

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJIMOKHTAR-ANNABAUNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingénierat

Département de Génie des Procédés

Spécialité : Génie des Procédés

Option: Génie chimique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **Master**

**Etude de la section de réfrigération au propane pour une meilleure exploitation durant les périodes chaudes (T d'air ambiant $> 42^{\circ}\text{C}$).
Modélisation mathématique.**

Présenté par :

M^{lle}. Tabet Roumaissa

DIRECTEUR DE MEMOIRE : Mr. Abdelaziz TOUBAL, Pr, Université Badji Mokhtar- Annaba

Devant le jury :

Président : M^{me} Fertikh Nadia,

Pr, Université Badji Mokhtar-Annaba

Membre : Mr Abidi Abdennebi,

MCB, Université Badji Mokhtar-Annaba

Membre : Mr. TOUBAL Abdelaziz,

Pr, Université Badji Mokhtar-Annaba

Année: juin 2017

Remerciements

Remercier, c'est le plaisir de se souvenir de tous ceux qui, par leurs encouragements, leur disponibilité, leur amitié et leur compétences, ont su créer une ambiance de travail nous ayant permis de finaliser ce mémoire.

*Nous tenons à remercier notre encadreur : **Mr Toubal Abdlaziz** pour ses aides, ses remarques et ses conseils.*

*Nous remercions également tout le personnel du département Production de la Région Méga train GL1/K notamment : **Mr Chihab imad** ainsi que **Mr Younes, Mr Guenoun** pour leur accueil et leur aide tout au long de la réalisation de ce travail.*

A tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, nos derniers remerciements vont à l'ensemble de la famille enseignante du département Génie des procédés.

Dédicaces

A mes très chers parents pour leur amour et soutien

A mon cher frère

A mes chères sœurs

A mes nièces adorées

A mon beau frère

A toute ma famille

A tous mes amis (es)

A mes collègues de promotion Génie Chimique

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : M. CAROUGE, Conception, construction et exploitation des réseaux de gaz naturel : *Généralités sur le transport international du gaz*, Association Technique de l'industrie du Gaz naturel en France, 1995, p 1.
- [2] : <http://fr.scribd.com/doc/135385216/Introduction-generale>.
- [3] : PIERRE PETIT, Technique d'ingénieur, *Liquéfaction du gaz naturel*, Article j3601, 2005.
- [4] : <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3402>
- [5] : ALEXANDRE ROJEY, Le gaz naturel Production-Transport-Traitement : *Propriétés physico-chimique du gaz naturel*, Technip, 1994, p 71-76, 292-301.
- [6] : NOUREDINE MORSLI, RAYAH HOUARI, mémoire fin de cycle, *Augmentation cyclique de la teneur en CO₂ dans la section de décarbonatation du gaz naturel au sein du complexe GLI/Z*, Ecole d'ingénieur de Boumerdès, Unité de Formation et Recherche gas, refining & petrochemistry, 2010, p 5, 8-10, 15.
- [7] : PELLOUX-PRAYER, Conception, construction et exploitation des réseaux de gaz naturel : *Le gaz naturel dans le monde*, Association Technique de l'industrie du Gaz naturel en France, 1998, p 3.
- [8]: BP Statistical Review of world energy, June 2003.
- [9]: International Energy Agency, Natural Gas Information, 2009.
- [10]: NICOLE FONTAINE, *Livre blanc sur les énergies*, Ministre de l'économie des finances et de l'industrie, 2003, p 32.
- [11]: IEA Statistics. International Energy Agency, Natural Gas Information, 2009.
- [12]: http://www.fondation-res-publica.org/L-Algerie-le-Maghreb-et-l-approvisionnement-energetique-de-l-Europe_a46.html
- [13]: Bilan énergétique national de l'année 2007, Ministère de l'énergie et des mines.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [14]: <http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/espace-decouverte/les-cles-pour-comprendre/les-sources-d-energie/le-gaz-naturel>
- [15]: <http://r0.unctad.org/infocomm/francais/gaz/marche.htm>
- [16]: Manuel de formation générale, Introduction générale document No : PL-AAA-PP1-300.
- [17]: Manuel de formation générale, Liquéfaction document No : PL-AAA-PP1-315.
- [18]: ECONOMIE D'ENERGIE Les aéroréfrigérants série. 11, AIX AUDIO VISUEL 1976
- [19]: M. A. LAMECHE Les aéro-réfrigérants, séminaire octobre 2005.
- [20]: M. A. GRANGE TECHNIP Aéro-réfrigérants (Centre des études supérieures de raffinage et de génie chimique).

NOMENCLATURE

NOMENCLATURE

ABREVIATION

AFNOR : Association française de normalisation

AGRU : Acid Gas Removal Unit

ALG: Algeria

API661: Air-Cooled Heat Exchangers for General Refinery Service

ASME: American Society of Mechanical Engineers

BP: Basse Pression

BSI: British Standards Institute

C₂H₆: Ethane

C₃H₈: Propane

C₄H₈S: tetrahydrothiophene (THT)

C₆H₁₄: Hexane

C₇H₁₆: Heptane

C₈H₁₈: Octane

CH₄ : Méthane

CO₂ : dioxyde de Carbone

COGIZ : Société de Conditionnement et de Commercialisation des Gaz Industriels

Csa,BWh,BSk : Classification de Köppen

DCS : Distributed control system

FSU : Fédération syndicale unitaire

GN : Gaz Naturel

GND : Gaz naturel décarbonaté

GNL : Gaz naturel liquéfié

GNT : Gaz naturel traité

GPL : Gaz du Pétrole liquéfié

H₂O : eau

H₂S : sulfure de dihydrogène

He : Hélium

HELLISON : société mixte entre LINDE et SONATRACH, basée à Skikda (Algérie).

Hg: Mercure

HP: Haute Pression

i-C₄H₁₀: I-Butane

i-C₅H₁₂: I-pentane

IRN: Iran

ISO : L'Organisation internationale de normalisation,

KBR : Kellogg Brown and Root

M1 et M2 : Deux quais de chargement du méthanier

MDEA : méthyle diéthanolamine activée

MEA : Mono éthanolamine

MR: Mixed Refrigerants

N₂: Nitrogen

NAM: North American

N-C₄H₁₀ : n-Butane

N-C₅H₁₂ : n-Pentane

RUS : Russie

URSS : Union des républiques socialistes soviétiques

USA: United states American

VOC : Composants Organiques Volatils

NOMS DES EQUIPEMENTS

12-MD39 : Le ballon de reflux de la colonne de régénération de MDEA

13-MC01 et 15-MC01/02/03 : Echangeurs du gaz naturel

13-MC01 : Refroidisseur

15-MC01/0203 : Pré-refroidisseurs de gaz

15-MC05 : Un échangeur principal

16-MC01/02/03 : Les aéroréfrigérants du MR

16-MC04/05/06/07 : Les échangeurs du MR

16-MC09/10/11 : Aéro-réfrigérant

16-MD01 : Ballon d'aspiration

16-MD02/03/04/05 : Ballon d'aspiration propane (1er étage, 2eme,3eme,4eme)

16-MD06 : Ballon accumulateur propane

16-MD07 : Ballon de transfert

16-MD08 : Ballon de séparateur

16-MJ01 : Compresseurs BP

16-MJ01-GT : Turbine à gaz

16-MJ01-M : Moteur d'assistance démarrage

16-MJ02 : Compresseurs MP

16-MJ03 : Compresseur HP-MR

16-MJ04 : Le compresseur de la boucle de propane

16MJ04-GT Turbine à gaz HP

16-MJ04-M : Moteur d'assistance

16-MJ05 : Pompe de transfert du propane

20-MC04/05/06/07 : Échangeur.

65-MB01/02/11 : Une torche à trois futs (65-MB01/02/11).

65-MB07 : L'incinérateur.

65-MB08 : Dédié aux liquides torchés par le Nouveau Train.

65-MB09 : Dédié aux liquides torchés par GL1K auxquels s'ajoutent le propane et le butane.

71-MB01 : Une torche basse pression (torche confinée).

76-MF01 : Bac de stockage de propane.

LISTE DES TABLEAUX & FIGURES

Liste des figures

Figure I.1. Evolution et projection de l'approvisionnement en énergie primaire par source d'énergie.....	4
Figure I.2. Production mondiale du gaz naturel par région.....	8
Figure I.3. Perspective de la consommation mondiale en gaz naturel par région.....	8
Figure I.4. Répartition des réserves de gaz naturel en 2006.....	11
Figure II.1. Vue cartographique de la situation géographique du champ gazier de Hassi R'mel, la ligne de transport du gaz et le complexe GL1/K.....	12
Figure II.2. Echangeur bobiné.....	15
Figure II.3. Liaisons SONATRACH – HELISON –MESSER.....	18
Figure II.4. Présentation générale du méga train.....	20
Figure IV.1. Les différents types des aéro-réfrigérants.....	31
Figure IV.2. Aéro-réfrigérant type forcé.....	33
Figure IV.3. Les éléments composant d'un aéro-réfrigérant.....	35
Figure IV.4. La structure d'un aéro-réfrigérant.....	35
Figure IV.5. Aéro-réfrigérants installés dans une station de compression de gaz naturel.....	36
Figure V.1. Nombre des aéro-réfrigérants nécessaire pour l'élimination de la vapeur du propane.....	42
Figure V.2. Nombre nécessaire des aéro-réfrigérants pour éliminer la vapeur du propane par une vitesse modérée.....	43

Liste des tableaux

Tableau I.1. Quelques compositions types de gaz naturel ne contenant pas de H ₂ S [20].....	5
Tableau I.2. Evolution de la production mondial en gaz naturel.....	7
Tableau II.1. Principaux produits du complexe CL1K de Skikda.....	17
Tableau II.2. Capacité de stockage des produits au niveau du complexe GL1K de Skikda.....	17
Tableau III.1. Caractéristiques des ballons d'aspiration propane.....	23
Tableau V.1. Donnés du fluide chaud (propane).	39
Tableau V.2. Données du fluide froid (air).	39
Tableau V.3. Données du fluide refroidi (propane).	39
Tableau V.4. Autres données des aéro-réfrigérants.....	39
Tableau V.5. Données caractéristiques du propane.....	39
Tableau V.6. Données caractéristiques des aéro-réfrigérants.	39
Tableau V.7. Données réelles du propane.	40
Tableau V.8. Données réelles des aéro-réfrigérants.	40
Tableau V.9. Paramètres de fonctionnement calculés en fonction du nombre d'aéro-réfrigérants.....	41
Tableau V.10. Paramètres de fonctionnement calculés en fonction du nombre d'aéro-réfrigérants, pour une T _{air} de 42°C et une vitesse de 336 rpm.	43

SOMMAIRE

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

Chapitre I

Généralités sur le gaz naturel

1. Introduction	3
2. Importance du gaz naturel.....	3
3. Composition du gaz naturel.....	4
4. Types de gaz naturel.....	5
5. Caractéristiques du gaz naturel.....	6
6. Traitement du gaz naturel.....	6
7. Le gaz naturel dans le monde et en Algérie.....	7
7.1. Gaz naturel dans le monde.....	7
7.1.1. Production du gaz naturel.....	7
7.1.2. La consommation du gaz naturel.....	8
7.2. Gaz naturel en Algérie	9
8. Transport du gaz naturel.....	9
9. Utilisation du gaz naturel.....	10
9.1. Utilisations domestiques.....	10
9.2. Le secteur industriel.....	10
9.3. Production d'électricité.....	10
9.4. Industrie de l'automobile.....	11
10. Réserves en gaz naturel	11

Chapitre II**Présentation du complexe GL1/K**

Introduction	12
1. Description du procédé	12
1.1. L'unité de comptage, de conditionnement et le système de compression du gaz d'alimentation.....	13
1.2. Distribution du gaz naturel.....	13
1.3. L'unité de décarbonatation.....	14
1.4. L'unité de déshydratation du gaz naturel décarbonaté (séchage).....	14
1.5. L'unité de démercurisation	14
1.6. L'unité de liquéfaction du gaz naturel.....	14
1.7. L'unité de la réinjection du GPL.....	16
1.8. L'unité de fractionnement.....	16
1.9. Les circuits de réfrigération	16
1.10. Charge traitée et capacité de production.....	17
1.11. L'unité 80 (stockage et expédition)	17
2. Les utilités.....	18
2.1. Production des utilités.....	18
Conclusion.....	21

Chapitres III**Description de la section réfrigération**

Introduction.....	22
1. Présentation de la boucle de réfrigération au propane.....	22
1.1. Les équipements constituant la boucle de réfrigération propane.....	23
2. Présentation de la boucle de réfrigération MR.....	25
2.1. Les équipements de la boucle de réfrigération MR.....	26

Chapitre IV
Les aéro-réfrigérants

Introduction.....	29
1. Les aéro-réfrigérants à convection naturelle.....	29
2. Aéro-réfrigérants utilisant un ventilateur.....	29
3. Les aéro-réfrigérants en circuit ouvert.....	32
4. Les aéro-réfrigérants en circuit fermé.....	32
5. Les normes et les codes de construction concernant les aéro-réfrigérants.....	32
6. Avantages et inconvénients des aéro-réfrigérants par rapport au refroidissement à l'eau...33	
6.1. Avantages du refroidissement à air.....	34
6.2. Inconvénients du refroidissement à air.....	34
7. Technologie.....	34

Chapitre V

Simulation de la section réfrigération au propane

Introduction.....	37
1. Choix du logiciel.....	38
1.1. Ping Robinson.....	38
2. Méthode suivie.....	38
3. Test du logiciel HYSYS.....	38
4. Etude d'un cas réel.....	40
Conclusion générale.....	44

INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

Parallèlement au pétrole, l'énergie gazière occupe une place très importante dans le marché mondial grâce à ses réserves importantes. Vue sa propreté et sa souplesse d'utilisation, elle dispose d'atouts certains pour devenir une importante source d'énergie et occuper ainsi une place d'avant-garde dans la satisfaction du besoin énergétique mondial.

Le GNL est une technologie éprouvée depuis près de 40 ans. Cette technologie a été lancée en 1963 en Algérie et qui est utilisée depuis de nombreuses années par plusieurs pays, notamment la France, la Belgique, l'Espagne, la Corée et les États-Unis.

Il en va de même au Japon qui dépend à 100 % du GNL importé pour répondre à ses besoins en gaz naturel. Vu la richesse de l'Algérie en gaz et en pétrole, l'économie nationale se base essentiellement sur l'industrie des hydrocarbures. Cette industrie nécessitait l'implantation de diverses unités de traitement avec l'installation d'équipements coûteux.

Dans ces conditions, les progrès techniques permettant de réduire ces coûts devraient jouer dans l'avenir un rôle majeur dans le développement du commerce international des hydrocarbures.

Le nouveau train de GNL de Skikda est conçu pour remplacer les unités 20, 30, et 40 qui ont été détruites lors de l'incident de l'année 2004. Le méga train se compose de quatre sections principales à savoir la section des utilités, la section de liquéfaction du gaz naturel traité et la section fractionnement et stockage.

L'unité de liquéfaction contient des équipements consommateurs d'énergie thermique tels que les rebouilleurs et les condenseurs, et les équipements consommateurs d'énergie électrique tels que les pompes et les aéro-réfrigérants. Le déroulement du processus de liquéfaction devrait être dans des bonnes conditions temporelles pour un apport d'énergie minimal et un bénéfice économique bien important.

Dans le cadre de la préparation du diplôme de Master II en génie chimique, nous nous sommes intéressés à la section de réfrigération au propane équipée d'aéro-réfrigérants, pour

étudier l'impact de la température ambiante sur la condensation des vapeurs de propane produites au niveau de la boucle de réfrigération propane principale durant la période d'été où la température peut atteindre des pics de 42°C.

Pour réaliser ce travail, nous avons vérifié tout d'abord le taux de propane vapeur envoyé vers torche du méga train en marche normale. Cette perte de propane non négligeable nous a orienté vers l'étude du refroidissement et de la condensation du propane par les aéro-réfrigérants afin de trouver des solutions pour pallier à cette augmentation de la température ambiante pendant la période chaude.

Afin de répondre à notre objectif, nous avons fait une étude comparative entre les paramètres de fonctionnement du design (température ambiante de 24°C) et les paramètres obtenus par simulation HYSYS dans le cas d'une température ambiante atteignant 42°C.

Le présent mémoire sera structuré de la manière suivante :

• En plus d'une introduction générale et d'une conclusion générale complétées par des annexes, ce mémoire est divisé en cinq chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités sur le gaz naturel, sa composition et son importance.

- Le deuxième chapitre traite d'une façon générale une présentation du complexe GL1/K (Méga train) de Skikda.

- Le troisième chapitre concerne une description du système de fonctionnement de la section de réfrigération au propane ainsi que ses équipements.

- Le quatrième chapitre porte sur le concept de base du système de fonctionnement des aéro-réfrigérants et de leur technologie.

- Enfin, dans le cinquième chapitre, nous avons étudié la possibilité de réduire la quantité de vapeurs de propane torchée au niveau de la section de réfrigération propane au cours de son fonctionnement. Pour cela, nous avons fait une simulation mathématique des conditions de fonctionnement de cette section à une température ambiante de 42°C en utilisant le logiciel HYSYS V6 et en modifiant les paramètres des aéro-réfrigérants. L'ajout de 03 aéro-réfrigérants avec une augmentation de la vitesse de rotation de ces aéro-réfrigérants permet de refroidir et condenser tout le propane vaporisé.

CHAPITRE I

I.1. Introduction

Le gaz naturel est un combustible fossile. C'est un mélange d'hydrocarbures trouvé naturellement sous forme gazeuse et la deuxième source d'énergie la plus utilisée dans le monde après le pétrole ; son usage se développe rapidement.

Pendant longtemps, le gaz naturel a été considéré comme un sous-produit du pétrole, il était brûlé à la torche sur de nombreux gisements.

Son développement a ensuite été très rapide grâce à l'abondance de ses réserves, à leur répartition sensiblement plus équilibrée que celle des réserves pétrolières et à son excellente qualité pour le consommateur final [1].

Il est connu surtout pour son usage domestique pour le chauffage, la cuisson, et il est comme matière première dans l'industrie chimique, notamment pour la pétrochimie et le raffinage. Il sert à la production d'électricité et pour le transport.

I.2. Importance du gaz naturel

Le gaz naturel est la source d'énergie fossile qui a connu la plus forte progression depuis les années 70. Elle représente le cinquième de la consommation énergétique mondiale.

En raison de ses avantages économiques et écologiques, le gaz naturel devient chaque jour plus attractif pour beaucoup de pays. Les propriétés de ce produit qui le caractérisent, en font l'une des sources d'énergie les plus fiables connue à ce jour. Il représente la deuxième source d'énergie la plus utilisée après le pétrole.

D'après le département américain de l'énergie (EIA), la part du gaz naturel dans la production énergétique mondiale était de 22 % en 2004 et les perspectives de développement de la demande sont excellentes. Il est considéré comme le combustible fossile du siècle, comme le pétrole l'était lors du siècle précédent et le charbon il y a deux siècles.

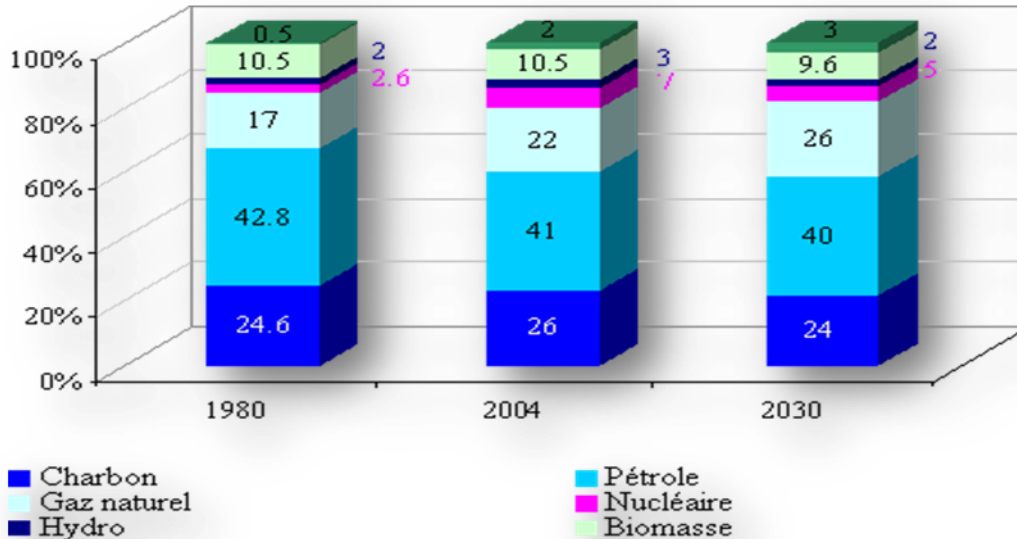


Figure I.1: Evolution et projection de l’approvisionnement en énergie primaire par source d’énergie [2]

Le gaz naturel présente un avantage concurrentiel par rapport aux autres sources d’énergie, car seuls 10 % environ du gaz naturel produit, sont perdus avant d’arriver chez le consommateur final. En outre, les progrès technologiques améliorent constamment l’efficacité des techniques d’extraction, de transport et de stockage, ainsi que le rendement énergétique des équipements fonctionnant à base de gaz naturel.

Le gaz naturel est considéré comme un combustible plus propre et plus respectueux de l’environnement que la plupart des autres combustibles fossiles. Son avantage comparatif en matière d’environnement par rapport au charbon ou au pétrole, réside dans le fait que, les émissions de dioxyde de soufre sont négligeables, et que les niveaux d’oxyde d’azote et de dioxyde de carbone sont plus faibles.

Un plus grand recours à cette source d’énergie permettrait notamment de limiter les impacts négatifs sur l’environnement, tels que les pluies acides, la détérioration de la couche d’ozone ou les gaz à effet de serre [2].

I.3. Composition du gaz naturel

Le composant principal du gaz naturel (GN) est le méthane CH_4 (souvent plus de 80 %) ; viennent ensuite les hydrocarbures saturés, plus lourds que le méthane (C_2 à C_8) dont les proportions décroissent avec l’augmentation du nombre d’atomes de carbone (tableau I.1).

Chapitre I : Généralités sur le gaz naturel

On peut aussi y trouver en quantité extrêmement variable, d'un gisement à un autre, de l'azote N_2 , de l'hélium He, du mercure Hg, du dioxyde de carbone CO_2 , parfois du sulfure de dihydrogène H_2S qu'il faut éliminer, et de la vapeur d'eau [3-4].

Tableau I.1 : Quelques compositions types de gaz naturel ne contenant pas de H_2S [3].

Composants (% molaire)	Type de gaz			
	Gaz brut	Gaz épuré à l'entrée du liquéfacteur		
	Algérie	Libye	Libye « Gaz associé » ⁽¹⁾	
He	0,19	0,19		
Ne	5,60	5,61	1,1	1,4
CO_2	0,21	0,01		
CH_4	83,40	83,57	84,9	63,0
C_2H_6	7,60	7,62	7,3	19,1
C_3H_8	1,90	1,90	3,5	10,0
i- C_4H_{10}	0,30	0,30	0,9	2,1
n- C_4H_{10}	0,40	0,40	0,9	2,2
i- C_5H_{12}	0,12	0,12	0,4	0,8
n- C_5H_{12}	0,13	0,13	0,4	0,8
C_6H_{14} et C_{6+}	0,15	0,15	0,6	0,6
Total100%	100%	100%	100%	100%
H_2O ppm	15	< 1	< 1	< 1

⁽¹⁾ Gaz récupéré lors d'une extraction de pétrole.

I.4. Types de gaz naturel

L'une des premières informations requises pour exploiter un gisement de gaz naturel concerne le diagramme de phases. Selon qu'une phase liquide d'hydrocarbures coexiste ou non avec la phase vapeur à un certain stade de production, le gaz est dit sec, associé ou à condensat.

➤ **Le gaz sec** : ne formant pas de phase liquide dans les conditions de production et ce gaz est concentré en méthane et contient très peu d'hydrocarbures plus lourds que l'éthane.

➤ **Le gaz humide** : un gaz est dit humide s'il y a production de phase liquide en surface ; un tel gaz est normalement moins concentré en méthane qu'un gaz sec.

➤ **Le gaz associé** : coexiste dans la roche-réservoir avec un gisement de pétrole et peut être présent sous forme de gaz dissous dans l'huile, ou sous forme de gaz de couverture situé au-dessus de la réserve de pétrole.

➤ **Le gaz à condensat** : dans le cas d'un gaz à condensat, une phase liquide peut se former dans le réservoir en cours de production ; la phase condensée s'enrichissant en constituants lourds et la composition du gaz produit évolue en fonction du temps [5].

I.5. Caractéristiques du gaz naturel

Le gaz naturel, essentiellement composé de méthane, est :

- ❖ Incolore ;
- ❖ Inodore (il est odorisé par THT pour le rendre détectable) ;
- ❖ Insipide ;
- ❖ Plus léger que l'air ;
- ❖ Peu soluble dans l'eau ;
- ❖ Sa masse volumique est de 0,72g/L ;
- ❖ Sa masse moléculaire est de 16,7g/mol.

Les points de liquéfaction et de solidification sont respectivement de -162 °C et -185 °C (dans des conditions ordinaires de pression et de température).

Le comportement du gaz naturel est influencé par le nombre de molécules, la pression, la température et le volume qu'il occupe.

I.6. Traitement du gaz naturel

A sa sortie du gisement, le gaz naturel est inutilisable. Le gaz brut extrait est composé essentiellement de méthane, mais contient une quantité variable d'autres composants dont certains sont impropres à la consommation.

Le gaz naturel subit une série d'opérations de traitement pour éliminer les éléments nocifs, et conserver ceux qui peuvent être commercialisés pour donner au gaz son odeur caractéristique.

L'odorisation est une mesure de sécurité qui consiste à communiquer au gaz naturel une odeur caractéristique qui ne puisse être confondue avec aucune autre, et qui soit détectable par tous.

Cette odeur varie selon les pays comme par exemple en France, elle provient de l'addition de THT (Tétrahydrotyophène) C₄H₈S [6].

I.7. Le gaz naturel dans le monde et en Algérie

I.7.1. Gaz naturel dans le monde

A partir de 1990, le gaz naturel est appelé à jouer un rôle plus important compte tenu de l'augmentation de la demande mondiale de ce produit. La libéralisation des marchés gaziers et le déclin des réserves de pétrole sont deux facteurs qui renforcent ce rôle [7].

En 2003, 93 % de la consommation mondiale est constituée d'énergie fossile, dont 53 % d'origine pétrolière, 33 % pour le pétrole et 20 % pour le gaz naturel [8].

I.7.1.1. Production du gaz naturel

La concentration de la production du gaz naturel dans les pays FSU (Ancien USSR) et les pays NAM (Amérique du nord) qui contribuent pour plus de 50 % à la production annuelle mondial. Avec 3148 milliards de m³ en 2008, la production totale en gaz naturel dans le monde à légèrement augmentée de 3 % par rapport à 2007 [9].

Tableau I.2 : Evolution de la production mondial en gaz naturel [9].

	2005	2006	2007	2008	En million m ³
USA	511 486	524 295	540 881	582 714	
RUS	638 591	651 010	646 211	656 973	
IRN	94 266	103 345	116 166	120 735	
ALG	83 764	82 390	81 539	82 300	
MONDE	2868 733	2956 610	3032 996	3148 715	

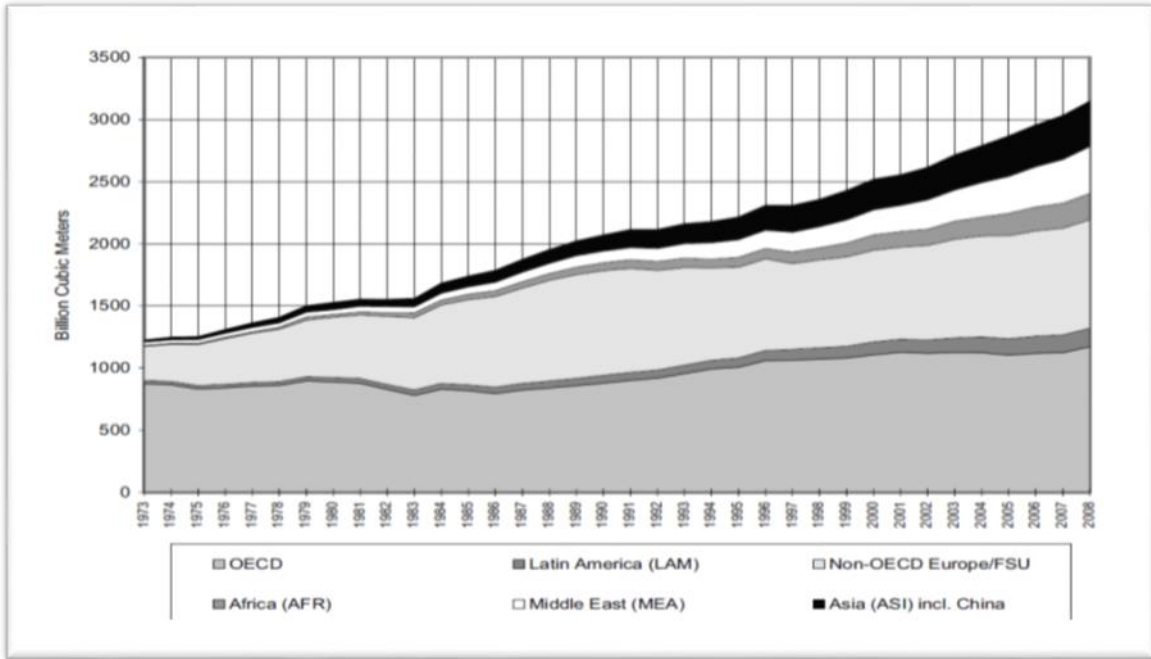


Figure I.2 : Production mondiale du gaz naturel par région.

I.7.1.2. La consommation du gaz naturel

A l'échelle mondiale, les fortes tensions que connaissent actuellement les marchés internationaux des matières premières sont dues principalement à l'essor économique des pays d'Asie, particulièrement la Chine, qui devrait dépasser la consommation énergétique de l'Amérique du Nord en 2020 [10].

Entre 1990 et 2005, la consommation mondiale en gaz naturel a augmenté à un rythme moyen de 1,8 % par an, dont la consommation en 1990 a été de 2071 milliards m³, en 2008 la consommation a atteint 3154 milliards m³ soit presque 25 % de la demande d'énergie [11].

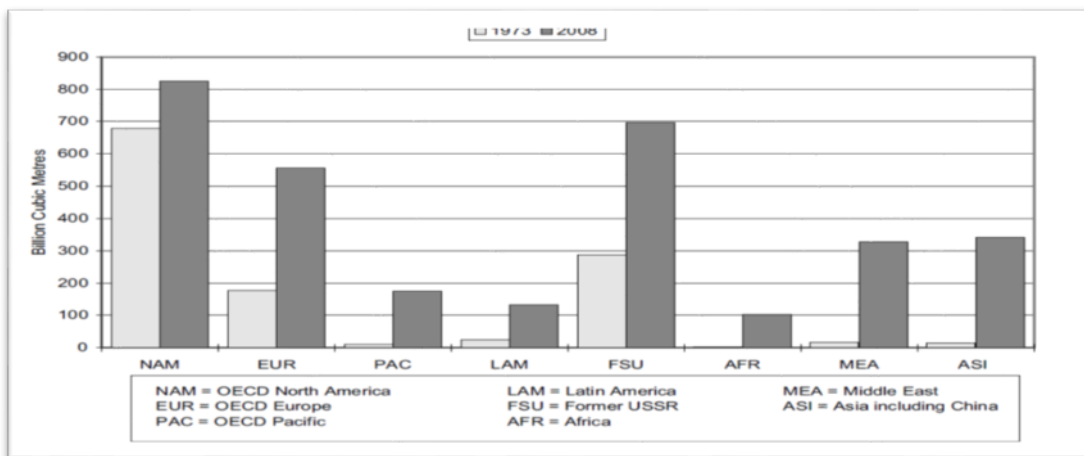


Figure I.3 : Perspective de la consommation mondiale en gaz naturel par région.

I.7.2. Gaz naturel en Algérie

La découverte du gaz naturel pour la première fois en Algérie remonte à l'année 1956, au mois de novembre, dans les champs de HASSI R'MEL et IN-AMENAS au sud du pays. Ces champs renferment l'une des plus importantes réserves mondiales du gaz naturel. Par la suite, ils se sont reliés aux usines de production du gaz naturel liquéfié GNL aux côtes Est et Ouest du pays (SKIKDA et Arzew), par des gazoducs comme moyen d'acheminement. La première compagnie algérienne du gaz nommée CAMEL a été installée à Arzew en décembre 1961, par les sociétés françaises AIR LIQUIDE et SN RIPAL, et la société anglaise CONTH INTERNATIONAL [6].

L'Algérie a une importante industrie du gaz naturel, et elle occupe la 7^{ème} place dans le monde en matière de ressources prouvées en gaz naturel, la 5^{ème} en production (3 % de la production mondiale et de 60 % de la production africaine) [11].

L'Algérie a exporté la majorité de son gaz, soit un volume de 53 milliards m³ vers l'Europe en 2003, essentiellement vers l'Espagne 26 %, vers l'Italie 45 % et vers la France 17 %, et il y a bien sûr les autres pays tels que la Belgique, le Portugal, la Grèce, sans parler aussi de la Turquie, de la Slovénie, de la Tunisie et des Etats-Unis d'Amérique [12].

La consommation interne du gaz naturel dans le secteur énergétique (production d'électricité et de chaleur) est estimée de 10186 millions m³ l'équivalent de 427822 Téra joules en 2007 [13].

I.8. Transport du gaz naturel

L'internationalisation des échanges rend la question de transport sensible, car il comporte des contraintes qui influent sur le développement.

✓ Par gazoduc

C'est l'option la plus répandue, et elle est 4 à 5 fois plus coûteuse que le transport du pétrole par pipeline. Le gaz doit être comprimé tous les 120 à 150 Km par des stations de compression car c'est la différence de pression qui provoque le déplacement du gaz à une vitesse de 15 à 20 Km/h.

✓ Par méthanier

Dans le cas de longues distances ou de difficultés liées aux conditions géopolitiques ou géographiques des pays traversés, le transport est fait par méthanier. Cela nécessite de liquéfier le gaz naturel pour simplifier son transport. Le taux de progression des échanges par méthanier augmente de 7 % par an. Ce type d'échange pourrait représenter 38 % du commerce mondial en 2020 contre 22 % aujourd'hui [14].

I.9. Utilisation du gaz naturel

Le gaz naturel est une source d'énergie polyvalente qui peut être employée dans des domaines très variés.

I.9.1. Utilisateurs domestiques

Le gaz naturel peut être utilisé pour cuisiner, laver, sécher, faire chauffer de l'eau, chauffer une maison (30 % de la consommation du gaz naturel au niveau mondial est destinée à ce secteur).

En outre, les appareils ménagers sont sans cesse améliorés afin de pouvoir être utilisés par le biais de gaz naturel, plus économique et plus sûr (les frais d'exploitation du matériel fonctionnant au gaz naturel sont généralement plus faibles que ceux liés à d'autres sources d'énergie).

I.9.2. Le secteur industriel

Le gaz naturel entre dans la fabrication de la pâte à papier, du papier, de certains métaux, produits chimiques, pierres, argile, verre et dans la transformation de certaines denrées. Il peut également être employé pour le recyclage des déchets, pour l'incinération, le séchage, la déshumidification, le chauffage et la climatisation.

I.9.3. Production d'électricité

Depuis une dizaine d'année, le secteur électrique est devenu le moteur principal de l'augmentation de l'utilisation du gaz naturel dans le monde, une tendance qui devrait se poursuivre.

En général, les centrales électriques fonctionnant au gaz naturel sont moins coûteuses, plus rapides à construire, plus productives et moins polluantes que des centrales utilisant d'autres combustibles fossiles.

I.9.4. Industrie de l'automobile

Plusieurs millions de véhicules fonctionnant au gaz naturel circulent dans le monde (6366500 automobiles à travers le monde en juin 2007 selon l'Association internationale des véhicules au gaz naturel).

Les préoccupations relatives à la qualité de l'air dans la plupart des régions du monde renforcent l'intérêt pour le gaz naturel dans ce secteur. On estime que les voitures utilisant ce type de combustible émettent 20 % de gaz à effet de serre en moins que les véhicules à essence ou diesel [14-15].

I.10. Réserves en gaz naturel

Bien que limitées, ces réserves sont très importantes, et les estimations concernant leur taille, continuent de progresser à mesure que de nouvelles techniques d'exploration ou d'extraction sont découvertes.

Les ressources de gaz naturel sont abondantes et très largement distribuées à travers le monde. On estime qu'une quantité significative de gaz naturel reste encore à découvrir [15].

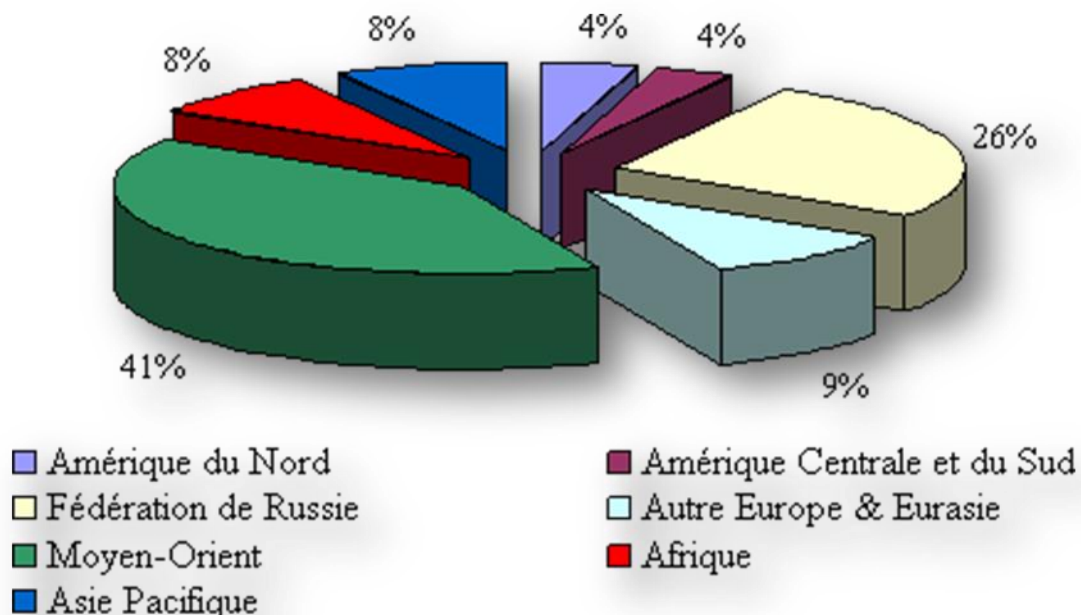


Figure I.4 : Répartition des réserves de gaz naturel en 2006 [15].

CHAPITRE II

Introduction

Le complexe de liquéfaction du gaz naturel GL1K, l'un des principaux pôles d'hydrocarbures de l'Algérie, est situé à environ quatre kilomètres à l'Est de la ville de Skikda.

Le nouveau train GNL dont la capacité de production pouvant atteindre 4.5 millions de tonnes par an, est construit dans les limites géographiques du complexe, et remplace les trois trains de liquéfaction, détruits en 2004 par un incendie et une explosion.

II.1 Description du procédé [16]

Le complexe GL1K comprend des installations de réception du gaz naturel (GN) produit par les champs gaziers de Hassi R'mel. Ce gaz est un mélange d'hydrocarbures dont la teneur en méthane est supérieure à 80 % ; il contient aussi de l'éthane, du propane, du butane, le pentane et des traces d'hydrocarbures lourds. Le GN peut contenir aussi de l'hydrogène H_2 , l'azote N_2 , le gaz carbonique CO_2 et de l'eau H_2O .

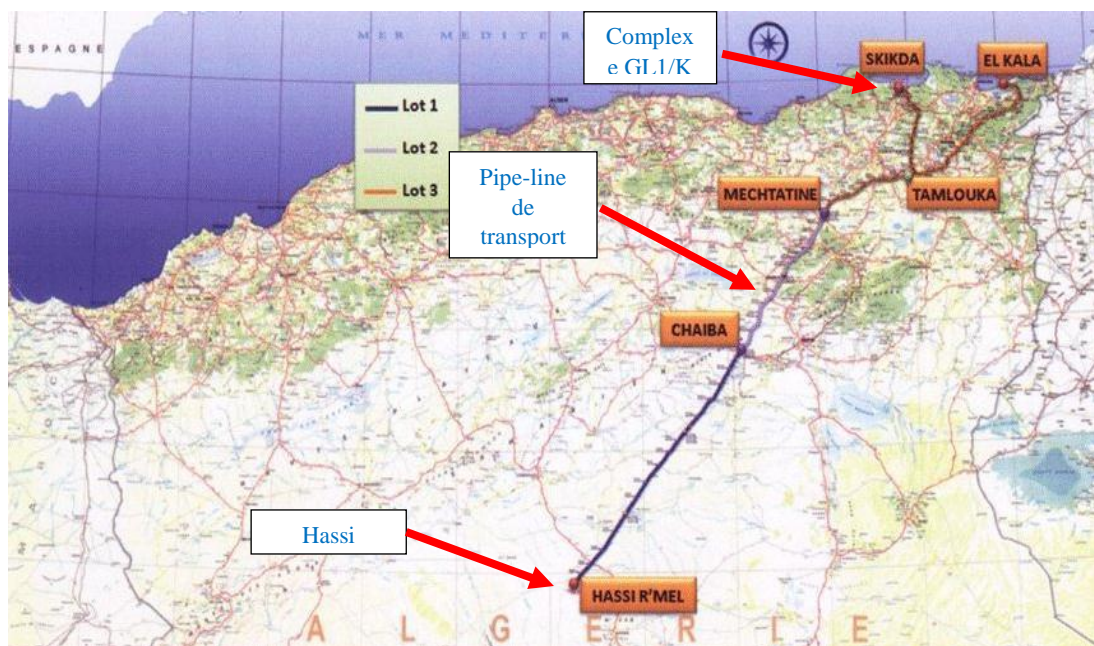


Figure II.1 : Vue cartographique de la situation géographique du champ gazier de Hassi R'mel, la ligne de transport du gaz et le complexe GL1/K.

Les objectifs principaux du complexe sont :

- ✓ Le traitement et la liquéfaction du gaz naturel.
- ✓ L'extraction des sous-produits, à savoir l'éthane, le propane, le butane et le Pentane.

Les installations du nouveau train de GNL sont essentiellement constituées des unités suivantes :

II.1.1 L'unité de comptage, de conditionnement et le système de compression du gaz d'alimentation

Trois compteurs totalisateurs, c.-à-d. deux en fonctionnement, et un en standby, pour mesurer et comptabiliser tout le gaz naturel entrant aux unités existantes et au nouveau train de GNL.

La zone de conditionnement de l'alimentation de l'usine est conçue pour supprimer les contaminants solides et liquides, pour mesurer le gaz d'alimentation et pour mettre le gaz à la pression requise par l'usine de traitement GNL en aval.

II.1.2 Distribution du gaz naturel (GN)

Le gaz naturel d'alimentation est distribué vers plusieurs lignes pour des différents usages.

- Pour le nouveau train de GNL :
 - ✓ Ligne de 36'' d'alimentation principale,
 - ✓ Ligne de 6'' du 1^{er} démarrage des turbo alternateurs,
 - ✓ Ligne de 10'' d'appoint GN pour les besoins suivants :
 - Protection contre la mise sous vide des bacs de stockage du GNL, du butane, du propane et de la gazoline,
 - Balayage des collecteurs de torche,
 - Pilotes torche et brûlot,
 - Pressurisation / vaporisation du liquide au niveau du Blow down,
 - Gaz d'assistance au brûlot.
- Pour les unités existantes (GL1/K) :
 - ✓ Ligne de 20'' vers l'unité 10,
 - ✓ Ligne de 6'' vers le réseau combustible,
 - ✓ Ligne de 3'' vers le pôle 2 (torche, GPL, HELISON).

Une prise de gaz d'alimentation (en amont du séparateur pour le compresseur de gaz d'alimentation) permet de répondre à la demande totale de gaz combustible de l'unité GNL.

II.1.3 L'unité de décarbonatation

Une unité d'enlèvement du gaz acide (AGRU) est prévue pour retirer le CO₂ de l'alimentation en gaz brut, placé en aval de l'unité de conditionnement. Ce processus sera effectué via absorption chimique dans un solvant pauvre préparé à partir d'une solution aqueuse de méthyle diéthanolamine activée (MDEA).

L'eau condensée entraînant les vapeurs d'amine sera récupérée dans l'unité de séchage, et renvoyée vers le ballon de reflux du régénérateur de solvant.

II.1.4 L'unité de déshydratation du gaz naturel décarbonaté (séchage)

L'unité de déshydratation située en aval de l'AGRU, sert à enlever l'eau du gaz d'alimentation, afin d'éviter la solidification de l'eau contenue dans le GN et donc le bouchage dans les sections cryogéniques de l'unité de liquéfaction.

Le gaz d'alimentation des sécheurs subira un pré- refroidissement pour réduire la teneur en eau qui sera éliminée au niveau d'un séparateur, et ceci réduit la charge sur les sécheurs à tamis moléculaire (billes d'alumine).

II.1.5. L'unité de démercurisation

Le gaz sec traité, en provenance des sécheurs, est filtré avant d'être envoyé à l'unité d'enlèvement du mercure.

Le gaz d'alimentation passe dans l'absorbeur de mercure qui contient un lit de charbon actif imprégné de soufre, ce qui réduit la teneur en mercure du gaz à moins de 5 Ng/Nm³.

II.1.6. L'unité de liquéfaction du gaz naturel

Un échangeur principal (15-MC05) du type bobiné pour la liquéfaction. Cet échangeur est constitué d'une calandre et de plusieurs faisceaux de tubes en aluminium enroulés autour d'un noyau central.

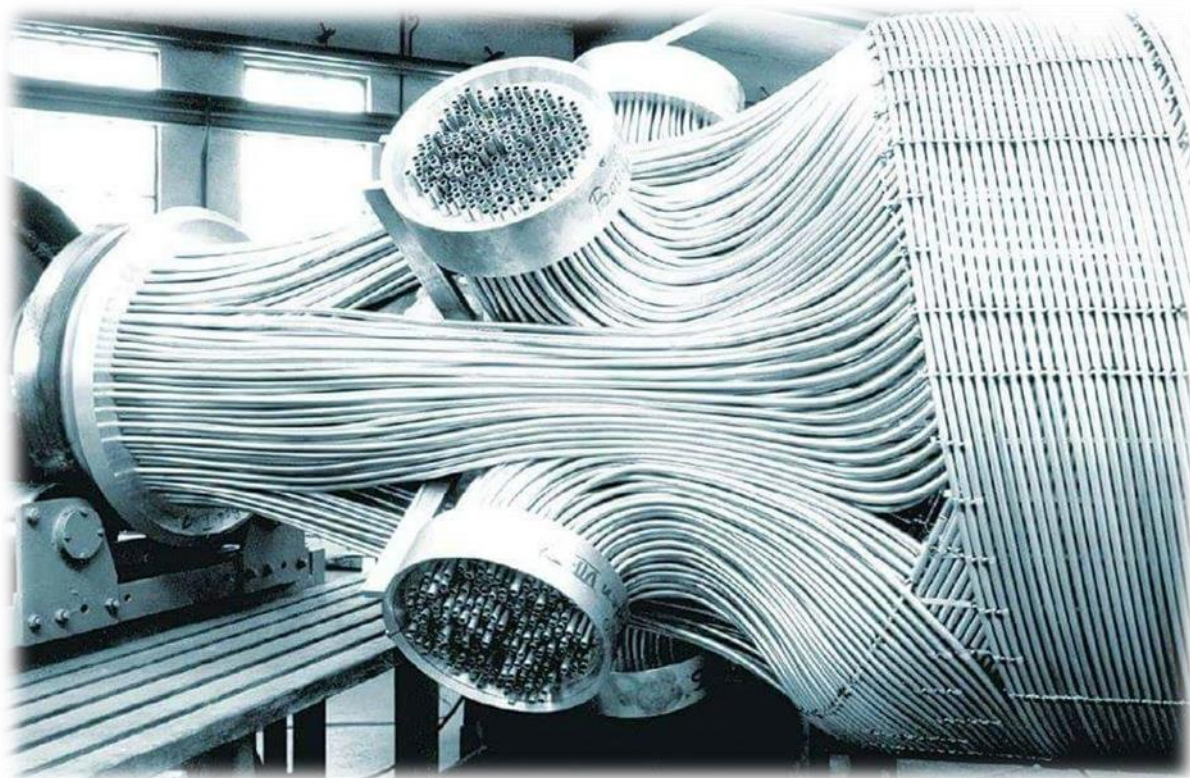


Figure II.2: Echangeur bobiné.

Le flux de méthane refroidi depuis l'échangeur principal est une combinaison de vapeur de tête de la tour de lavage, de distillat de tête du déméthaniseur et de réinjection du GPL, ceux-ci sont les principaux composants du GNL envoyé vers l'échangeur principal pour la liquéfaction.

(Le flux GNL qui quitte l'échangeur principal traverse le détendeur où la pression est réduite. Le GNL est ensuite envoyé vers le ballon de détente à hélium/GNL. Depuis ce ballon, le produit GNL liquide est envoyé d'abord dans le rebouilleur du rectificateur d'azote où la majorité de l'azote est retirée. Le GNL s'écoule ensuite en bas du rectificateur d'azote dans les pompes d'aspiration qui envoient le GNL vers les réservoirs de stockage.

➤ Détendeurs

Deux détendeurs liquides sont installés sur le courant du produit GNL et MR liquide qui quittent l'échangeur principal et produisent de l'électricité qui est associée à l'alimentation électrique externe qui alimente les circuits de distribution locaux pour le nouveau train GNL.

➤ Extraction de l'hélium

Le GNL du haut de l'échangeur principal passe au travers du détendeur liquide et est détendu brusquement dans le ballon de détente d'hélium/GNL où le courant GNL et le courant de vapeur riche en hélium sont séparés. Le courant riche en hélium est envoyé vers une nouvelle usine à hélium où l'hélium (et un peu d'azote) est extrait et liquéfié.

II.1.7 L'unité de la réinjection du GPL

Le butane sortant du débutaniseur est refroidi, puis mélangé avec l'éthane et le propane issus de l'unité de fractionnement pour être réinjecté dans le circuit GNT de l'échangeur principal.

II.1.8 L'unité de Fractionnement

L'unité de fractionnement a pour but de séparer les constituants dits "lourds" du gaz naturel afin de respecter les spécifications commerciales du GNL.

Ces constituants sont : l'éthane, le propane, le butane et la gazoline (C⁵⁺).

Il faut signaler que le nouveau train de GNL est dimensionné pour pouvoir aussi fonctionner avec réinjection totale de ces produits.

II.1.9 Les circuits de réfrigération

Le nouveau train GNL utilise le procédé de liquéfaction APCI (Air Product and Chemicals Incorporation).

Ils existent trois circuits fermés de réfrigération (propane-réfrigération, external propane et le circuit MR).

Les deux premiers sont utilisés pour le pré-refroidissement de la charge au cours de son traitement dans des échangeurs de type faisceaux-calandre, mais aussi de refroidir le réfrigérant mixte MR (Mixed Réfrigérant).

Le circuit de propane-réfrigération participe au refroidissement des 2/3 de la quantité de MR, et la boucle externe de réfrigération au propane sert à refroidir le reste (1/3).

Le circuit de MR est destiné à liquéfier le GNT (gaz naturel traité) au niveau de l'échangeur principal (échangeur bobiné 15-MC05).

Chapitre II : Présentation du complexe GL1/K

La compression du MR est étagée avec refroidissement intermédiaire réalisé par des aéroréfrigérants (16-MC01, 16-MC02 et 16-MC03). Elle contient les compresseurs basse pression 16-MJ01 et moyenne pression 16-MJ02. Ces deux compresseurs sont entraînés par une turbine à gaz 16-MJ01-GT. Le compresseur haute pression entraîné par la turbine à gaz 16MJ04-GT laquelle entraîne le compresseur 16-MJ04 de la boucle de propane réfrigérant en même temps.

II.1.10 Charge traitée et capacité de production

Le méga train peut fonctionner avec ou sans extraction de sous-produits (Ethane, Propane, Butane, Gazoline). La capacité annuelle de production est présentée ci-dessous.

Tableau II.1 : Principaux produits du complexe CL1K de Skikda.

Le produit	La quantité
GNL	4,5 MTPA
Ethane	164700 TPA
Propane	207600 TPA
Butane	171400 TPA
Gazoline	108700 TPA
Charge riche en hélium	163.1 MNM3/A

II.1.11 L'unité 80 (stockage et expédition)

Elle s'occupe du stockage, le transfert et le chargement des produits finis (GNL, propane, butane, gazoline). Le chargement des méthaniers se fait au niveau de deux quais (appontement M1 et M2).

La capacité de stockage est présentée dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : capacité de stockage des produits au niveau du complexe GL1K de Skikda.

Le produit stocké	Bac de stockage	Capacité de stockage M3
GNL	71-MF01	150000
	81-TK103	70000
	81-TK104	70000
Propane	76-MF01	66200
	TK311	12500
Butane	76-MF02	66200
	TK411	20000
Gazoline	76-MD03	3760

II.2 Les utilités

Les utilités sont des unités ayant pour rôle de fournir les éléments nécessaires au fonctionnement du nouveau train de GNL.

Ces unités produisent et distribuent l'énergie électrique, l'air service et l'air instrument. Elles gèrent également les réseaux communs tels que les systèmes torches, eaux diverses, azote, huile chaude et comptage de gaz naturel.

II.2.1 Production des utilités

Le nouveau train de GNL ne dispose pas d'équipements de production d'azote, à l'exception d'une bouteille de stockage liquide et d'évaporateurs. Il est connecté sur le réseau de GL1/K qui est alimenté en azote gazeux par :

- ✓ COGIZ à partir du complexe d'extraction d'hélium (HELLISON) où l'azote est extrait à partir de la charge de gaz riche en hélium envoyée par le nouveau méga train.
- ✓ MESSER ALGERIE où l'azote est extrait à partir de l'air.

Un schéma des différentes liaisons du méga train avec des complexes voisins fournisseur de l'azote est présenté ci-dessous.

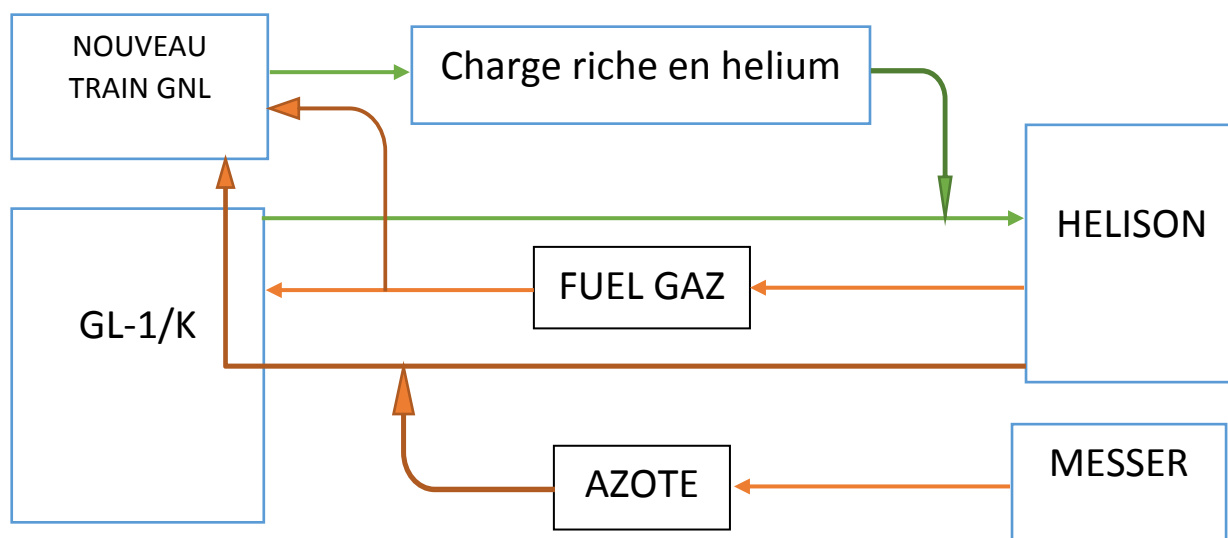


Figure II.3: Liaisons SONATRACH – HELISON -MESSER

L'incinérateur

L'incinérateur (65-MB07) brûle les vapeurs VOC (Composants Organiques Volatils) évacuées par le ballon de reflux de la colonne de régénération de MDEA (12-MD39). Ces composés peuvent avoir un effet direct sur la santé et ont des répercussions importantes sur l'effet de serre.

Sa gestion se fait par le DCS et au niveau d'un panneau local. L'incinérateur utilise du fuel gaz basse pression. Il est alimenté en air de combustion par un ventilateur. Le pilote est alimenté avec du gaz naturel.

Système Torche et Brulot

Le but de ce système est de procéder au brûlage sécurisé des hydrocarbures gazeux et liquides évacués par les unités aussi bien en marche normale que lors des démarrages, arrêts et déclenchements des unités.

Le système comprend :

- Une torche à trois futs (65-MB01/02/11) montés sur un même derrick d'une hauteur de 150m pour le traitement des flux d'hydrocarbures envoyés par GL1K ;
- Une torche basse pression 71-MB01 (torche confinée) pour le traitement du boil off de GNL et de GPL torchés ;
- Un brulot dont le rôle est de brûler les liquides générés durant les démarrages et les arrêts et qui ne sont pas vaporisés dans les ballons de torche. Ce brulot est divisé en deux parties :
 - ✓ 65-MB08 : dédié aux liquides torchés par le Nouveau Train.
 - ✓ 65-MB09 : dédié aux liquides torchés par GL1K auxquels s'ajoutent le propane et le butane hors spécification torchés par le Nouveau Train.

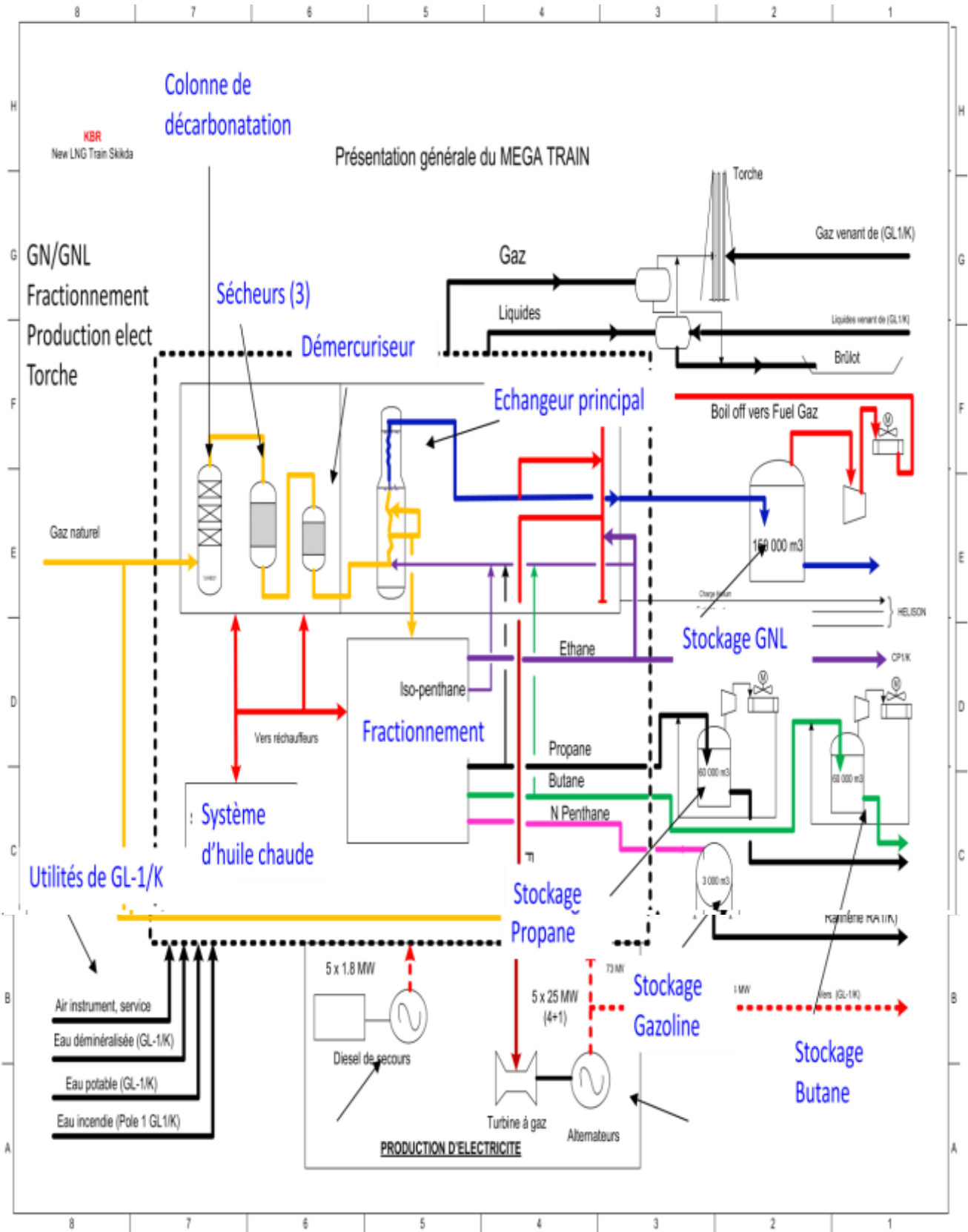


Figure II.4 : Présentation générale du méga train

Conclusion

L'industrie du GNL constitue l'un des piliers incontestables de l'économie mondiale néanmoins elle doit faire face, depuis quelques années, à une image peu flatteuse d'industrie dangereuse et polluante.

En Algérie, c'est l'incident de l'usine GL1/K du 19 janvier 2004 et ses conséquences dramatiques qui ont lancé la sollicitude d'un procédé industriel plus récent et générant moins de rejets polluants ce qui a conduit par la suite à la construction du méga train qui est doté d'innovation technologique avancée.

CHAPITRE III

Introduction :

Le méga train utilise 3 boucles de réfrigération pour la liquéfaction du gaz naturel et pour l'unité de fractionnement.

- ❖ Une boucle de réfrigération principale de propane.
- ❖ Une boucle de réfrigération MR (Mixed Réfrigérant).
- ❖ Une boucle supplémentaire (ou externe) de propane.

Les deux premières boucles de réfrigération qui ont pour but de :

- ❖ Refroidir les 2/3 du réfrigérant MR et le gaz décarbonaté.
- ❖ Refroidir et liquéfier le gaz naturel.

III.1. Présentation de la boucle de réfrigération au propane : [17]

Le propane réfrigéré est utilisé à plusieurs niveaux pour :

- Refroidir les 2/3 du réfrigérant MR de 40°C à -36°C avant son entrée dans l'échangeur principal.
- Refroidir le gaz naturel à -35°C dans les pré-refroidisseurs de gaz 15-MC01/0203 avant son entrée dans la tour de lavage.
- Refroidir le gaz décarbonaté à 21°C dans le refroidisseur 13-MC01 avant son entrée dans la section de déshydratation.

Le propane refoulé à 17 bars effectifs et 70°C par le 4^{ème} étage du compresseur est refroidi à 49°C et complètement condensé dans les aéroréfrigérants 16-MC09 ; le propane liquide ainsi obtenu est ensuite stocké dans le ballon 16-MD06.

A partir de ce ballon, le propane est refroidi à 30°C dans les aéroréfrigérants 16-MC10 pour ensuite alimenter les échangeurs du réfrigérant mixte (16-MC04/05/06/07) et les échangeurs du gaz naturel (13-MC01 et 15-MC01/02/03) et va les refroidir par détente et vaporisation côté calandre. Le propane vaporisé revient respectivement vers le 4^{ème}, 3^{ème}, 2^{ème} et 1^{er} étage du compresseur de propane.

En cas de nécessité, un appoint de propane peut être fait à partir de l'unité de fractionnement ou du bac de stockage de propane 76-MF01.

III.1.1. Les équipements constituant la boucle de réfrigération propane

❖ **Compresseur propane 16-MJ04**

Le turbo compresseur propane de type centrifuge à 4 étages, d'une puissance de 51.880Mw et une vitesse de rotation 3600rpm.

L'aspiration du 1^{er} étage est à une pression de 0,06 bars eff. et une température de -39°C.

Le refoulement au 4^{ème} étage est à une pression de 17 bars eff. et une température de 70°C.

❖ **Turbine à gaz 16-MJ04-GT**

Cette turbine de puissance d'entraînement de 82,9Mw entraîne également le compresseur 16-MJ03 (MR-HP), attelé sur le même arbre (28,5Mw).

❖ **Moteur d'assistance 16-MJ04-M**

Ce moteur est monté sur la même ligne d'arbre que le turbo compresseur propane ; il est du type à vitesse variable avec une puissance de 17Mw et est utilisé pour assister la turbine à gaz durant le démarrage.

❖ **Ballons d'aspiration propane**

Tableau III.1. Caractéristiques des ballons d'aspiration propane.

	16-MD02 (Asp. 1 ^{er} étage)	16-MD03 (Asp. 2 ^{ème} étage)	16-MD04 (Asp. 3 ^{ème} étage)	16-MD05 (Asp. 4 ^{ème} étage)
Volume (m ³)	58	72	71	79
Pression (beff)	0,06	0,8	2,5	5
Temp (°C)	-39	-26	-8,5	11
Débit (T/H)	260	395	367	568

❖ **Aéro-réfrigérant 16-MC11**

Le rôle de cet aéro-réfrigérant est de refroidir de 69°C à 50°C le propane recyclé durant le démarrage ou le déclenchement du compresseur 16-MJ01. Il comporte 3 caissons, 6 faisceaux et 9 moto- ventilateurs.

❖ **Aéro-réfrigérant 16-MC09**

Le rôle de cet aéro-réfrigérant est de refroidir de 69°C à 50°C et de condenser totalement le propane refoulé par le compresseur 16-MJ01. Il comporte 30 caissons, 60 faisceaux, 90 moto ventilateurs.

❖ **Aéro-réfrigérant 16-MC10**

Le rôle de cet Aéro-réfrigérant est de refroidir de 49°C à 34°C le propane liquide avant sa distribution vers les échangeurs. Il comporte 6 caissons, 12 faisceaux, 18 moto-ventilateurs.

❖ **Ballon accumulateur 16-MD06**

Le rôle de ce ballon est de stocker le liquide condensé par l'aéro-réfrigérant 16-MC09. Il permet également le dégazage des produits légers en cas de nécessité. Sa capacité est de 102 m³.

❖ **Ballon de transfert 16-MD07**

Le rôle de ce ballon est de :

- Stocker le liquide provenant des purges du propane à partir des échangeurs de la section réfrigération et du fractionnement.
- Assurer l'appoint en propane liquide vers la boucle de propane.
- Stocker le propane venant de l'unité de fractionnement pour constituer la réserve d'appoint. Il permet également le dégazage des produits légers en cas de nécessité. Sa capacité est de 7m³.

❖ Pompe de transfert du propane 16-MJ05

Le rôle de cette pompe est d'effectuer les transferts de propane vers la boucle de réfrigération de propane et vers le bac de stockage de propane 71-MF01 en cas de nécessité. Son débit est de $85\text{m}^3/\text{hr}$ et elle est dimensionnée pour vidanger toute la boucle en 12 heures.

III.2. Présentation de la boucle de réfrigération MR

Le rôle de cette boucle est de refroidir et liquéfier le gaz naturel de -40°C à -146°C dans l'échangeur principal.

Le liquide réfrigérant utilisé est du MR (Mixed Réfrigérant) fabriqué à partir des constituants du gaz naturel produits dans l'unité de fractionnement.

La composition en % molaire du MR est comme suivant:

- Azote = 5.22%
- Méthane = 48.90%
- Ethane = 37.15%
- Propane = 8.73%

le réfrigérant mixte MR refoulé par le corps basse pression du compresseur (16-MJ01) puis par le corps moyenne pression (16-MJ02) est refroidi dans des aéro-réfrigérants intermédiaires avant d'être envoyé à l'aspiration du corps haute pression (16-MJ03).

Il est à noter que :

- Les compresseurs MR-BP et MP (16-MJ01 et 16-MJ02) sont entraînés par la même turbine à gaz, 16-MJ01GT.
- Le compresseur MR-HP (16-MJ03) est entraîné par la turbine du compresseur propane 16-MJ04GT.

Après le refoulement du corps HP (16-MJ03), le MR est refroidi dans les aéro-réfrigérants 16-MC03, puis divisé en deux parties :

- 2/3 de la quantité de MR traverse en série 4 échangeurs / évaporateurs 16-MC04/05/06/07 refroidis par la boucle principale propane.
- 1/3 de la quantité de MR traverse en série 4 échangeurs / évaporateurs 20-MC04/05/06/07 refroidis par la boucle externe propane.

Chapitre III : Description de la section réfrigération

Le MR sort de ces deux séries d'échangeurs à -35°C sous forme liquide/vapeur.

Il est récupéré dans le ballon 16-MD01 où le liquide et les vapeurs sont séparés, ensuite envoyés séparément vers l'échangeur principal pour s'auto refroidir et liquéfier le gaz naturel.

III.2.1. Les équipements de la boucle de réfrigération MR

❖ Ballon d'aspiration 16-MD01

Le rôle de ce ballon est de retenir le liquide éventuellement entraîné par le MR revenant de l'échangeur principal 15-MC05 et allant vers l'aspiration du compresseur 16-MJ01 (BP).

Les gouttelettes de liquide sont retenues par un séparateur (demister) monté à l'intérieur du ballon à la partie haute.

Le liquide retenu est purgé vers le collecteur de torche froide.

❖ Turbine à gaz 16-MJ01-GT

Son rôle est d'entraîner les compresseurs MR 16-MJ01 (BP) et 16-MJ02 (MP). Sa puissance est de 83,300 Mw à 24°C et possède un nombre d'étages de 3 et une vitesse de rotation de 3600 rpm. Le compresseur d'air qui alimente la turbine est du type axial à 17 étages.

❖ Compresseur MR 16-MJ01.

De type axial, basse pression (LP) avec une puissance de 60,779 Mw et une vitesse de rotation de 3600 rpm. La pression d'aspiration est de 3.44 b.eff. et la température d'aspiration de -39°C . Sa pression de refoulement de 20.16 b.eff. et sa température de refoulement est de $62,43^{\circ}\text{C}$.

Protection contre l'anti pompage :

- ✓ Recyclage chaud : s'ouvre au déclenchement ferme en marche.
- ✓ Recyclage froid : fonctionne sous le contrôle du régulateur anti pompage. Il s'ouvre en grand au déclenchement.
- ✓ Recyclage intermédiaire : ouvert au démarrage pour assurer un taux de compression aux premières rangées du compresseur.

❖ **Compresseur MR 16-MJ02.**

C'est le compresseur moyenne pression (MP) du type centrifuge. Sa puissance est de 19.667 Mw et sa vitesse de rotation de 3600rpm. Il fonctionne avec une pression et une température d'aspiration : 19,61 b.eff. / 34 °C. La pression et la température de refoulement sont 31.35 b.eff. et 65.48°C.

Protection contre l'anti pompage :

Recyclage froid : fonctionne sous le contrôle du régulateur anti pompage. Il s'ouvre en grand au déclenchement.

❖ **Moteur d'assistance démarrage 16-MJ01-M**

Son rôle est d'assister la turbine à gaz 16-MJ01-GT pour en diminuer la charge au démarrage. Elle possède une puissance de 17Mw et une vitesse variable.

❖ **Aéro-réfrigérant 16-MC01.**

A pour rôle de refroidir le MR au refoulement du compresseur 16-MJ01 A 34 C0.

Ce condenseur est un aéro-réfrigérant constitué de 5 caissons, 10 faisceaux et 15 moto-ventilateurs.

❖ **Aéro-réfrigérant 16-MC02.**

Il a pour mission de refroidir le MR au refoulement du compresseur 16-MJ02 A 34 C0.

Ce condenseur est un aéro-réfrigérant constitué de 5 caissons, 10 faisceaux et 15 moto-ventilateurs.

❖ **Compresseur MR 16-MJ03.**

C'est le compresseur haute pression (HP) du type centrifuge avec une puissance de 28.585 Mw. Sa vitesse de rotation est de 3600rpm et sa pression et température d'aspiration de 30.80 b.eff./ 34,72 °C. La pression et température de refoulement sont respectivement 62.09 b.eff/ 85.88 °C.

Chapitre III : Description de la section réfrigération

Protection contre l'anti pompage :

Le recyclage froid fonctionne sous le contrôle du régulateur anti pompage. Il s'ouvre en grand au déclenchement.

❖ **Aéro-réfrigérant 16-MC03.**

A pour rôle de refroidir le MR au refoulement du compresseur 16-MJ02 A 41 C0.

Ce condenseur est un aéro-réfrigérant constitué de 6 caissons, 12 faisceaux et 18 moto-ventilateurs.

❖ **Échangeur 16-MC04/05/06/07.**

Le rôle de cet échangeur est de refroidir les 2/3 du MR de 41 à -35 °C avant l'entrée de l'échangeur principal 15-MC05.

Les "frigories" sont fournies par la détente du propane (boucle principale du propane) côté calandre et chaque niveau du compresseur propane possède son propre échangeur et ballon d'aspiration.

❖ **Échangeur 20-MC04/05/06/07.**

Le rôle de cet échangeur est de refroidir le 1/3 du MR de 41 à -35°C avant l'entrée de l'échangeur principal 15-MC05.

Les "frigories" sont fournies par la détente du propane (boucle externe du propane) côté calandre et chaque niveau du compresseur propane possède son propre échangeur et ballon d'aspiration.

❖ **Ballon de séparateur 16-MD08**

Le rôle de ce ballon est de séparer le MR sortant des échangeurs 16 et 20 MC04/05/06/07.

La phase vapeur, comprenant des constituants légers constituera le réfrigérant MR vapeur pour le bout froid de l'échangeur principal.

La phase liquide, comprenant des constituants plus lourds constituera le réfrigérant liquide pour le bout médian et le bout chaud de l'échangeur principal.

CHAPITRE V

Introduction :

Les systèmes de refroidissement sont fondés sur les principes de la thermodynamique. Ils facilitent les échanges de chaleur entre le fluide de procédé et le réfrigérant ainsi que le rejet de la chaleur non récupérable dans l'environnement. Les systèmes de refroidissement industriel peuvent être classés selon leur conception et le type de réfrigérant utilisé: eau ou air ou une combinaison des deux.

Les systèmes à une passe sont généralement utilisés dans des installations de grande capacité localisées sur des sites disposant de sources d'eau de refroidissement et d'eaux de surface suffisantes. En absence de source d'eau sûre, on utilise des systèmes de refroidissement forcé (tours de refroidissement, également appelées aéro-réfrigérants).

Les premiers aéro-réfrigérants sont apparus durant les années 40, mais c'est seulement vers les années 60 que la maîtrise technologique a vraiment commencées.

On distingue deux grandes classes d'aéro-réfrigérants :

- Les aéro-réfrigérants à convection naturelle.
- Les aéro-réfrigérants à convection forcée.

IV.1. Les aéro-réfrigérants à convection naturelle

Ce sont des échangeurs à tirage induit, l'air circule dans une tour grâce aux différences de densités dues aux différences de températures entre l'intérieur de la tour et l'extérieur. Les tours peuvent avoir des hauteurs de 150mètres. La vitesse de l'air peut dans certains cas être aussi élevée que dans les systèmes utilisant des ventilateurs. D'une manière générale, lorsque les puissances à extraire sont très grandes, l'énergie dépensée dans les ventilateurs devient importante, l'utilisation de ce type d'aéro-réfrigérants se justifie. Les centrales thermiques et nucléaires utilisent les aéro-réfrigérants à convection naturelle. [18]

IV.2 Aéro-réfrigérants utilisant un ventilateur

On peut les classer selon le mode d'écoulement de l'air par rapport au ventilateur et selon la position du faisceau (voir figures).

L'air de refroidissement peut être soit forcé à travers le faisceau (tirage forcé), soit tiré à travers celui-ci (tirage induit).

Dans l'industrie pétrolière, on rencontre le plus souvent des aéro-réfrigérants de types horizontaux à tirage forcé ou induit. L'industrie chimique utilise les deux types précédents, on trouve aussi de même des aéro-réfrigérants de type incliné. L'industrie du conditionnement de l'air et du froid utilise tous les types cités.

Lorsque deux aéro-réfrigérants fournissent le même débit volume d'air, le meilleur refroidissement et le meilleur débit masse est obtenu par refroidissement à tirage forcé. Pour obtenir la même efficacité que le tirage forcé, le tirage induit doit fournir plus de puissance. Malgré cet inconvénient, le tirage induit est préféré pour les avantages suivants qu'il procure :

- Une distribution de l'air mieux répartie.
- Le niveau de bruit au sol est plus faible qu'en configuration forcée.
- La position de la hotte et du ventilateur assure une bonne protection du faisceau contre les conditions climatiques (pluies, rayonnement).
- L'effet cheminé est favorable à l'air induit.
- La vitesse de sortie de l'air chaud est à 2 à 2.5 fois plus grande qu'en air forcé, ce qui réduit les risques de recirculation de l'air, notamment en cas de vents latéraux.
- Une protection de la surface d'échange thermique contre certains dommages climatiques extrêmes tels que : verglas, grêle, grosses précipitations, neige et rayonnement solaire.

La ventilation en tirage induit présente aussi des inconvénients par rapport au tirage forcé :

- Pour un même débit massique d'air en circulation, la puissance du ventilateur en tirage induit est plus grande.

Les ventilateurs et même les moto-ventilateurs reçoivent l'air chaud tiré dont la température ne doit pas être excessive. 70°C pour des pales en plastique, et 100°C pour les pales en aluminium. [19] .

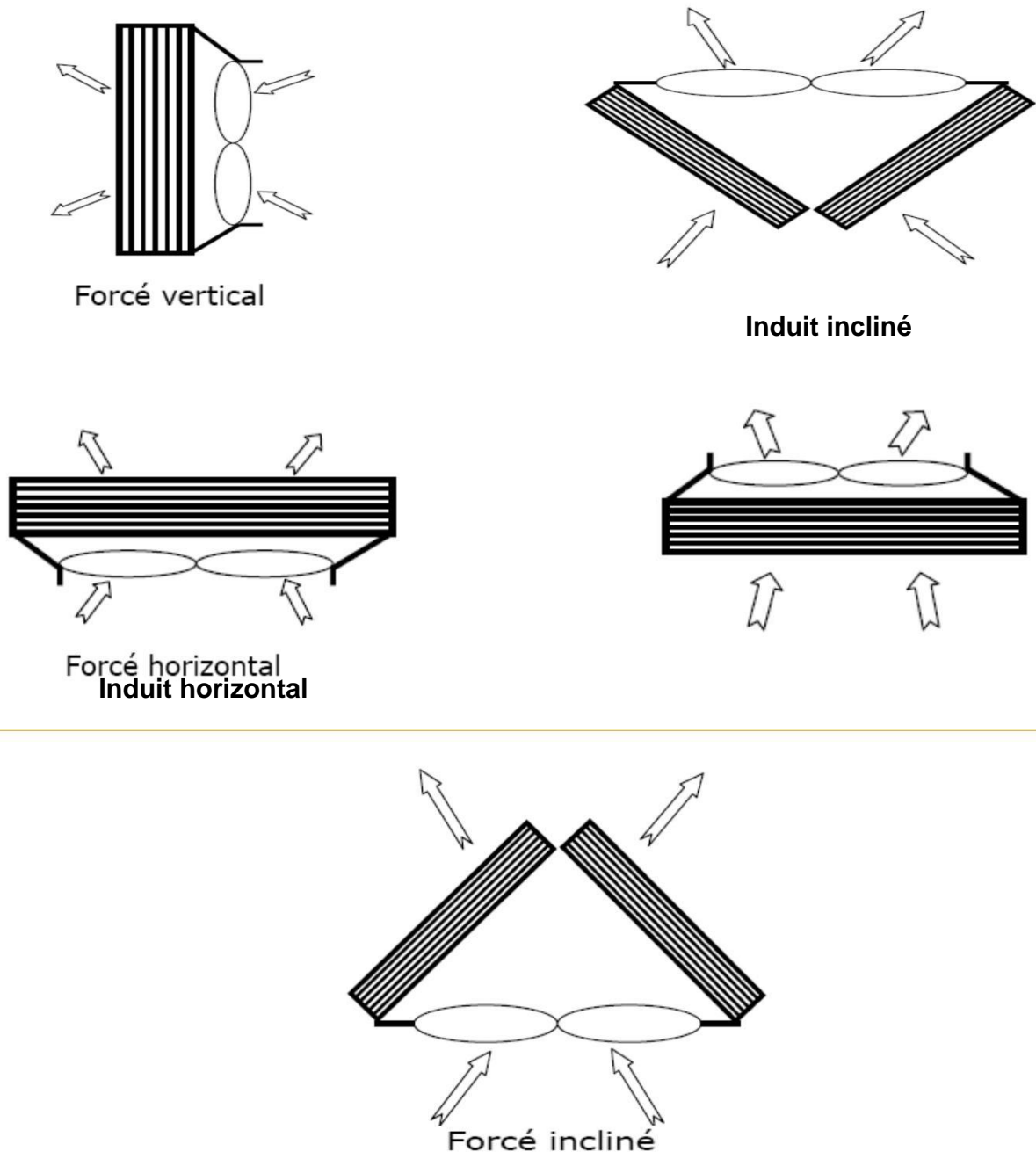


Figure IV.1. Les différents types des aéro-réfrigérants. [20]

IV.3. Les aéro-réfrigérants en circuit ouvert :

L'eau de refroidissement est refroidie par contact avec l'air. Les réfrigérants atmosphériques sont équipés de dispositifs qui améliorent le contact air/eau. Le courant d'air peut être créé par un tirage forcé (ventilateurs) ou par tirage naturel. Les aéro-réfrigérants à circulation d'air forcée sont très souvent utilisés pour les petites et les grandes capacités. Les aéro-réfrigérants à tirage naturel sont essentiellement utilisés dans les installations de grande capacité (production d'électricité, p. ex.). [19]

IV.4. Les aéro-réfrigérants en circuit fermé :

Dans les systèmes en circuit fermé, les tubes ou les serpentins dans lesquels le réfrigérant ou le fluide de procédé circulent sont refroidis et refroidissent à leur tour le fluide qu'ils contiennent. Dans les systèmes par voie humide, un courant d'air refroidit par évaporation les tubes ou les serpentins qui sont aspergés d'eau. Dans les systèmes par voie sèche, seul un courant d'air circule dans les tubes ou les serpentins. L'un et l'autre système peuvent être équipés de serpentins munis d'ailettes qui permettent d'agrandir la surface de refroidissement et donc d'améliorer l'efficacité de la réfrigération. [19].

IV.5. Les normes et les codes de construction concernant les aéro-réfrigérants

Etant donné que les aéro-réfrigérants sont considérés comme des réservoirs sous pressions, la plupart des aéro-réfrigérants industriels répondent à la norme américaine ASME (section VI), même s'il existent des normes internationales ISO 9000 ou nationales comme ISPEL, BS, AS, CODAP pour la France, ADMERKBLATT pour les allemands, STOOMWEZEN, . Pour l'industrie pétrochimique la plupart des aéro-réfrigérants doivent en

Plus répondre à l'API661 (Air-Cooled Heat Exchangers for General Refinery Service). Les spécifications de l'API sont très exigeantes en ce sens qu'elles permettent de donner toutes les informations favorisant une conception et une fabrication d'aéro-réfrigérants avec un minimum élevé de qualité. Ces spécifications incluent également des articles tels que matériaux galvanisés, types de peintures, types de distributeurs, les plates formes et les allées pour l'entretien, les commandes, et les charges externes sur l'aéro-réfrigérants.

❖ Champ d'application des aéro-réfrigérants

- Industries pétrochimiques.
- Stations de compression de gaz Stockage de gaz.
- Unité de production de PVC, polyéthylène, fibre de verre.
- Usines de soude caustique.
- Usines de coke.
- Usine de transport et de manipulation d'ammoniaque.
- Usines de caoutchouc.
- Industrie du froid et du conditionnement de l'air.

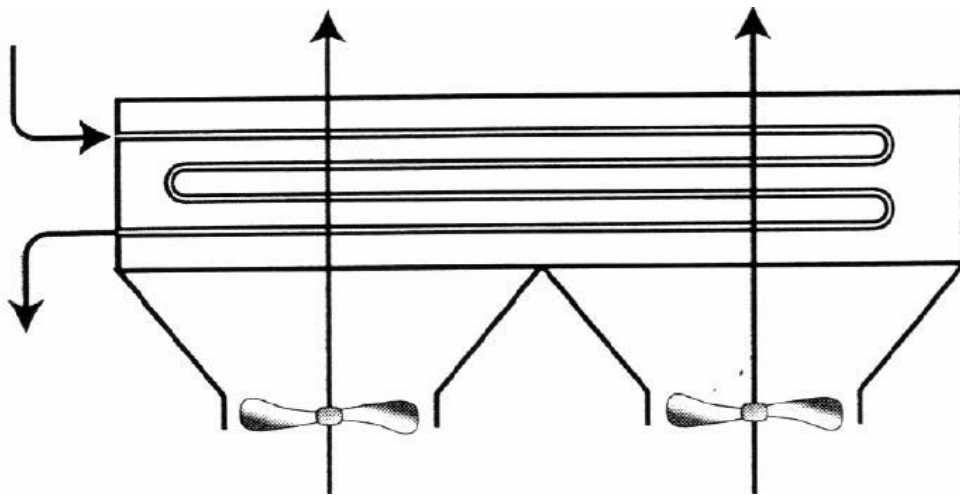


Figure IV.2. Aéro-réfrigérant type forcé. [20]

IV.6. Avantages et inconvénients des aéro-réfrigérants par rapport au refroidissement à l'eau.

Absence de l'éventualité de contaminer le fluide chaud par le fluide froid.

6.1. Avantages du refroidissement à air

- Disponibilité en quantités illimitées de l'air
 - L'emplacement de l'aéro-réfrigérants n'est pas conditionné
 - Les frais d'entretien sont faibles (20à30%) par rapport au refroidissement à l'eau.
 - Grande pureté de l'air tout le long de l'année
 - Pas de calcaire, de sel ou de dépôts, pas de formation de substances organiques
- Peu corrosives et peu de problèmes de nettoyage

- Pas besoin de suivre la qualité de l'air et pas de traitement chimique à faire Peu d'impact sur l'environnement.
- Il est facile de localiser d'éventuel les fuites.
- Pas de problèmes de pollution.
- Corrosion réduite des tubes.
- Coût de maintenance faible.

6.2 Inconvénients du refroidissement à air

- L'air est mauvais convecteur, il nécessite par conséquent de munir les tubes d'ailettes.
- L'air ne peut refroidir à des températures basses en raison de sa faible capacité calorifique
- Les variations saisonnières et journalières de la température de l'air changent les performances des aéro-réfrigérants.
- La baisse de température augmente la densité de l'air et peut charger les ventilateurs si ceux ne sont pas correctement dimensionnés.
- Les aéro-réfrigérants ne doivent pas être placés à proximité de gros obstacles, tels que bâtiments, arbres, etc...., la circulation pourrait être gênée.
- Les ventilateurs génèrent des bruits qui peuvent être importants. [19] .

IV.7. Technologie

Les aéro-réfrigérants sont des appareils de construction simple et peuvent fonctionner pendant de longues périodes sans incidents. La source principale de pannes est le moto-ventilateur parce qu'il constitue un système en mouvement. Ce sont les paliers, les courroies, les enroulements et boîtes à vitesses qui représentent les pannes les plus fréquentes.

Ils sont constitués des éléments principaux suivants (voir figure) :

- Faisceau tubulaire.
- Manifold ou système de distribution du fluide chaud des ventilateurs.
- Boite de distribution de l'air.
- Système de régulation.
- Structure métallique de sortie. [19]

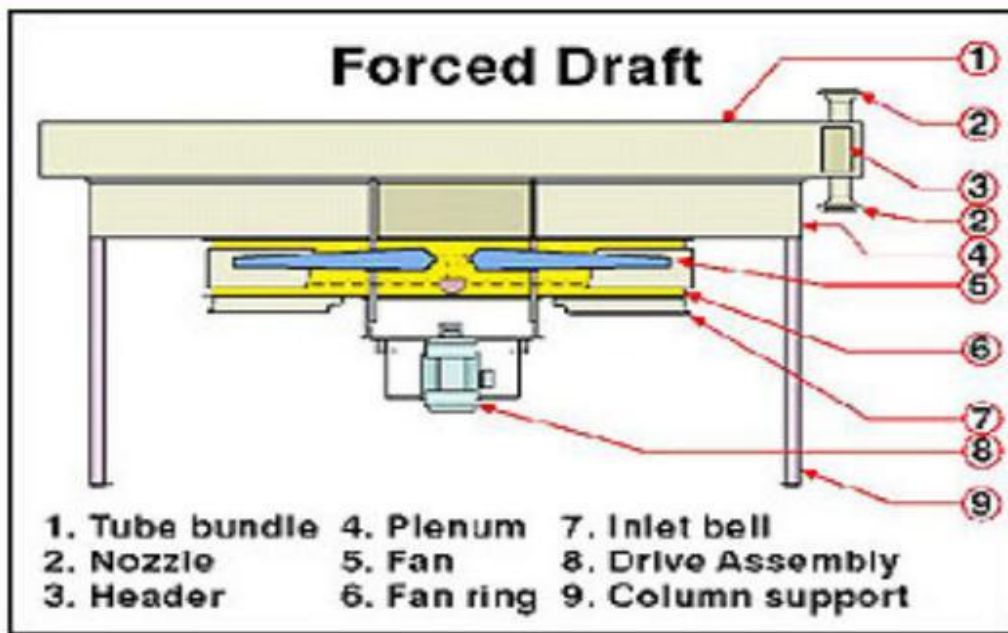


Figure IV.3. Les éléments composant d'un aéro-réfrigérant [20].

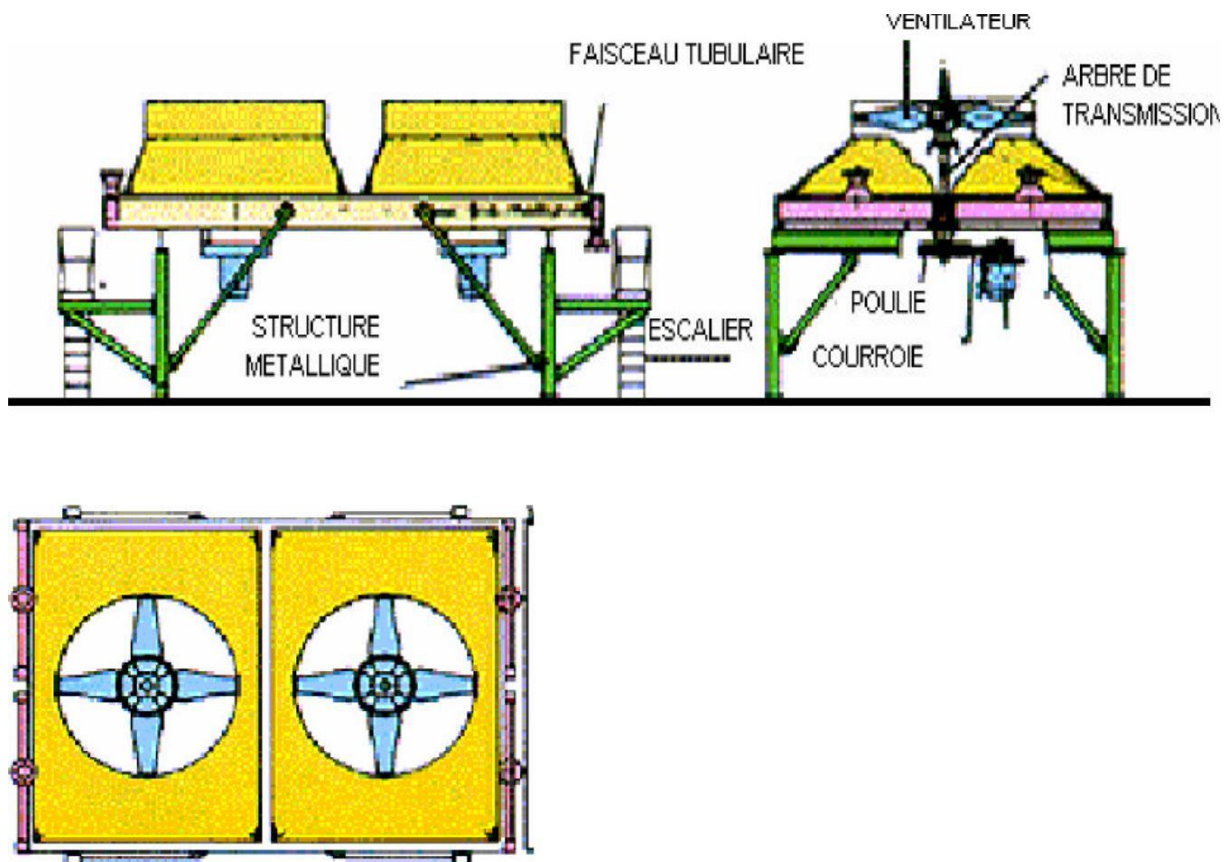


Figure IV.4. La structure d'un aéro-réfrigérant [20].



Figure IV.5. Aéro-réfrigérants installés dans une station de compression de gaz naturel [20].

CHAPITRE IV

Introduction

Le climat de l'Algérie est varié, car le pays a une très grande superficie (quatre fois celle de la France) : la partie nord possède un climat méditerranéen (Classification de Köppen Csa), alors que le reste du pays possède en majorité un climat désertique (Classification de Köppen BWh). Cependant entre ces deux grands types de climats, existent des climats de transition, notamment le climat semi-aride (Classification de Köppen BSk) qui correspond à un climat méditerranéen avec une sécheresse ne se limitant plus uniquement à la saison estivale mais à une bonne partie de l'année.

Le constructeur américain « Kellogg Brown and Root » du nouveau train de Skikda a préconisé des paramètres de fonctionnement suivant la base de données considérée dans la procédure de design.

Néanmoins, les aéro de la boucle de réfrigération a propane subissent une perturbation de température dans le système de condensation due aux piques de chaleur, Ce dysfonctionnement influence négativement sur le système de liquéfaction du gaz naturel et les autres colonnes de séparation de l'unité de fractionnement.

Cela va provoquer une perte énorme en GNL et sous-produit pétrolier tels que le propane, butane, et la gazoline. Faute de capacités de stockage des produits hors spécification, les conditions normales de fonctionnement des Aéro-réfrigérants doivent être rétablies le plus tôt possible durant la phase de démarrage ou en cas de perturbation du procès. Ces paramètres, connues préalablement par le personnel concerné sont régulés d'une manière rapide mais surtout en tenant compte des contraintes opérationnelles que présente à la fois chaque équipement et chaque procédé.

Dans cette optique, le travail qui nous est proposé par le département de production du complexe GL1K consiste à étudier l'impact de la variation de la température ambiante sur le fonctionnement des aérocondenseurs de la boucle de réfrigération à propane. Par la suite, donner les solutions opératoires possibles plus en moins efficaces qui permettent de remédier aux anomalies qui résultent du changement des conditions d'entrée des aérocondenseurs.

La température de l'air choisie pour évaluer l'aéro-réfrigérant est la plus élevée durant l'année (pour un fonctionnement continu de l'aéro-réfrigérant). La différence entre cette température et celle du produit chaud est très importante car elle intervient d'une façon proportionnelle dans le calcul de la surface à installer, et par conséquent, dans le prix de revient de tout l'appareil ; il est donc nécessaire de faire un choix judicieux de celle-ci.

V.1. Choix du logiciel :

HYSYS n'est pas le logiciel de simulation le plus flexible, ni le plus utilisé dans l'industrie, mais il a l'avantage d'être convivial et facile à utiliser, une fois que les éléments de base sont compris. HYSYS a été développé pour l'industrie du pétrole, bien qu'il soit utilisé pour d'autres types de procédés chimiques. Les simulations sont accomplies en utilisant les outils des menus (les équations d'état).

V.1.1. Ping Robinson :

Cette équation est considérée adéquate pour le calcul d'équilibre liquide-vapeur des systèmes composés des hydrocarbures. Les améliorations apportées par Hyprotech à cette équation d'état lui permettent d'être très fiable pour une variété de système sur un large domaine de conditions. Elle résout rigoureusement tous les systèmes composés d'une seule phase, bi-phasique ou un système à trois phases avec un haut degré d'efficacité et de précision, et elle est applicable sur une grande gamme de condition.

V.2. Méthode suivie :

Un premier test de vérification du logiciel HYSYS a été réalisé en prenant les conditions du design comme valeurs pour sa mise en service, ainsi que le fonctionnement des équipements. L'essai a été concluant et le logiciel s'est avéré approprié pour ce type de calcul. Un cas réel est pris en considération et une étude est faite pour voir comment minimiser les pertes par évaporation du propane gazeux envoyé vers torche.

La simulation par le logiciel HYSYS en optimisant les conditions opératoires, ainsi que l'augmentation du nombre d'aéro-réfrigérants de la section étudiée a permis de trouver une solution à ce problème d'évaporation du propane pendant les périodes où la température ambiante atteint les 40 à 45°C.

V.3. Test du logiciel HYSYS :

Afin de vérifier la simulation du constructeur (KBR), un test du logiciel HYSYS en prenant comme données de calcul, celles du fournisseur, a été effectué.

Cette vérification consiste à déterminer l'écart entre les paramètres de fonctionnement obtenus par simulation et ceux fournis par le constructeur.

Chapitre V : Simulation de la section de réfrigération au propane

❖ Données de calcul :

- Côté tube (fluide chaud) à l'entrée :

Tableau V.1. Donnés du fluide chaud (propane).

T(°C)	P (bar)	M _v (kg/h)	M _l (kg/h)	μ(cP)	ρ(kg/m ³)	C _p (kJ/kg.C°)	λ(W/m.°C)
69.8	17.76	1860133	0	0.010	35.090	2.340	0.025

- Côté air ambiant

Tableau V.2. Données du fluide froid (air).

T _e (°C)	T _s (°C)	Q _{air} total (m ³)	Altitude (m)	Bruit (dB)
24.0	38.2	9837.8	30	85

- Côté tube (fluide refroidi) à la sortie

Tableau V.3. Données du fluide refroidi (propane).

T(°C)	P (bar)	M _v (kg/h)	M _l (kg/h)	μ(cP)	ρ(kg/m ³)	C _p (kJ/kg.C°)	λ(W/m.°C)
49.28	16.87	0	1860133	0.070	450.0	3.110	0.079

Autres données concernant les aéro-réfrigérants :

Tableau V.4. Autres données des aéro-réfrigérants

Quantité chaleur totale Echangée kW	ΔT _{lm} °C	U.A KJ/C-h	Q _{air/aéro.} m ³ /s	V _{max} aéro. Rpm	V _{min} aéro. Rpm
171580	19.6	3.151 10 ⁷	116.4	1500	168

Chapitre V : Simulation de la section de réfrigération au propane

Tableau V.5. Données caractéristiques du propane.

Paramètres	Valeurs du design	Valeurs simulées
Débit (kg/h)	1860133.0	1860133.0
Température (°C)	49.28	49.10
Pression (kPa)	1687	1687

Tableau V.6. Données caractéristiques des aéro-réfrigérants.

Paramètres	Valeurs du design	Valeurs simulées
Vitesse (rpm)	168	168
Température (°C)	38.20	38.12
Pression (kPa)	101.3	101.3

V.4. Etude d'un cas réel

Les données actuelles du propane réfrigérant et des aéro-réfrigérants sont résumées dans les tableaux suivants :

Propane:

Tableau V.7. Données réelles du propane.

Débit (kg/h)	Température (°C)	Pression (bar)
1946411.7	75	20

Aéro-réfrigérants:

Tableau V.8. Données réelles des aéro-réfrigérants.

Nombre	Vitesse (rpm)	Q _{air /aéro.} (m ³ /s)	T (°C)	ΔP /aéro.(kJ/C-h)	U.A /aéro.(kPa)
90	168	116.4	42	350111.11	0.811

Chapitre V : Simulation de la section de réfrigération au propane

Tableau V.9. Paramètres de fonctionnement calculés en fonction du nombre d'aéro-réfrigérants

Nbre. aéro.	T _{entrée} aéro. (°C)	T _{sortie} aéro. (°C)	Propane vapeur (% , temp. et pression)
90	42	51.9	0.2059 54.20°C 19.27bar
93	42	52.34	0.1782 54.11°C 19.25bar
96	42	52.39	0.1405 54.01°C 19.22bar
99	42	52.42	0.0996 53.90°C 19.20bar
108	42	53.4	0.0760 54.91°C 19.56bar
114	42	53.44	0.0379 54.80°C 19.54bar
120	42	53.07	0.0000 54.24°C 19.51bar

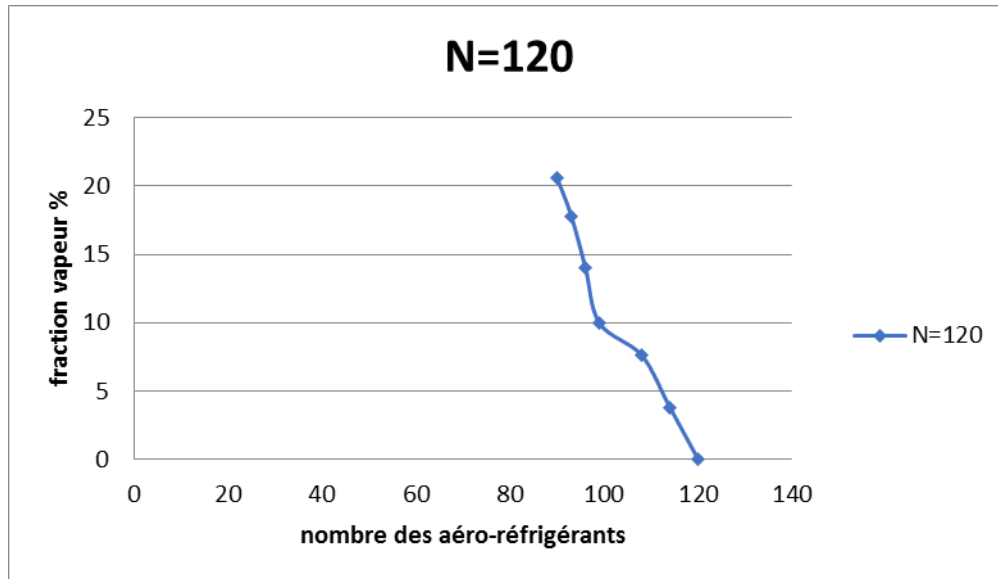


Figure V.1. Nombre des aéro-réfrigérants nécessaire pour l'élimination de la vapeur du propane.

Dans le tableau (V.9) et le graphe (V.1), nous présentons les résultats de la simulation mathématique des conditions de fonctionnement de la section réfrigération au propane en fonction du nombre d'aéro-réfrigérant rajoutés jusqu'à l'élimination totale des vapeurs du réfrigérant (propane). Le calcul montre que 120 aéros (10 batteries supplémentaire) permettent de refroidir et de liquéfier tout le propane vapeur pour une température ambiante de l'air de refroidissement estimée à 42°C. Ajouter 30 aéro-réfrigérants pour résoudre le problème d'évaporation du propane réfrigérant est une solution impossible à réalisée du point de vue de l'espace indisponible pour ces équipements et du point de vue économique.

La vitesse des aéro-réfrigérants est prise en considération dans la simulation pour trouver une solution adéquate à cette variation de la température ambiante qui peut atteindre les 40°C en été et qui influe sur le bon fonctionnement de cette section.

Le calcul montre que pour une vitesse de rotation de 336 rpm et d'un ajout de uniquement 03 aéro-réfrigérants (ce qui est possible à réaliser), le propane vaporisé se retrouve totalement liquéfié à la sortie de ce système de refroidissement par le aéro-réfrigérants.

Le tableau suivant (n°10) montre les résultats de la simulation par le logiciel HYSYS :

Chapitre V : Simulation de la section de réfrigération au propane

Tableau V.10. Paramètres de fonctionnement calculés en fonction du nombre d'aéro-réfrigérants, pour une T_{air} de 42°C et une vitesse de 336 rpm.

Nbre. aéro.	Vitesse (rpm)	$T_{\text{entrée aéro.}}$ (°C)	$T_{\text{sortie aéro.}}$ (°C)	Propane vapeur (% , temp. et pression)
90	336	42	50.51	0.0785 54.05°C 19.27bar
93	336	42	52.51	0.0000 53.81°C 19.25bar
96	336	42	52.64	0.0000 52.83°C 19.22bar

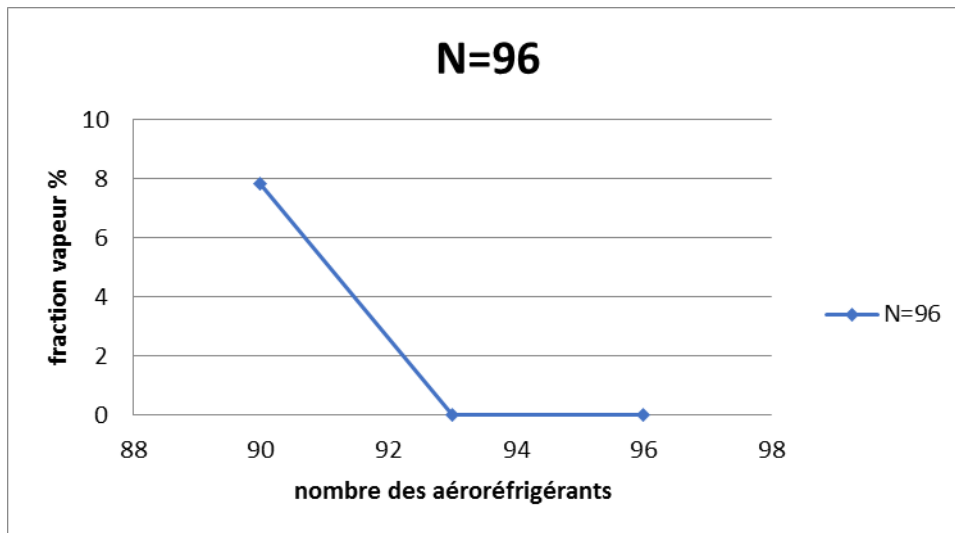


Figure V.2. Nombre nécessaire des aéro-réfrigérants pour éliminer la vapeur du propane par une vitesse modérée.

D'après les résultats de la simulation présentés dans le tableau et le graphe ci-dessus, on constate qu'en augmentant le nombre d'aéro-réfrigérants à 90 avec une vitesse de 336 rpm même si avec une consommation un peu plus d'énergie électrique, nous permet de récupérer une quantité non négligeable de propane vapeur issue de la boucle de réfrigération au propane. Cette vapeur de propane non liquéfiée au cours du refroidissement par les aéro-réfrigérants est censée être envoyée vers torche et donc une perte importante d'énergie qu'il faudra éviter.

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Notre travail a été consacré à l'étude de la section réfrigération propane du complexe méga train de GNL.

Cette étude qui fixait comme objectif principal ; l'élimination des vapeurs de propane durant la période d'été où la température peut atteindre des pics de 42°C. Tout d'abord on a fait une vérification du taux de vapeur selon les résultats données par l'étude du design effectué par le constructeur, qui ont été similaires et puis faire la simulation de cette boucle dans les différents scénarios possible ; afin d'éviter la perte du propane (envoyé vers torche) et puis les appoints lors du fonctionnement de la boucle.

Signalant que le manque du propane influe directement sur la production du méga train, cette dernière qui est proportionnelle à la température ambiante. Au terme de cette étude, on a tiré plusieurs conclusions qui sont :

1°/ Pour le cas du design, les résultats obtenues sont compatibles à ceux donnés par le constructeur (avec un écart négligeable due à l'incertitude des calculs).

2°/ Pour les différents scénarios étudiés, les simulations effectuées montrent que le cas le plus défavorable, c'est-à-dire l'appoint en propane atteint le maximum, ce cas est constaté surtout lors de la saison d'été. Donc la solution optimisée est d'ajouter une seule batterie (3 aéro-réfrigérants) en changeant les paramètres de tout les aéro-réfrigérants (la vitesse des moteurs des batteries) ; certainement cette solution nous emmène à consommer plus d'énergie électrique mais le cout de cette dernière est négligeable face à la grande quantité du propane envoyée vers torche.

Nous estimons que le département production au sein du GL1/K permet d'améliorer le fonctionnement normal des boucles de réfrigération et de réaliser son objectif principal : pas de pertes de propane, pas d'appoints, production totale du GNL.

CONCLUSION GENERALE

Recommandation :

Afin de réduire l'appoint du propane, on recommande ce qui suit :

- 1/ Eviter les redémarrages par une meilleure programmation de la production.
- 2/ L'installation d'un système de pulvérisation par l'eau pour maintenir la température ambiante presque la même.
- 3/L'utilisation des éventails à 45° inclinés afin de rafraichir l'air en dessus des aéro-réfrigérants.

ANNEXES

Le cas de 90 aéro-réfrigérants

AC-100

Worksheet	Name	1	2
Conditions	Vapour	1,0000	0,2059
	Temperature [C]	75,00	54,20
Properties	Pressure [kPa]	2000	1927
	Molar Flow [kgmole/h]	4,434e+004	4,434e+004
Composition	Mass Flow [kg/h]	1,946e+006	1,946e+006
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3857	3857
PF Specs	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,018e+005	-1,133e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	146,2	111,6
	Heat Flow [kJ/h]	-4,514e+009	-5,023e+009

Design Rating **Worksheet** Performance Dynamics HTFS - ACOL HTFS+ - Acol+

Delete OK Ignored

Le cas de 93 aéro-réfrigérants

AC-100

Worksheet	Name	1	2
Conditions	Vapour	1,0000	0,1782
	Temperature [C]	75,00	54,11
Properties	Pressure [kPa]	2000	1925
	Molar Flow [kgmole/h]	4,434e+004	4,434e+004
Composition	Mass Flow [kg/h]	1,946e+006	1,946e+006
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3857	3857
PF Specs	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,018e+005	-1,136e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	146,2	110,5
	Heat Flow [kJ/h]	-4,514e+009	-5,038e+009

Design Rating **Worksheet** Performance Dynamics HTFS - ACOL HTFS+ - Acol+

Delete OK Ignored

Le cas de 96 aéro-réfrigérants

Worksheet		1	2
Conditions	Name		
	Vapour	1,0000	0,1405
Properties	Temperature [C]	75,00	54,01
	Pressure [kPa]	2000	1922
Composition	Molar Flow [kgmole/h]	4,434e+004	4,434e+004
	Mass Flow [kg/h]	1,946e+006	1,946e+006
PF Specs	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3857	3857
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,018e+005	-1,141e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	146,2	109,1
	Heat Flow [kJ/h]	-4,514e+009	-5,058e+009

Design Rating **Worksheet** Performance Dynamics HTFS - ACOL HTFS+ - Acol+

Delete OK Ignored

Le cas de 99 aéro-réfrigérants

Worksheet		1	2
Conditions	Name		
	Vapour	1,0000	0,0996
Properties	Temperature [C]	75,00	53,90
	Pressure [kPa]	2000	1920
Composition	Molar Flow [kgmole/h]	4,434e+004	4,434e+004
	Mass Flow [kg/h]	1,946e+006	1,946e+006
PF Specs	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3857	3857
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,018e+005	-1,146e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	146,2	107,6
	Heat Flow [kJ/h]	-4,514e+009	-5,080e+009

Design Rating **Worksheet** Performance Dynamics HTFS - ACOL HTFS+ - Acol+

Delete OK Ignored

Le cas de 108 aéro-réfrigérants

The screenshot shows a software window titled '6' with a 'Worksheet' tab selected. The 'Worksheet' tab contains a table of properties for stream 6. The 'Fluid Package' is 'Basis-1'. The 'Vapour / Phase Fraction' is 0,0760. The 'Temperature [C]' is 54,91. The 'Pressure [kPa]' is 1956. The 'Molar Flow [kgmole/h]' is 4,436e+004. The 'Mass Flow [kg/h]' is 1,948e+006. The 'Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]' is 3859. The 'Molar Enthalpy [kJ/kgmole]' is -1,148e+005. The 'Molar Entropy [kJ/kgmole-C]' is 107,0. The 'Heat Flow [kJ/h]' is -5,091e+009. The 'Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]' is 3846. The 'Fluid Package' is 'Basis-1'.

Property	Value
Stream Name	6
Vapour / Phase Fraction	0,0760
Temperature [C]	54,91
Pressure [kPa]	1956
Molar Flow [kgmole/h]	4,436e+004
Mass Flow [kg/h]	1,948e+006
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3859
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,148e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	107,0
Heat Flow [kJ/h]	-5,091e+009
Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	3846
Fluid Package	Basis-1

Le cas de 114 aéro-réfrigérants

The screenshot shows a software window titled '6' with a 'Worksheet' tab selected. The 'Worksheet' tab contains a table of properties for stream 6. The 'Fluid Package' is 'Basis-1'. The 'Vapour / Phase Fraction' is 0,0379. The 'Temperature [C]' is 54,80. The 'Pressure [kPa]' is 1954. The 'Molar Flow [kgmole/h]' is 4,436e+004. The 'Mass Flow [kg/h]' is 1,948e+006. The 'Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]' is 3859. The 'Molar Enthalpy [kJ/kgmole]' is -1,152e+005. The 'Molar Entropy [kJ/kgmole-C]' is 105,6. The 'Heat Flow [kJ/h]' is -5,111e+009. The 'Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]' is 3846. The 'Fluid Package' is 'Basis-1'.

Property	Value
Stream Name	6
Vapour / Phase Fraction	0,0379
Temperature [C]	54,80
Pressure [kPa]	1954
Molar Flow [kgmole/h]	4,436e+004
Mass Flow [kg/h]	1,948e+006
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3859
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,152e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	105,6
Heat Flow [kJ/h]	-5,111e+009
Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	3846
Fluid Package	Basis-1

Le cas de 120 aéro-réfrigérants

The screenshot shows a software window titled '6' with a 'Worksheet' tab selected. The 'Worksheet' tab contains a table of properties for stream 6. The 'Fluid Package' is 'Basis-1'. The 'Vapour / Phase Fraction' is 0,0000. The 'Temperature [C]' is 54,24. The 'Pressure [kPa]' is 1951. The 'Molar Flow [kgmole/h]' is 4,436e+004. The 'Mass Flow [kg/h]' is 1,948e+006. The 'Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]' is 3859. The 'Molar Enthalpy [kJ/kgmole]' is -1,158e+005. The 'Molar Entropy [kJ/kgmole-C]' is 104,0. The 'Heat Flow [kJ/h]' is -5,135e+009. The 'Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]' is 3846. The 'Fluid Package' is 'Basis-1'.

Property	Value
Stream Name	6
Vapour / Phase Fraction	0,0000
Temperature [C]	54,24
Pressure [kPa]	1951
Molar Flow [kgmole/h]	4,436e+004
Mass Flow [kg/h]	1,948e+006
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3859
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,158e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	104,0
Heat Flow [kJ/h]	-5,135e+009
Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	3846
Fluid Package	Basis-1

Le cas de design

AC-100

Worksheet

Name	1	2
Vapour	1,0000	0,0000
Temperature [C]	69,80	49,10
Pressure [kPa]	1760	1687
Molar Flow [kgmole/h]	4,218e+004	4,218e+004
Mass Flow [kg/h]	1,860e+006	1,860e+006
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3671	3671
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,023e+005	-1,168e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	145,4	100,6
Heat Flow [kJ/h]	-4,314e+009	-4,928e+009

Design Rating **Worksheet** Performance Dynamics HTFS - ACOL HTFS+ - Acol+

Delete Ignored

AC-100

Design

Connections

Parameters

User Variables

Notes

Air Cooler Model: **Air Cooler Simple C**

Process Stream DeltaP: **73,00 kPa**

Overall UA: **3,151e+007 kJ/C-h**

Configuration: **one tube row, one pass**

Air Outlet Temperature: **38,12 C**

Air Intake Temperature: **24,00 C**

Air Intake Pressure: **101,3 kPa**

Design Rating **Worksheet** Performance Dynamics HTFS - ACOL HTFS+ - Acol+

Delete Ignored

AC-100

Rating

Sizing

Number of Fans: **90**

Fan	Fan 0	Fan 1	Fan 2	Fan 3
Speed [rpm]	168,0	168,0	168,0	168,0
Demanded speed [rpm]	168,0	168,0	168,0	168,0
Max Acceleration per sec [rpm]	<no limit>	<no limit>	<no limit>	<no limit>
Design speed [rpm]	168,0	168,0	168,0	168,0
Design air flow [ACT_m3/h]	4,190e+005	4,190e+005	4,190e+005	4,190e+005
Current air flow [ACT_m3/h]	4,190e+005	4,190e+005	4,190e+005	4,190e+005
Fan Is On	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Design **Rating** **Worksheet** Performance Dynamics HTFS - ACOL HTFS+ - Acol+

Delete Ignored

Le cas de 90,93 et 96 aéro-réfrigérants en changeant les vitesses des aéro-réfrigérants

AC-100

Worksheet		1	2
Conditions	Name		
	Vapour	1,0000	0,0604
Properties	Temperature [C]	75,00	54,02
	Pressure [kPa]	2000	1927
Composition	Molar Flow [kgmole/h]	4,434e+004	4,434e+004
	Mass Flow [kg/h]	1,946e+006	1,946e+006
PF Specs	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3857	3857
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,018e+005	-1,150e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	146,2	106,2
	Heat Flow [kJ/h]	-4,514e+009	-5,100e+009

Design Rating **Worksheet** Performance Dynamics HTFS - ACOL HTFS+ - Acol+

Delete OK Ignored

AC-100

Worksheet		1	2
Conditions	Name		
	Vapour	1,0000	0,0000
Properties	Temperature [C]	75,00	53,81
	Pressure [kPa]	2000	1925
Composition	Molar Flow [kgmole/h]	4,434e+004	4,434e+004
	Mass Flow [kg/h]	1,946e+006	1,946e+006
PF Specs	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3857	3857
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,018e+005	-1,158e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	146,2	103,9
	Heat Flow [kJ/h]	-4,514e+009	-5,133e+009

Design Rating **Worksheet** Performance Dynamics HTFS - ACOL HTFS+ - Acol+

Delete OK Ignored

AC-100

Worksheet		1	2
Conditions	Name		
	Vapour	1,0000	0,0000
Properties	Temperature [C]	75,00	52,83
	Pressure [kPa]	2000	1922
Composition	Molar Flow [kgmole/h]	4,434e+004	4,434e+004
	Mass Flow [kg/h]	1,946e+006	1,946e+006
PF Specs	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3857	3857
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,018e+005	-1,159e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	146,2	103,5
	Heat Flow [kJ/h]	-4,514e+009	-5,140e+009

Design Rating **Worksheet** Performance Dynamics HTFS - ACOL HTFS+ - Acol+

Delete OK Ignored

REV	DATE	BY	CHECK	FILE	3	AIR COOLED HEAT EXCHANGER	HTRI Xace 5.0	S&T CORPORATION
1				605061				*****
2	24/03/08	DJJ		ITEM		SOMATRACH		371-36, GASAN-DONG, GEUMCHEON-CU
3	01/07/08	DJJ		16-WC09		Customer		SEOUL, KOREA
4	01/07/08	DJJ		1REV.5		Plant Location		Tel : (82) -2-2604-3030
5	21/07/08	DJJ				Service		Fax : (82) -2-2604-7667
No of Units : 1				No of Bay/Unit : 30	CONSTRUCTION			
Selection : 696-50.5				Type: 3 IPCS	Draft: Induced			
Surface/Unit..... Finned:				414664.				
.....Bare Tube:				21457.				
Total Heat Exchanged / MTD : 171580				KW	/ 19.6°C			
Finned Tube				28.58	W/m2.°C			
Bare Tube, Service				552.30	"			
Bare Tube, Clean				585.89	"			
Fluid Circulated				TUBE SIDE DATA				
Total Fluid Entering :				PROPANE				
Temperature				69.8	49.28	IN OUT °C		
Vapor				1860133.0	1860133.0	kg/h		
Liquid						"		
Steam						"		
Water						"		
Noncondensable						"		
Vapor Mol.Wt.						"		
Viscosity				0.010/	0.070cP	/		
Density				35.090/	450.0kg/m3	/		
Spcific Heat				2.340/	3.110 KJ/kg.°C	/		
Thermal Conduct V/L				0.025/	0.079 W/m.°C	/		
Latent Heat				286.0		kJ/kg		
Pressure In				17.76	BAR Abs.			
Pressure Drop Allow./Calc.				0.250/0.151	BAR	Abs.		
Fouling Resistance				0.00009	m2.°C/W			
AIR SIDE DATA								
Total Air Quantity				9837.8	m3/s(20°C, 1 atm.)			
Air Velocity Per Fan				116.4	m/s			
Face Velocity				3.17	m/s			
Temperature In/Out				24.0/38.2	°C			
Actual Static Pressure				0.152	kPa			
Altitude				30.	m			
SPU at 1 Meter below drive assembly.				85	db(A)			
Weight Empty/ Full of Water				13321000./1466300.	kg/Unit			
0	Design/Test Pressure : 26.0+ F.V / 39.0				BAR Eff.			
1	Design Temperature : 175. °C							
2	Construction Code : ASME VIII DIV.1 + API661				U Stamp : YES			
3	BUNDLES				HEADERS			
4	Size : 3.41 m x 15.6 m				Type: PLUG			
5	No/Bay : 2				No Passes: 3			
6	No TOTAL : 60				Pass Pattern: 2/2/1			
7	No Tube Rows: 5				Nozzles In/Out : 2x 6"/2x 6"			
8	Tube/Tubesheet : CARBON STEEL				Rating : ANSI 300 LB RF			
9	Slope : NO				Tube/Tubesheet : EXPANDED			
10	Material : SA214				Header Mat. : SA516 GR.60			
11	Type : WELDED				Gasket Mat. : SOFT IRON			
12	Diameter : 31.75				Plug Mat. : SA105			
13	Thickness : 2.108 mm				Corrosion Allowance : 3.000 mm			
14	No/Bundle : 240				T/PI Connect: NO / NO			
15	Length : 15.250				Structure : STD			
16	Tri. Pitch: 69.85				Miscellaneous			
17	PINS				NO			
18	Material : ALUMINIUM				Walkways : NO			
19	Diameter : 63.50				Fan Guards : STEEL			
20	No/Meter : 394				Vibr. Switch: EXP. PROOF			
21	Type : EXTENDED				Steam Coils: NO			
22	No/Bay : 3				MECHANICAL EQUIPMENT			
23	Model : PANS				No TOTAL : 90			
24	Blades : (7)				Type: ELECTRIC EXN			
25	KW / Fan : 25.6				RPM : 1500			
26	Tip Speed : 40.2				KW / Motor : 37.0			
27	Diameter : 4.57				Specials : 380-3-50			
28	Pitch : MANUAL. ADJUSTABLE				Type: SPEED REDUCER			
29	Pitch Angle : 14.0				Type: TOOTHED BELTS			
30	Hub Mat. : STEEL/ALU.				Ratio : 1470/168 = 8.75			
31	Hub Mat. : STEEL/ALU.				Pulley Material : CAST IRON			
32	(1) MDWT = -12.0 °C							
33	(2) Minimum ambient temperature : 1.0°C.							
34	(3) Design case : 1REV.5.							
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								
50								

(*) All data mentioned, partic. material and no. of blades are subject to modifications according to the selected supplier.