr. B	4	D3Y	14
PIPING FABRICATION PIECE NO.				
G11-NG1007-22 G11-NG1007-23 G11-NG1007-24 G11-NG1007-25 G11-NG1007-26 G11-NG1007-27 G11-NG1007-28				

CUT PIPE LENGTH (ONLY REFERENCE)

CLASS	PIECE NO.	CUT LENGTH	SIZE (")	REMARKS	END PREP.
D3Y	<35>	11000	4		BE/BE
D3Y	<36>	446	4		BE/BE
D3Y	<37>	5876	4		BE/BE
D3Y	<38>	150	3/4		PE/PE
D3Y	<39>	75	3/4		PE/PE
D3Y	<40>	189	4		BE/BE
D3Y	<41>	5876	4		BE/BE
D3Y	<42>	446	4		BE/BE
D3Y	<43>	11000	4		BE/BE
D3Y	<44>	11000	4		BE/BE
D3Y	<45>	6211	4		BE/BE

[1] DENOTES PIPE SPOOL NO
 [2] DENOTES PARTS LIST NO

SHOP FIELD SOCKET SWEATED FIELD PIPE INSULATED TRACED
 WELD WELD WELD JOINT CONNECTION SUPPORT PIPE PIPE
 4"-NG1007-D3Y-(HC-100)_G11

DWG 5 OF 5

Compound	Molecular Weight	z_c	Critical Temperature		Critical Pressure		EMR	Acentric Factor ω
			$^{\circ}\text{R}$	K	psia	MPa		
C ₁	16.043	0.29	343	191	666	4.60	14.19	0.0104
C ₂	30.070	0.29	550	305	707	4.88	24.37	0.0979
C ₃	44.097	0.28	666	370	617	4.25	34.63	0.1522
iC ₄	58.124	0.28	734	408	528	3.65	44.74	0.1852
nC ₄	58.124	0.27	765	425	551	3.80	44.24	0.1995
iC ₅	72.151	0.27	829	460	491	3.39	55.30	0.2280
nC ₅	72.151	0.27	845	470	489	3.37	55.27	0.2514
nC ₆	86.178	0.26	913	507	437	3.01	65.58	0.2994
nC ₇	100.205	0.26	972	540	397	2.74	75.88	0.3494
nC ₈	114.232	0.26	1024	569	361	2.49	86.19	0.3977
nC ₉	128.259	0.25	1070	595	332	2.29	96.53	0.4445
nC ₁₀	142.286	0.25	1112	618	305	2.10	106.86	0.4898
nC ₁₁	156.302	0.24	1150	639	285	1.97	117.17	0.5350
nC ₁₂	170.338	0.24	1185	658	264	1.82	127.50	0.5620
N ₂	28.016	0.29	227	126	493	3.40	9.71	0.0372
CO ₂	44.010	0.28	548	304	1071	7.38	14.44	0.2667

Annexe 10

Pression absolue	Température d'évaporation	Volume massique vapeur	Masse volumique vapeur	Enthalpie spécifique de l'eau (Chaleur sensible)		Enthalpie spécifique de la vapeur (chaleur totale)		Chaleur latente de vaporisation		Chaleur spécifique vapeur	Viscosité dynamique vapeur
				kJ/kg	Kcal/kg	kJ/kg	Kcal/kg	kJ/kg	Kcal/kg		
bar	°C	m ³ /kg	kg/m ³	kJ/kg	Kcal/kg	kJ/kg	Kcal/kg	kJ/kg	Kcal/kg	kJ/kg.K	kg/m.s
30	233.84	0.067	15.009	1008.33	240.84	2802.27	669.31	1793.94	428.48	3.4069	0.000017
31	235.66	0.064	15.512	1016.97	242.90	2802.33	669.32	1785.36	426.43	3.4442	0.000017
32	237.44	0.062	16.016	1025.41	244.92	2802.32	669.32	1776.90	424.41	3.4815	0.000017
33	239.18	0.061	16.521	1033.69	246.89	2802.25	669.31	1768.56	422.41	3.5187	0.000017
34	240.88	0.059	17.028	1041.79	248.83	2802.12	669.28	1760.33	420.45	3.5559	0.000017
35	242.54	0.057	17.536	1049.74	250.73	2801.95	669.23	1752.20	418.51	3.5932	0.000017
36	244.16	0.055	18.046	1057.54	252.59	2801.72	669.18	1744.17	416.59	3.6305	0.000017
37	245.75	0.054	18.557	1065.21	254.42	2801.44	669.11	1736.24	414.69	3.6679	0.000017
38	247.31	0.052	19.070	1072.73	256.22	2801.12	669.04	1728.39	412.82	3.7054	0.000017
39	248.84	0.051	19.585	1080.13	257.98	2800.75	668.95	1720.62	410.96	3.7429	0.000018
40	250.33	0.050	20.101	1087.40	259.72	2800.34	668.85	1712.94	409.13	3.7806	0.000018
41	251.80	0.048	20.619	1094.56	261.43	2799.89	668.74	1705.33	407.31	3.8185	0.000018
42	253.24	0.047	21.138	1101.61	263.12	2799.40	668.62	1697.79	405.51	3.8565	0.000018
43	254.66	0.046	21.660	1108.55	264.77	2798.87	668.50	1690.32	403.73	3.8946	0.000018
44	256.05	0.045	22.183	1115.39	266.41	2798.30	668.36	1682.91	401.96	3.9329	0.000018
45	257.41	0.044	22.708	1122.13	268.02	2797.70	668.22	1675.57	400.20	3.9715	0.000018
46	258.76	0.043	23.235	1128.78	269.60	2797.07	668.07	1668.29	398.46	4.0102	0.000018
47	260.08	0.042	23.763	1135.33	271.17	2796.40	667.91	1661.06	396.74	4.0492	0.000018
48	261.38	0.041	24.294	1141.80	272.71	2795.69	667.74	1653.89	395.03	4.0884	0.000018
49	262.66	0.040	24.827	1148.19	274.24	2794.96	667.57	1646.77	393.32	4.1279	0.000018
50	263.92	0.039	25.362	1154.50	275.75	2794.20	667.38	1639.70	391.64	4.1676	0.000018
51	265.16	0.039	25.898	1160.73	277.23	2793.41	667.19	1632.68	389.96	4.2076	0.000018
52	266.38	0.038	26.437	1166.88	278.70	2792.58	667.00	1625.70	388.29	4.2479	0.000018
53	267.58	0.037	26.978	1172.97	280.16	2791.74	666.79	1618.77	386.64	4.2885	0.000018
54	268.77	0.036	27.521	1178.98	281.59	2790.86	666.59	1611.88	384.99	4.3294	0.000018
55	269.94	0.036	28.067	1184.93	283.02	2789.95	666.37	1605.03	383.35	4.3706	0.000018
56	271.09	0.035	28.614	1190.81	284.42	2789.02	666.15	1598.21	381.73	4.4122	0.000018
57	272.23	0.034	29.164	1196.64	285.81	2788.07	665.92	1591.43	380.11	4.4541	0.000018
58	273.36	0.034	29.716	1202.40	287.19	2787.09	665.68	1584.69	378.50	4.4963	0.000019
59	274.47	0.033	30.270	1208.10	288.55	2786.08	665.44	1577.98	376.89	4.5389	0.000019
60	275.56	0.032	30.827	1213.75	289.90	2785.05	665.20	1571.31	375.30	4.5819	0.000019

69	284.83	0.028	35.948	1262.31	301.50	2774.76	662.74	1512.45	361.24	4.9875	0.000019
70	285.80	0.027	36.529	1267.48	302.73	2773.51	662.44	1506.03	359.71	5.0348	0.000019
71	286.76	0.027	37.114	1272.61	303.96	2772.24	662.14	1499.63	358.18	5.0827	0.000019
72	287.71	0.027	37.702	1277.70	305.17	2770.95	661.83	1493.25	356.66	5.1310	0.000019
73	288.65	0.026	38.292	1282.75	306.38	2769.64	661.52	1486.89	355.14	5.1798	0.000019
74	289.59	0.026	38.885	1287.77	307.58	2768.31	661.20	1480.54	353.62	5.2292	0.000019
75	290.51	0.025	39.481	1292.75	308.77	2766.97	660.88	1474.21	352.11	5.2791	0.000019
76	291.42	0.025	40.080	1297.70	309.95	2765.60	660.55	1467.90	350.60	5.3295	0.000019
77	292.32	0.025	40.681	1302.61	311.12	2764.22	660.22	1461.61	349.10	5.3805	0.000019
78	293.22	0.024	41.286	1307.49	312.29	2762.81	659.89	1455.32	347.60	5.4321	0.000019
79	294.10	0.024	41.894	1312.34	313.45	2761.39	659.55	1449.06	346.10	5.4843	0.000019
80	294.98	0.024	42.505	1317.15	314.60	2759.95	659.20	1442.80	344.61	5.5370	0.000019
81	295.85	0.023	43.118	1321.94	315.74	2758.50	658.86	1436.56	343.12	5.5904	0.000020
82	296.71	0.023	43.735	1326.70	316.88	2757.03	658.50	1430.33	341.63	5.6443	0.000020
83	297.56	0.023	44.356	1331.42	318.01	2755.54	658.15	1424.11	340.14	5.6989	0.000020
84	298.40	0.022	44.979	1336.12	319.13	2754.03	657.79	1417.91	338.66	5.7542	0.000020
85	299.24	0.022	45.606	1340.79	320.24	2752.50	657.42	1411.71	337.18	5.8101	0.000020
86	300.07	0.022	46.235	1345.44	321.35	2750.97	657.06	1405.52	335.70	5.8666	0.000020
87	300.89	0.021	46.869	1350.06	322.46	2749.41	656.68	1399.35	334.23	5.9239	0.000020
88	301.71	0.021	47.505	1354.66	323.55	2747.84	656.31	1393.18	332.76	5.9818	0.000020
89	302.51	0.021	48.146	1359.22	324.65	2746.25	655.93	1387.02	331.28	6.0404	0.000020
90	303.31	0.020	48.789	1363.77	325.73	2744.64	655.55	1380.87	329.82	6.0998	0.000020
91	304.11	0.020	49.436	1368.29	326.81	2743.02	655.16	1374.73	328.35	6.1599	0.000020
92	304.89	0.020	50.087	1372.80	327.89	2741.39	654.77	1368.59	326.88	6.2208	0.000020
93	305.67	0.020	50.741	1377.27	328.96	2739.73	654.37	1362.46	325.42	6.2825	0.000020
94	306.45	0.019	51.399	1381.73	330.02	2738.07	653.98	1356.34	323.96	6.3450	0.000020
95	307.22	0.019	52.061	1386.17	331.08	2736.38	653.57	1350.22	322.49	6.4083	0.000020
96	307.98	0.019	52.726	1390.58	332.13	2734.69	653.17	1344.11	321.03	6.4725	0.000020
97	308.73	0.019	53.396	1394.98	333.18	2732.98	652.76	1338.00	319.57	6.5376	0.000020
98	309.48	0.018	54.069	1399.35	334.23	2731.24	652.35	1331.89	318.12	6.6036	0.000020
99	310.22	0.018	54.746	1403.71	335.27	2729.50	651.93	1325.79	316.66	6.6705	0.000020
100	310.96	0.018	55.427	1408.05	336.31	2727.74	651.51	1319.69	315.20	6.7385	0.000020

Toute recopie de ce tableau sur un autre site internet ou sous une autre forme de publication est totalement interdit.

Dernière mise à jour : Juin 2003

ANNEXE 11

Ideal-gas specific heats of various common gases (Concluded)

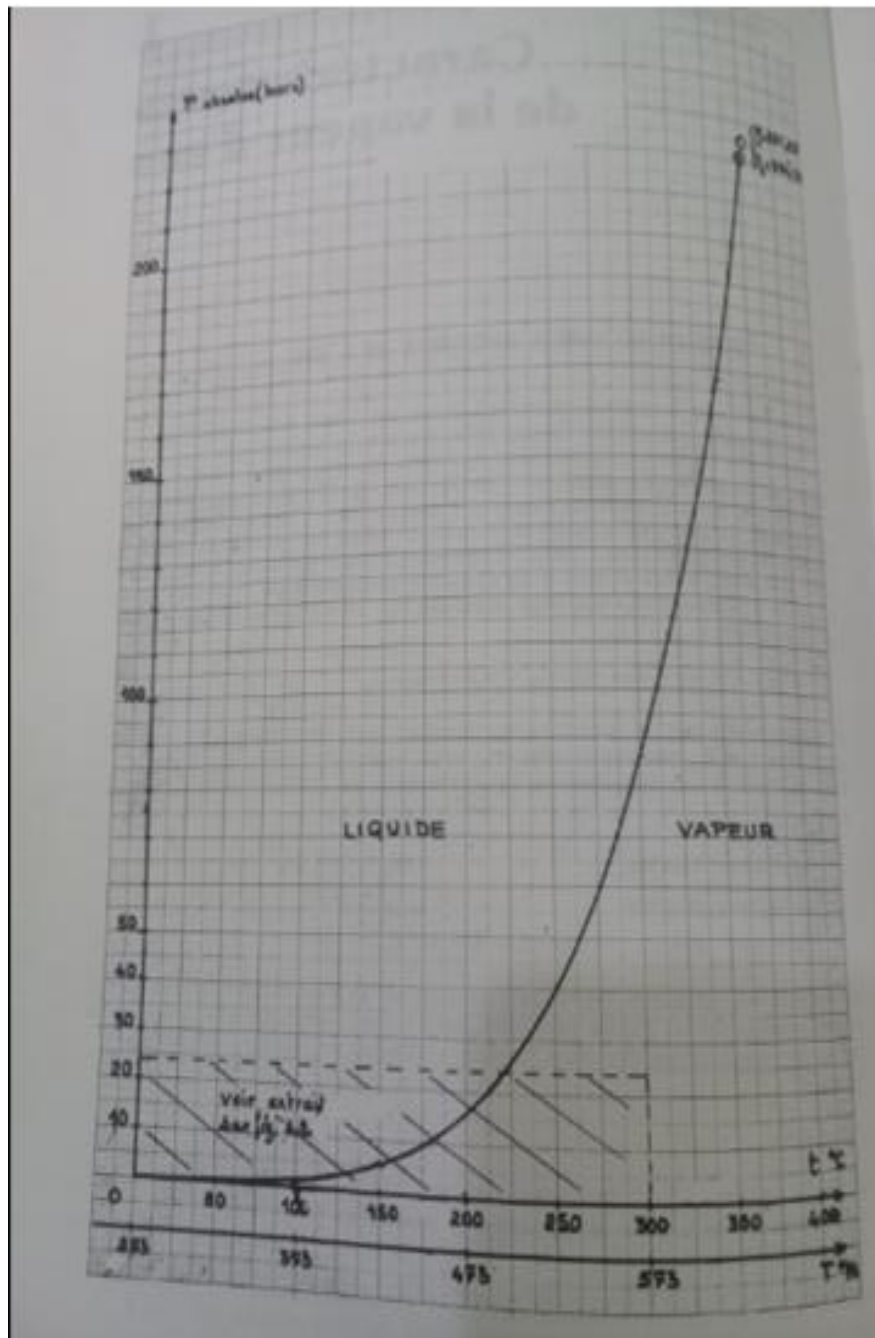
(c) As a function of temperature

$$c_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

(T in K, c_p in kJ/kmol · K)

Substance	Formula	a	b	c	d	Temperature range, K	% error	
							Max.	Avg.
Nitrogen	N ₂	28.90	-0.1571 × 10 ⁻²	0.8081 × 10 ⁻⁵	-2.873 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.59	0.34
Oxygen	O ₂	25.48	1.520 × 10 ⁻²	-0.7155 × 10 ⁻⁵	1.312 × 10 ⁻⁹	273-1800	1.19	0.28
Air	—	28.11	0.1967 × 10 ⁻²	0.4802 × 10 ⁻⁵	-1.966 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.72	0.33
Hydrogen	H ₂	29.11	-0.1916 × 10 ⁻²	0.4003 × 10 ⁻⁵	-0.8704 × 10 ⁻⁹	273-1800	1.01	0.26
Carbon monoxide	CO	28.16	0.1675 × 10 ⁻²	0.5372 × 10 ⁻⁵	-2.222 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.89	0.37
Carbon dioxide	CO ₂	22.26	5.981 × 10 ⁻²	-3.501 × 10 ⁻⁵	7.469 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.67	0.22
Water vapor	H ₂ O	32.24	0.1923 × 10 ⁻²	1.055 × 10 ⁻⁵	-3.595 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.53	0.24
Nitric oxide	NO	29.34	-0.09395 × 10 ⁻²	0.9747 × 10 ⁻⁵	-4.187 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.97	0.36
Nitrous oxide	N ₂ O	24.11	5.8632 × 10 ⁻²	-3.562 × 10 ⁻⁵	10.58 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.59	0.26
Nitrogen dioxide	NO ₂	22.9	5.715 × 10 ⁻²	-3.52 × 10 ⁻⁵	7.87 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.46	0.18
Ammonia	NH ₃	27.568	2.5630 × 10 ⁻²	0.99072 × 10 ⁻⁵	-6.6909 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.91	0.36
Sulfur	S ₂	27.21	2.218 × 10 ⁻²	-1.628 × 10 ⁻⁵	3.986 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.99	0.38
Sulfur dioxide	SO ₂	25.78	5.795 × 10 ⁻²	-3.812 × 10 ⁻⁵	8.612 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.45	0.24
Sulfur trioxide	SO ₃	16.40	14.58 × 10 ⁻²	-11.20 × 10 ⁻⁵	32.42 × 10 ⁻⁹	273-1300	0.29	0.13
Acetylene	C ₂ H ₂	21.8	9.2143 × 10 ⁻²	-6.527 × 10 ⁻⁵	18.21 × 10 ⁻⁹	273-1500	1.46	0.59
Benzene	C ₆ H ₆	-36.22	48.475 × 10 ⁻²	-31.57 × 10 ⁻⁵	77.62 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.34	0.20
Methanol	CH ₃ O	19.0	9.152 × 10 ⁻²	-1.22 × 10 ⁻⁵	-8.039 × 10 ⁻⁹	273-1000	0.18	0.08
Ethanol	C ₂ H ₅ O	19.9	20.96 × 10 ⁻²	-10.38 × 10 ⁻⁵	20.05 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.40	0.22
Hydrogen chloride	HCl	30.33	-0.7620 × 10 ⁻²	1.327 × 10 ⁻⁵	-4.338 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.22	0.08
Methane	CH ₄	19.89	5.024 × 10 ⁻²	1.269 × 10 ⁻⁵	-11.01 × 10 ⁻⁹	273-1500	1.33	0.57
Ethane	C ₂ H ₆	6.900	17.27 × 10 ⁻²	-6.406 × 10 ⁻⁵	7.285 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.83	0.28
Propane	C ₃ H ₈	-4.04	30.48 × 10 ⁻²	-15.72 × 10 ⁻⁵	31.74 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.40	0.12
n-Butane	C ₄ H ₁₀	3.96	37.15 × 10 ⁻²	-18.34 × 10 ⁻⁵	35.00 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.54	0.24
i-Butane	C ₄ H ₁₀	-7.913	41.60 × 10 ⁻²	-23.01 × 10 ⁻⁵	49.91 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.25	0.13
n-Pentane	C ₅ H ₁₂	6.774	45.43 × 10 ⁻²	-22.46 × 10 ⁻⁵	42.29 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.56	0.21
n-Hexane	C ₆ H ₁₄	6.938	55.22 × 10 ⁻²	-28.65 × 10 ⁻⁵	57.69 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.72	0.20
Ethylene	C ₂ H ₄	3.95	15.64 × 10 ⁻²	-8.344 × 10 ⁻⁵	17.67 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.54	0.13
Propylene	C ₃ H ₆	3.15	23.83 × 10 ⁻²	-12.18 × 10 ⁻⁵	24.62 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.73	0.17

ANNEXE 12



ANNEXE 13

Compound	Molecular Weight	z_c	Critical Temperature		Critical Pressure		EMR	Acentric Factor ω
			$^{\circ}\text{R}$	K	psia	MPa		
C ₁	16.043	0.29	343	191	666	4.60	14.19	0.0104
C ₂	30.070	0.29	550	305	707	4.88	24.37	0.0979
C ₃	44.097	0.28	666	370	617	4.25	34.63	0.1522
iC ₄	58.124	0.28	734	408	528	3.65	44.74	0.1852
nC ₄	58.124	0.27	765	425	551	3.80	44.24	0.1995
iC ₅	72.151	0.27	829	460	491	3.39	55.30	0.2280
nC ₅	72.151	0.27	845	470	489	3.37	55.27	0.2514
nC ₆	86.178	0.26	913	507	437	3.01	65.58	0.2994
nC ₇	100.205	0.26	972	540	397	2.74	75.88	0.3494
nC ₈	114.232	0.26	1024	569	361	2.49	86.19	0.3977
nC ₉	128.259	0.25	1070	595	332	2.29	96.53	0.4445
nC ₁₀	142.286	0.25	1112	618	305	2.10	106.86	0.4898
nC ₁₁	156.302	0.24	1150	639	285	1.97	117.17	0.5350
nC ₁₂	170.338	0.24	1185	658	264	1.82	127.50	0.5620
N ₂	28.016	0.29	227	126	493	3.40	9.71	0.0372
CO ₂	44.010	0.28	548	304	1071	7.38	14.44	0.2667

ANNEXE 11

Ideal-gas specific heats of various common gases (Concluded)

(c) As a function of temperature

$$c_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

(T in K, c_p in kJ/kmol · K)

Substance	Formula	a	b	c	d	Temperature range, K	% error	
							Max.	Avg.
Nitrogen	N ₂	28.90	-0.1571 × 10 ⁻²	0.8081 × 10 ⁻⁵	-2.873 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.59	0.34
Oxygen	O ₂	25.48	1.520 × 10 ⁻²	-0.7155 × 10 ⁻⁵	1.312 × 10 ⁻⁹	273-1800	1.19	0.28
Air	—	28.11	0.1967 × 10 ⁻²	0.4802 × 10 ⁻⁵	-1.966 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.72	0.33
Hydrogen	H ₂	29.11	-0.1916 × 10 ⁻²	0.4003 × 10 ⁻⁵	-0.8704 × 10 ⁻⁹	273-1800	1.01	0.26
Carbon monoxide	CO	28.16	0.1675 × 10 ⁻²	0.5372 × 10 ⁻⁵	-2.222 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.89	0.37
Carbon dioxide	CO ₂	22.26	5.981 × 10 ⁻²	-3.501 × 10 ⁻⁵	7.469 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.67	0.22
Water vapor	H ₂ O	32.24	0.1923 × 10 ⁻²	1.055 × 10 ⁻⁵	-3.595 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.53	0.24
Nitric oxide	NO	29.34	-0.09395 × 10 ⁻²	0.9747 × 10 ⁻⁵	-4.187 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.97	0.36
Nitrous oxide	N ₂ O	24.11	5.8632 × 10 ⁻²	-3.562 × 10 ⁻⁵	10.58 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.59	0.26
Nitrogen dioxide	NO ₂	22.9	5.715 × 10 ⁻²	-3.52 × 10 ⁻⁵	7.87 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.46	0.18
Ammonia	NH ₃	27.568	2.5630 × 10 ⁻²	0.99072 × 10 ⁻⁵	-6.6909 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.91	0.36
Sulfur	S ₂	27.21	2.218 × 10 ⁻²	-1.628 × 10 ⁻⁵	3.986 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.99	0.38
Sulfur dioxide	SO ₂	25.78	5.795 × 10 ⁻²	-3.812 × 10 ⁻⁵	8.612 × 10 ⁻⁹	273-1800	0.45	0.24
Sulfur trioxide	SO ₃	16.40	14.58 × 10 ⁻²	-11.20 × 10 ⁻⁵	32.42 × 10 ⁻⁹	273-1300	0.29	0.13
Acetylene	C ₂ H ₂	21.8	9.2143 × 10 ⁻²	-6.527 × 10 ⁻⁵	18.21 × 10 ⁻⁹	273-1500	1.46	0.59
Benzene	C ₆ H ₆	-36.22	48.475 × 10 ⁻²	-31.57 × 10 ⁻⁵	77.62 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.34	0.20
Methanol	CH ₃ O	19.0	9.152 × 10 ⁻²	-1.22 × 10 ⁻⁵	-8.039 × 10 ⁻⁹	273-1000	0.18	0.08
Ethanol	C ₂ H ₅ O	19.9	20.96 × 10 ⁻²	-10.38 × 10 ⁻⁵	20.05 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.40	0.22
Hydrogen chloride	HCl	30.33	-0.7620 × 10 ⁻²	1.327 × 10 ⁻⁵	-4.338 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.22	0.08
Methane	CH ₄	19.89	5.024 × 10 ⁻²	1.269 × 10 ⁻⁵	-11.01 × 10 ⁻⁹	273-1500	1.33	0.57
Ethane	C ₂ H ₆	6.900	17.27 × 10 ⁻²	-6.406 × 10 ⁻⁵	7.285 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.83	0.28
Propane	C ₃ H ₈	-4.04	30.48 × 10 ⁻²	-15.72 × 10 ⁻⁵	31.74 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.40	0.12
n-Butane	C ₄ H ₁₀	3.96	37.15 × 10 ⁻²	-18.34 × 10 ⁻⁵	35.00 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.54	0.24
i-Butane	C ₄ H ₁₀	-7.913	41.60 × 10 ⁻²	-23.01 × 10 ⁻⁵	49.91 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.25	0.13
n-Pentane	C ₅ H ₁₂	6.774	45.43 × 10 ⁻²	-22.46 × 10 ⁻⁵	42.29 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.56	0.21
n-Hexane	C ₆ H ₁₄	6.938	55.22 × 10 ⁻²	-28.65 × 10 ⁻⁵	57.69 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.72	0.20
Ethylene	C ₂ H ₄	3.95	15.64 × 10 ⁻²	-8.344 × 10 ⁻⁵	17.67 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.54	0.13
Propylene	C ₃ H ₆	3.15	23.83 × 10 ⁻²	-12.18 × 10 ⁻⁵	24.62 × 10 ⁻⁹	273-1500	0.73	0.17

Résumé

Notre stage pratique a été élaboré au niveau de complexe GP1/Z, ce dernier est un lieu de séparation de GPL, ce dernier est mélange d'hydrocarbures notre projet de fin d'étude intitulé : étude du problème de baisse de température au niveau de section de déshydratation du complexe GP1/Z

Pour résoudre ce problème on a suivi la méthodologie suivante :

Le premier chapitre est une partie théorique dans laquelle on a donné des généralités sur le complexe et dans le deuxième chapitre on a vérifié le problème par simulateur HYSYS avant qu'on a donné deux solutions, après étude détaillé de ses deux solutions on a conclu que l'installation d'un échangeur tubulaire à double tubes est la meilleur solution

Mots clés : déshydratation, GPL, tamis moléculaire, séparation, vapeur d'eau surchauffé, pipe