وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉREUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعـة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كـلـيـة الـعـلـوم و الـتـكـنـولـوجـيـا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS

N° d'ordre : M2/GC/2019

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES DE MASTER ACADÉMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie Chimique

Thème

Etude du dysfonctionnement de la boucle MCR et de son impact sur le cycle de réfrigération dans le complexe GL2/Z

Présenté par

1-BAZ Nedjma

2-BELAID Ibtissem

Soutenu le 21 /07/ 2019 devant le jury composé de :

Présidente :	Attouti Salima	MCB	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Boubegra Naima	MCA	Université de Mostaganem
Encadreure :	Mellouk Senia	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2018/2019

Remerciements

Toute notre parfaite gratitude, grâce et remerciement à **Allah** le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions notre encadreur **Dr Melouk** à son aide précieuse, ses conseils, son sollicitude, son patience et son période apportés au cours de l'élaboration de ce projet de fin d'étude, les membres des jurys **Mme Attouti** et **Mme Boubegra** ainsi qu'a tous les professeurs du département de Génie des procédés qui ont contribué a nous formation.

Nous remercions à tout l'ensemble du personnel au complexe GL2Z

A tout les personnel du Département Technique surtout **Monsieur Oulhadj Sadek** et **Madame Slatni** pour ses disponibilités tout au long de la réalisation de ce travail.

Nos vifs remercîment s'adressent à notre formateur **Monsieur Laidat Abdelmadjid** pour son accueil et le temps qu'il nous a accordé quitte à délaisser ses obligations en cas de nécessité pour nous enrichir de ses précieuses analyses.

Nous remercions également les membres de jury qui nous faisons L'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Nous remercions aussi toute personne ayant contribué de prés ou de loin au bon déroulement de ce modeste travail.

SOMMAIRE

Introduction générale **1**

Chapitre I / Liquéfaction et la boucle MCR

I Introduction **3**

II Description générale du complexe **3**

III Liquéfaction **5**

III-1 Les différents procédés de liquéfaction **5**

III-2 Description générale de la section de liquéfaction **6**

IV La boucle MCR **7**

IV-1 Description générale de la boucle **8**

Chapitre II / Problématique et analyses

I Introduction **10**

I-1 Dysfonctionnement de réfrigération de la boucle MCR **11**

I-1-1 Composition du réfrigérant propane (boucle propane) **11**

I-1-2 Composition du multi-réfrigérant (boucle MCR) **13**

II Colonne de dééthanisation **14**

II-1 principe de la distillation **14**

II-2 Ballon tamponX51-F **16**

II-3 DééthaniseurX51-E **16**

II-4 Condenseur detête X51-C **16**

II-5 Ballon de refluxX52-F **16**

II-6 Rebouilleur X52-C **17**

III Suivi du fonctionnement du dééthaniseur **17**

III-1 Variation de la pression dans le ballon tampon **18**

III-2 Variation de la température dans le dééthaniseur **18**

III-3 Variation du débit dans le ballon de reflux **19**

III-4 Interprétation **20**

IV- Impact de la composition du MCR **20**

V Conclusion **22**

Chapitre III/ Simulation et résultats

I Simulation **23**

I-1 Le simulateur HYSYS **23**

I-2 Méthodologie de la simulation **24**

II Simulation du dysfonctionnement de la boucle MCR **28**

II-1 Résultats et interprétation **29**

II-1-1Variation de la température du GNL sorti de l'échangeur principal **29**

II-1-2 Variation des puissances consommées par les deux compresseurs **29**

II-1-3 Variation de la température du MCR sorti de l'échangeur principal (X16-C) **31**

II-2 Impact de la variation de la composition MCR sur le cycle **32**

III Conclusion **35**

Conclusion générale **36**

Liste des figures

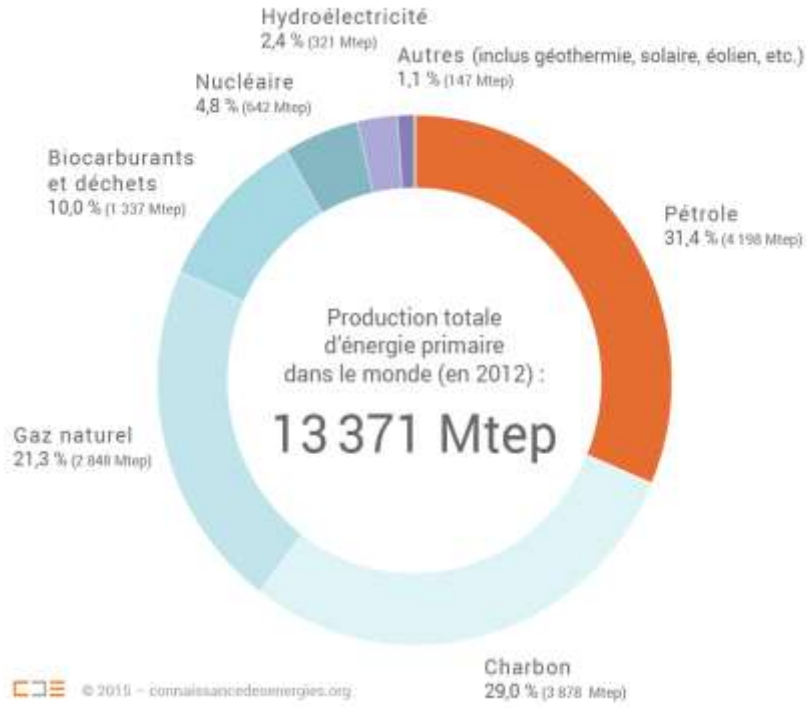
Liste des tableaux

Liste des abréviations

Références bibliographiques

Le gaz naturel est la source d'énergie fossile qui a connu la plus forte progression depuis les années 70.En effet, 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, comme par exemple le faible intervalle de combustion le caractérisant, en font l'une des sources les plus utilisées fiables connues à ce jour actuellement, Il représente la troisième place en production de l'énergie primaire dans le monde comme le montre la figure suivante[1]



Le gaz est rendu liquide par refroidissement à une température de -162°C, son volume est alors réduit de 600 fois, il est ensuite transporté par des navires citernes spéciaux dits méthaniers pour être acheminé aux terminaux de regazéification, exposé à la température ambiante et ramené à l'état gazeux par un processus de vaporisation, c'est sous cette forme qu'il est finalement distribué dans le réseau international.

La capacité mondiale de liquéfaction du gaz naturel a atteint les 290 millions de tonnes à la fin de l'année de 2013.En Algérie la capacité nominale de liquéfaction était de 24.3 millions de tonnes par an [2].

Durant notre séjour au niveau du complexe GL2/Z nous avons pris connaissance des procédés utilisés pour le traitement et la liquéfaction du gaz naturel, ainsi que des différentes installations, et des problèmes opératoires vécus sur site.

Il nous a était confié d'étudier la problématique relative à la contamination du réfrigérant MCR et son impact sur la production du GNL.

Après avoir effectuédes recherches pour élucider les causes probables pouvant engendrer la perturbation de la composition du MCR et analyser l'impact de cette perturbation sur plusieurs paramètres, nous avons simulé la boucle MCR au moyen du simulateur AspenHysys.

Finalement des solutions ont été proposées pour stabiliser la composition du multi-réfrigérant MCR

L'étude est répartie selon le plan suivant :

- Recherche des causes probables pouvant engendrer la perturbation de la composition du MCR.
- Etude des effets de cette perturbation sur toute la boucle.
- Simulation de la boucle MCR et l'étude de l'impact de la variation de sa composition sur les différents paramètres du procédé et son rendement.
- Proposition des solutions pour stabiliser la composition.
- Conclusion et recommandations.

PROCĒDĒ DE LIQUĒFACTION
- BOUCLE MCR

I Introduction

Le complexe industriel de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z) est, parmi les plus importantes réalisations industrielles de la chaine de transformation des hydrocarbures, exploitée par la société SONATRACH en Algérie. Il a été conçu pour assurer le transport sous forme liquide du gaz naturel provenant de HASSI R'MEL par gazoducs, avec possibilité d'extraction du propane, du butane et de la gazoline. Le **GNL** (**G**az **N**aturel **L**iquéfié) est pompé et chargé dans des méthaniers spécialement conçus pour le transport cryogénique pour être expédié vers l'étranger.

II Description générale du complexe[3]

Le fonctionnement du complexe GL2/Z est décritpar les points essentiels suivants:

Procédé **:** APCI (MCR).

Début de la production **:** 20 février 1978.

Capacité de traitement **:** 10,5 Milliard de Nm^3 de GN/An.

Capacité de Production **:** 17,5 Millions de m^3 de GNL/An.

Superficie du complexe **:** 72 hectares.

Nombre de trains **:** Six trains en parallèle.

Capacité de stockage **:** 3bacs d'une capacité unitaire de 100.000m^3 de GNL.

: 2 bacs de gazoline de 14 000 m^3 chacun

Rénovation **:** 1993-1996

La figure (I.1) montre un schéma synoptique d'un train de procédé dans le complexe GL2Z

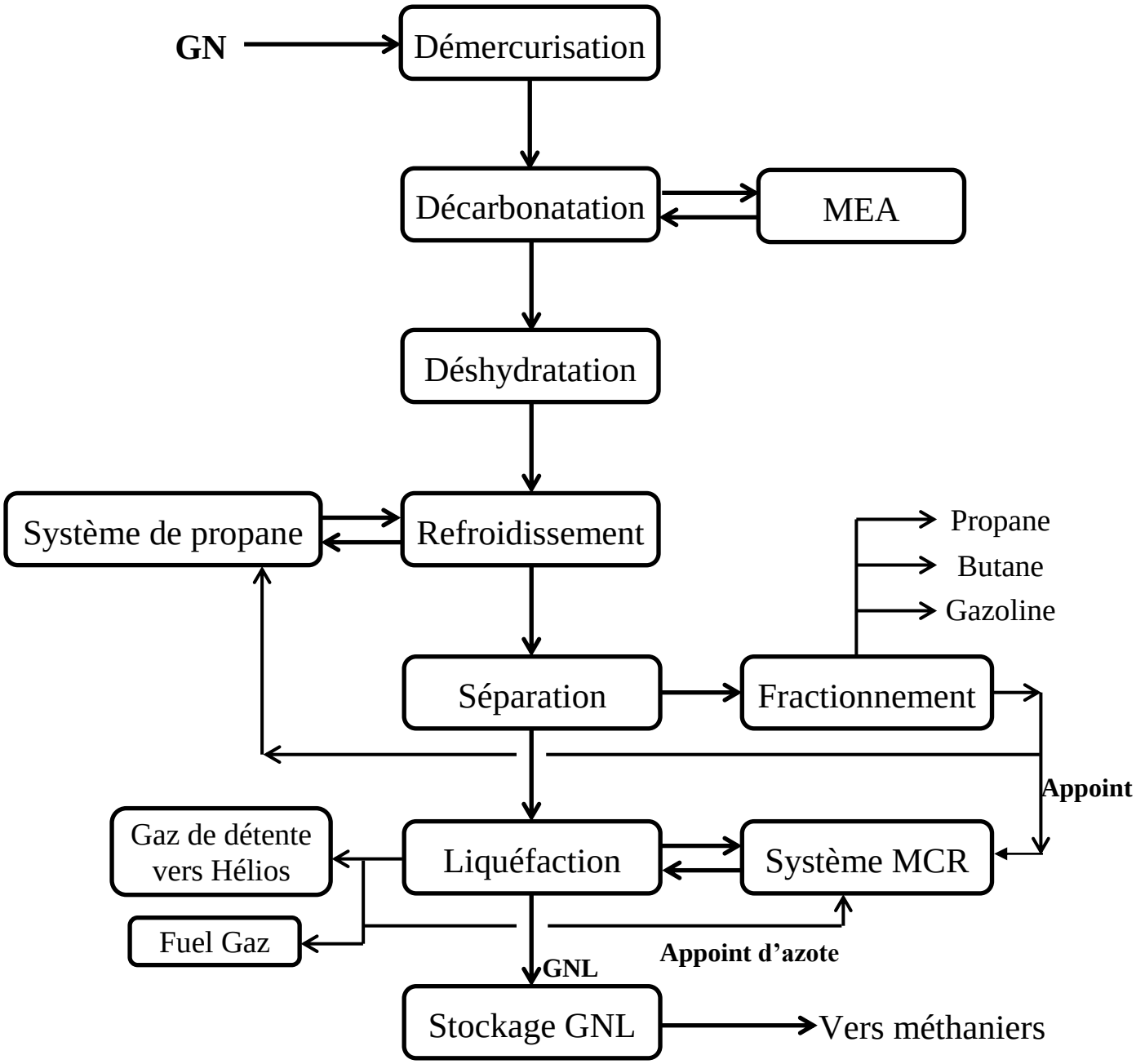


Figure (I.1)- Schéma synoptique d'un train de procédé

Le complexe GL2/Z est divisé en trois zones principales : Zone utilités, zone process et zone de stockage et chargement.

III Liquéfaction

Le procédé de liquéfaction du gaz naturel consiste à le refroidir et le liquéfier afin de produire du gaz naturel liquéfié. L'opération de liquéfaction n'est possible que si le gaz est refroidi à une température inférieure à celle de son point de rosée. Cette température est en fonction de la pression. Pour un corps pur à pression fixe, la température du point de rosée est égale à la température du point de bulle, et il est possible de liquéfier le gaz en assurant une réfrigération suffisante pour atteindre sa température de rosée.

Pour un mélange, tel que le gaz naturel, la condensation à lieu sur un intervalle de température compris entre le point de rosée et le point de bulle; il faut donc plusieurs réfrigérants pour atteindre cet objectif. En règle générale, un réfrigérant unique permet de réaliser le refroidissement dans un intervalle de 60 à 90°C. Etant donnéqu'une unité de liquéfactionnécessite un niveau de réfrigération d'au moins -162°C (température à laquelle le méthane se liquéfie sous une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique), deux boucles frigorifiques fermées sont utilisées, une depropane et l'autre d'un réfrigérant à composants mixtes (MCR).

Ces dernièresont été conçues sur la base du cycle frigorifique de Carnot, dans ce dernier, la réfrigération est assurée par une compression, un refroidissement, une détente et une évaporation.

III-1 Les différents procédés de liquéfaction[4]

La section de réfrigération et de liquéfaction est l'élément clé de l'usine GNL. Beaucoup de procédés, souslicence, sont disponibles et à différents degrés d'application et d'expérience. D'autres sont proposés ou en cours de développement.

Les principaux procédés de liquéfaction disponibles sont :

- Procédé APCI
- Procédé d'optimisation à Cascade Philips
- Procédé Black &Veatch PRICO
- Procédé à Cascade du fluide Mixte StatOil/Linde (MFCP)
- Procédé AxensLiquifinTM
- Procédé de réfrigérant mixte double (DMR)

Le procédé utilisé pour la liquéfaction du gaz naturel dans le complexe GL2/Z est le procédé APCI (C_3-MCR), ce dernier est basé sur deux cycles :

1. Un cycle à propane pour le pré-refroidissement du gaz naturel et du MCR
2. Un cycle de MCR pour le sous refroidissement et la liquéfaction du gaz naturel[5].

III-2 Description générale de la section de liquéfaction[5]

La section de liquéfaction sert à refroidir et condenser le GN, extraire l'hélium et l'azote pour la commercialisation, elle permet aussi de fournir le fuel gaz pour les chaudières et ajuster le pouvoir calorifique du GNL (par injection du C_2 et C_3)

Cette section est représentée sur la figure (I.2):

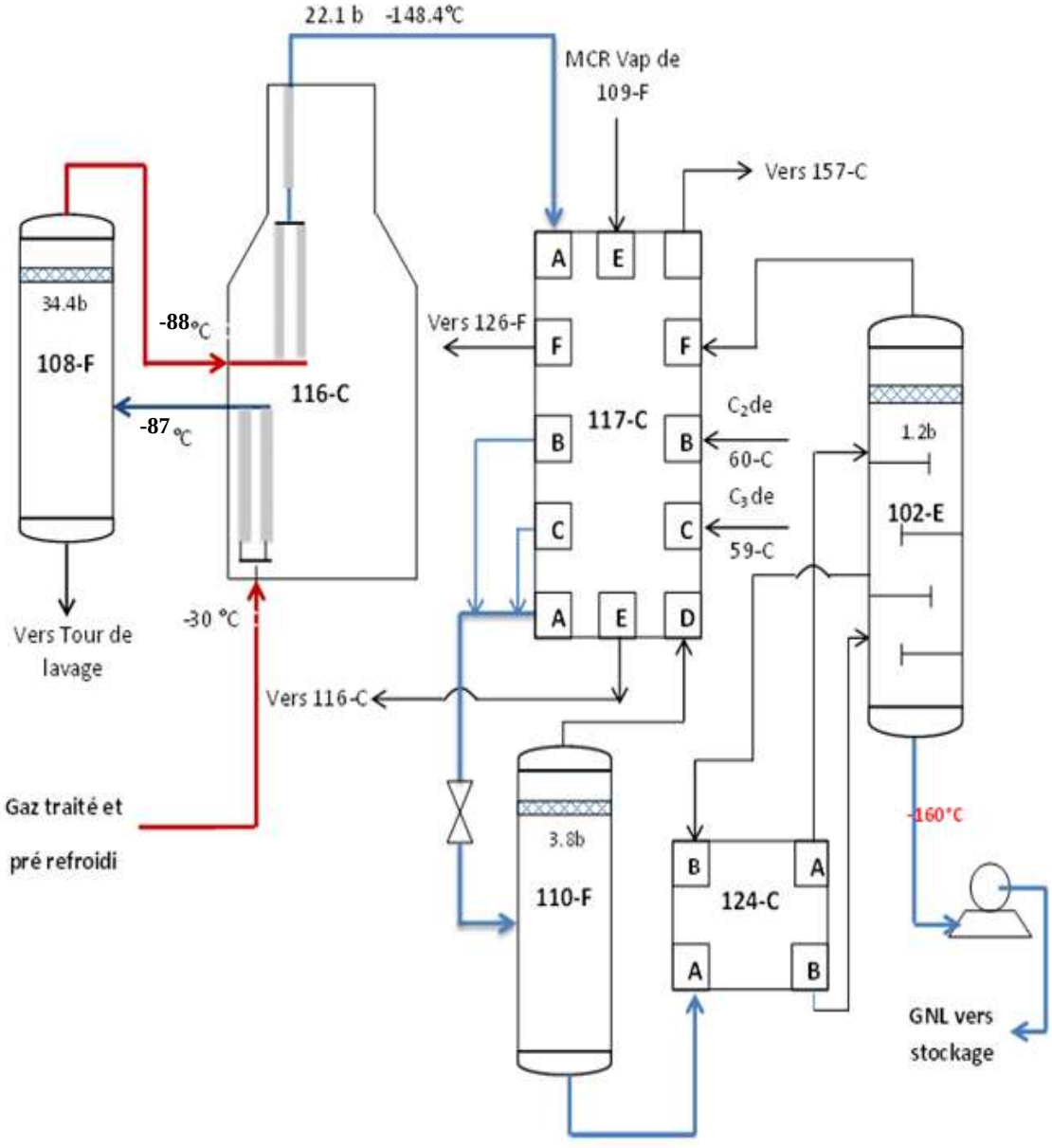


Figure (I.2)- Schéma de la section de liquéfaction

108-F se dirigent vers le faisceau central du 116-C où elles sont refroidies par le MCR. Ce courant monte dans le 116-C en traversant le faisceau froid où il est condensé par le MCR liquide issue de la détente à travers la JT froide.

Le GNL liquéfié sort en tête du 116-C et se dirige vers l'échangeur de gaz de rejet 117-C. Dans cet échangeur à plaques, le GNL est refroidi tout en chauffant les vapeurs de tête du déazoteur 102-E et du ballon flash 110-F. A sa sortie, il se mélange avec le courant des réinjections de C_2 et C_3. Ces deux courants (C_2 et C_3) sont également sous refroidis dans le 117-C par les vapeurs de tête du 110-F et 102-E. Ce mélange pénètre dans le 110-F où les vapeurs sont séparées du liquide suite à un flash. Les vapeurs du 110-F et 102-E sont donc réchauffées dans l'échangeur tout en refroidissant les réinjections C_2, C_3 et le gaz naturel liquéfié. Les vapeurs en tête du 102-E sont acheminées vers le 104J, tandis que celles du 110F sont dirigées vers l'unité Hélios pour produire de l'hélium liquide et de l'azote vapeur ou vers les réchauffeurs 157 CA/ CB pour servir de combustible pour les chaudières.

Le GNL liquide sortant du fond du 110Fest sous refroidi dans le rebouilleur 124-C par le gaz naturel liquéfié à-162°C du fond de 102-E, puis est détendu à travers la LV506 avant d'alimenter le déazoteur 102-E, le courant liquide du GNL descendant entre en contact avec les vapeurs ascendantes pour séparer l'azote du GNL afin de contrôler ses spécifications et son pouvoir calorifique. Legaz naturel liquéfié du fond 102-E est acheminé par les pompes 110 -J ou JA vers les bacs de stockage.

IV La boucle MCR[10]

Dans le procédé de liquéfaction avec pré-refroidissement au propane, le réfrigérant à composants multiples ou mixtes (MCR) se compose de quatre constituants :

N_2 = 2,7 % ; C_1 = 40,7 % ; C_2 = 54,4% ; C_3 = 2,2 %

L'azote, composant plus léger, permet d'obtenir une différence de température suffisante lors de son passage à travers la vanne Joules Thompson à l'extrémité froide de l'échangeur principal 116-C. Le propane, composant plus lourd, établit une différence de température à l'extrémité chaude de cet échangeur. Quant aux constituants C_1 et C_2, de pourcentage élevé dans ce réfrigérant, assurent une différence de température entre les fluides côté tube et côté calandre de l'échangeur.

IV-1 Description générale de la boucle MCR

Le réfrigérant MCR fournit à l'échangeur principal la quantité de froid nécessaire à la liquéfaction du gaz naturel et la condensation des vapeurs en tête de la tour de lavage.Le principe utilisé est celui d'une boucle frigorifique classique basée sur le cycle de Carnot.

Le courant réfrigérant sort du fond (calandre) de l'échangeur116-C sous forme vapeur et pénètre dans le ballon d'aspiration 106-F où il est acheminé vers le compresseur MCR (1^{er} étage) 102-J (voir figure (I.3)).Après compression, le MCR entre dans le refroidisseur intermédiaire 110-C où il refroidit par l'eau de mer (EDM).A la sortie, il se dirige vers le ballon X07-F puis vers le compresseur 103-J ($2^{ème}$ étage).Afin d'éliminer la chaleur de compression, il refroidit dans le refroidisseur complémentaire111-C.

Le MCR à haute pression (45 bar) est refroidi et partiellement condensé au propane à travers les échangeurs (112-C-113-C-114-C-115-C). Les courants MCR à haute pression et à deux phases sont dirigés vers le ballon de séparation 109-F dans lequel a lieu la séparation entre les deux phases.Le courant de vapeur MCR en tête du 109-F se sépare en deux courants :

- Un courant se dirige vers l'échangeur de rejet 117-C où il est condensé et sous refroidi à contre-courant par l'intermédiaire des vapeurs de tête des 110-F et 102-E et détendu par une vanne de détenteTV 514
- Uneautre partie du courant MCR vapeur du 109F se dirige vers le faisceau chaud de l'échangeur principal 116-C où est totalement condensé et sous refroidi avant d'être acheminé vers le faisceau froid pour y être sous refroidi complètement.

Le MCR sort sous forme liquide à l'extrémité froide (en tête) du 116-C, sa pression est alors réduite par la vanne de JouleThomson(JT)froide (PFV 567).Après détente, les deux courants se combinent et entrent de nouveau dans la calandre du 116-Cpour être distribués dans la calandre de manière à fournir les frigories au faisceau froid.

Le MCR liquide du fond du 109-F est acheminé dans le faisceau chaud où il est sous refroidi lors de son passage à travers le faisceau central, sa pression subit une détente à travers la JTchaude installée à l'extérieur du 116-C.Ce courant, dont la pression et par conséquent la température ont été réduites, pénètre à nouveau dans la calandre de116-C. Le liquide et les vapeurs formées par la détente, se mélangent avec le liquide et les vapeurs descendants le long de la calandre depuis le faisceau froid.Le liquide se vaporise par écoulement sur les tubes des faisceaux centrale et chaud, assurant ainsi la réfrigération des deux faisceaux tubulaires gaz naturel (GN) et gaz naturel liquéfié (GNL).

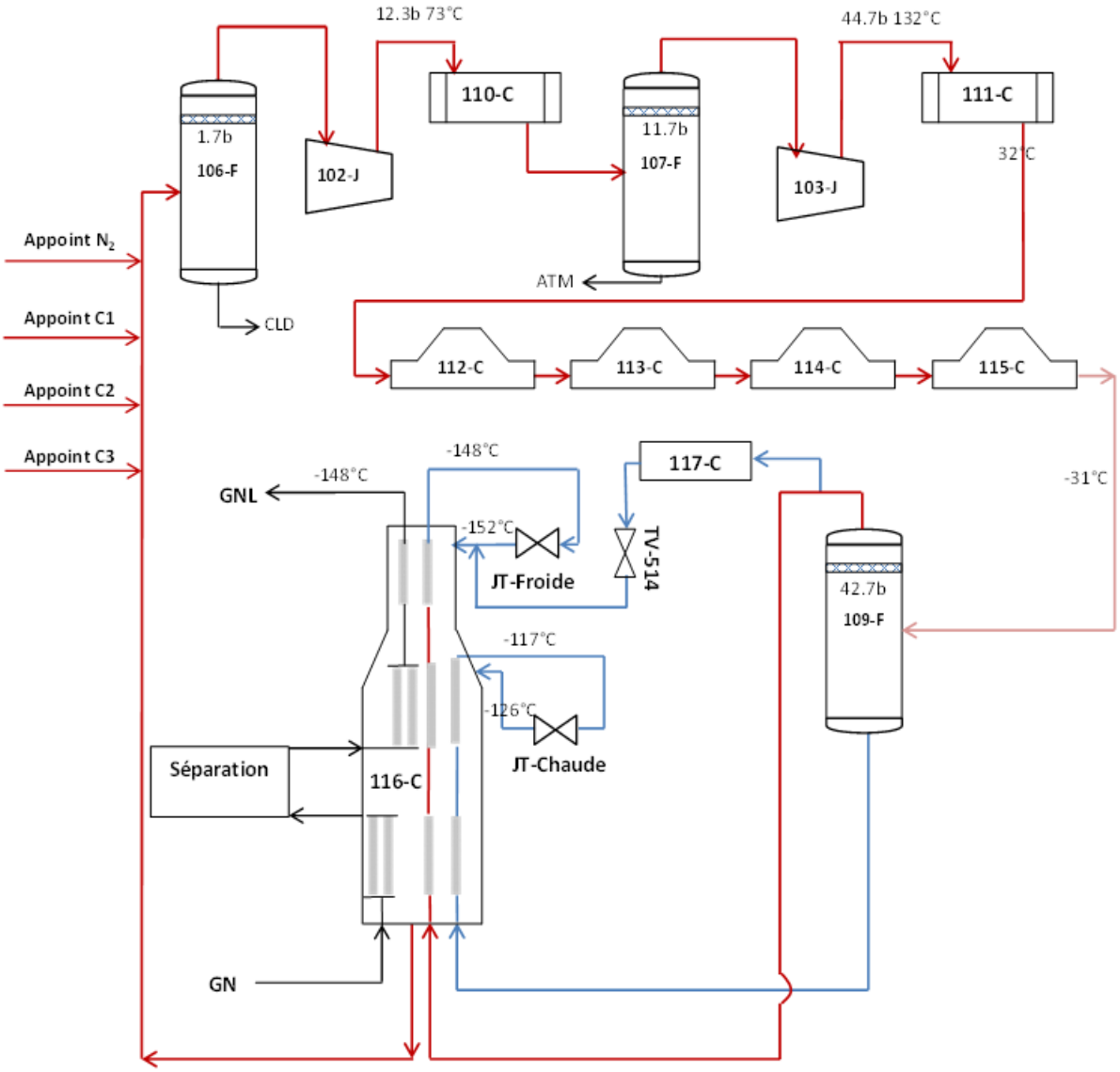


Figure (I.3) -Schéma de la boucle MCR

PROBLĒMATIQUE ET ANALYSE

I Introduction

Les systèmes frigorifiques jouent un rôle primordial et incontournable dans la technologie de liquéfaction du gaz naturel. Dans le complexe GL2/Z, deux boucles de réfrigération sont mises en œuvre :

- Une boucle de réfrigérationà propane ;
- Une boucle de réfrigération à multi -réfrigérant (Multi Composant Réfrigérant ou MCR).

La boucle à propane est utilisée pour condenser une partie du MCR et pré-refroidir le gaz naturel pour pouvoir ainsi séparer aisément ses constituants lourds et prévenir tout bouchage possible en aval du procédé de liquéfaction.

La boucle de MCR est utilisée pour la liquéfaction et le sous-refroidissement du gaz naturel, ce réfrigérantse compose de quatre constituants :

C_1 : 40,2% C_2 :54,4% C_3 :3,2% N_2 : 2,2%

Cette composition soumise à un contrôle permanent pour assurerla régularité constante, du moment que l'efficacité du cycle est très sensible à toute variation de la composition du réfrigérant, ainsi, afin d'obtenir l'efficacité la plus élevée, le réfrigérant doit être de composition aussi proche que possible decelle du design. Le complexe GL2/Z est exposé au problème de perturbations importantes de la composition du réfrigérant (MCR) ce qui provoque une réduction dans le rendement.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons abordé la problématique liée aux perturbations de la boucle MCR, au niveau du complexe GL2Z, en suivant les étapes :

1. Chercher les causes de ces perturbations et leurs conséquences.
2. Réaliser une simulation de la boucle de réfrigération (MCR) à l'aide du simulateur Hysys afin d'étudier l'impact de ces perturbations sur le cycle de réfrigération.
3. Proposer des solutions pour minimiser ces perturbations.

La boucle MCR est une boucle supposée théoriquement fermée, cependant et à cause des différentesfuites, au niveau du cycle, il devient nécessaire, quotidiennement, de faire des appoints afin de compenser les pertes en constituants et régler la composition adéquate.

Après une collecte de données au niveau du laboratoire d'analyse et une comparaison entre les paramètres opératoires au niveau du DCS avec les paramètres design, nous avons constaté desécarts, entre le réel et le design, dus principalement à" la contamination" des réfrigérants MCR et Propane.

Le but de l'étude est d'élucider les raisons de ces écarts,étudier puisanalyser l'impactde ces changements sur la qualité de réfrigération de la boucle MCR.

I-1 Dysfonctionnement de réfrigération de la boucle MCR

I-1-1 Composition du réfrigérant Propane (Boucle propane)

Vu l'existence de la relation entre les deux boucles MCR et propane, toute défaillance dans laboucle propane comme la présence de certains incondensables tels que l'éthane comme le montre le tableau d'analyse (II-1) ci-dessous, est propagée dans la boucle MCR (voir figure II.1)

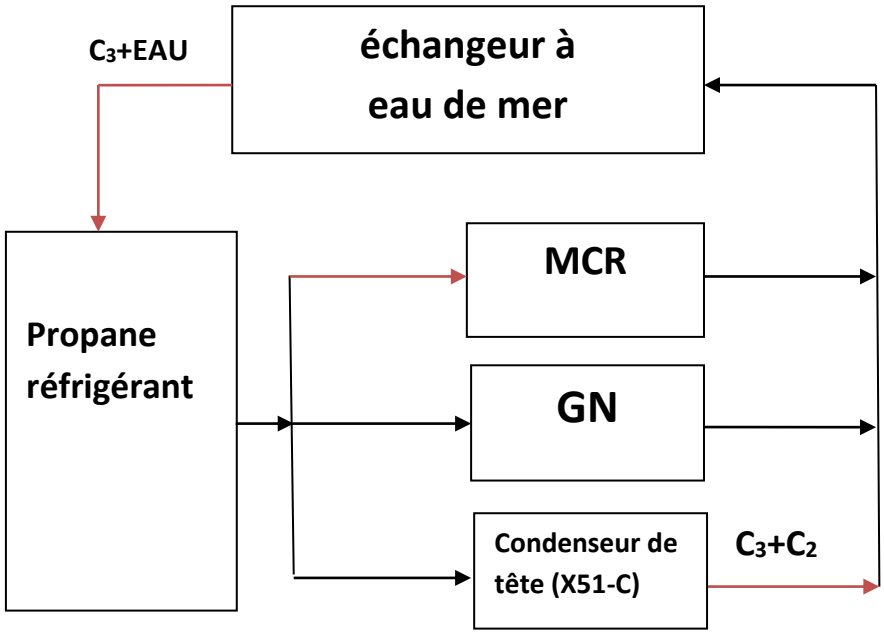


Figure (II.1)-Contamination de la boucle propane

Tableau (II-1)- Composition moyenne de la boucle Propanеréfrigérant (du 10 jusqu'au 16 /04/2019)

Composant	% actuelle	% Design
C_1	1,128	0
C_2	4,993	0
C_3	93,066	100
iC_4	0,334	0
nC_4	0,31	0
N_2	0,169	0

Le graphe de la figure (II.2) représente la variation de la température du multi-réfrigérant MCR sorti desSchillers (où s'effectue le contact indirect entre propane et MCR), cet enregistrement a été réalisé au niveau du train 100 par l'indicateur de température TI-1-310pendant lapériode du 25/02/2019 jusqu'au 25/04/2019

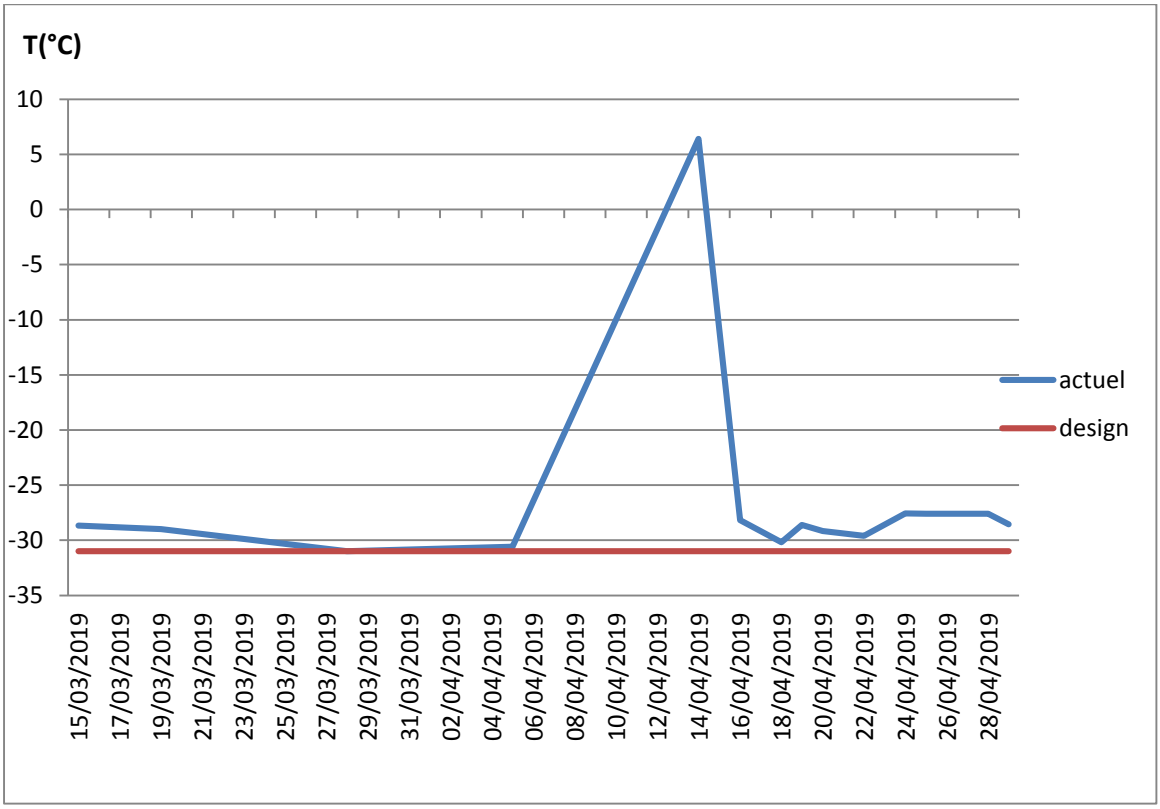


Figure (II.2) - Variation de la température de MCR sorti des Schillers

Le graphe montre une augmentation de la température du réfrigérant MCR par rapport à celle du design qui reste invariable et égale à -31°C, le multi-réfrigérant perd de son efficacité à cause de sa température qui dépasse 5°C,ceci est dûà la présence des incondensables dans la boucle propane (voir tableau (II-1). Le percement au niveau des échangeurs à eau de mer provoque une déperdition du propane vers l'eau de mer ; aussi l'endommagement du condenseur 151-Cen tête du dééthaniseurcontamine la boucle C_3 par l'éthane C_2 .

I-1-2 Composition du multi-réfrigérant (Boucle MCR)

Lemulti-réfrigérant MCR renferme des constituants (**N_2, C_1, C_2 et C_3)** provenantdedifférentes sources comme le méthane qui provient du ballon de reflux de la tour de lavage X08-F, l'éthane du dééthaniseurX51-E (voir figure II.3),le propane du dépropaniseurX52-E et l'azote dudéazoteurX02-E. L'analyse de la composition du MCR**,** effectuée dans la journée du 14-04-2019,au niveau du train 100, est détaillée dans le tableau (II-2) où des différences remarquables ont été constatées.

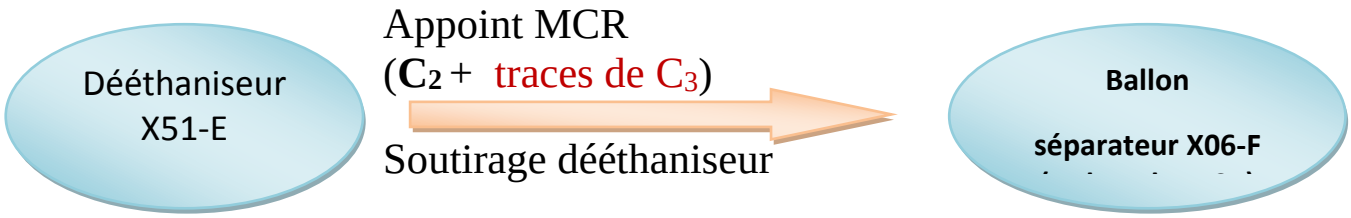


Figure (II.3)- Contamination de la boucle MCR par le propane

Tableau (II-2) -Analyse de la composition du MCR[6]

Composants		**N_2**	**C_1**	**C_2**	**C_3**	**iC_4**	**nC_4**	**iC_5**	**Total**
MCR (%) molaire	Design	2,7	40,7	54 ,4	2,2	-	-	-	100
	Train 100	2,282	38,018	52,497	**7,143**	**0,056**	**0,004**	-	100
X51-E (%) molaire (soutirage dééthaniseur)	Design	0,02	10,89	88,27	0,81	0,001	0	-	100
	Train 100	0,083	**4,728**	**76,038**	**19,157**	-	-	-	100

D'après les résultats de l'analyse on constate que :

- ✓ La quantité importante de propane dans la boucle MCR par rapport au cas design, sachant qu'il s'agissait d'un appoint d'éthane et non de propane.
- ✓ Le dééthaniseur151-Eproduit de l'éthane accompagné de propane(19,157% de C_3 au lieu de 0,81%)

Ainsi, dans la suite de l'étude, nous réalisons des investigations au niveau du dééthaniseur afin de détecter les paramètres responsables de ce dysfonctionnement. Pour se faire nous allons tout d'abord décrire la section de dééthanisation.

II Colonne de dééthanisation[7]

II-1 Principe de la distillation

La vaporisation d'un mélange permet d'obtenir deux phases :

- une phase vapeur riche en légers mais contenant encore des traces de lourds.
- Une phase liquide riche en lourds mais contenant encore des légers.

Ces distillations successives se font dans des colonnes munies de plateaux. Le courant de vapeur est ascendant, alors que le liquide provenant de la condensation partielle des vapeurs, circule par gravité des plateaux supérieurs vers les plateaux inférieurs.

Des échanges de chaleur sont réalisés entre les fluides eux-mêmes (vapeurs et condensats), la phase vapeur émise au plateau inférieur est plus chaude que la phase liquide du plateau suivant. La dééthanisation consiste en la séparation en deux couples (C_1, C_2) et(C_3, C_4, C_{5+}) de la charge venant du fond de la tour de lavage (voir figure (II.4)). La séparation du C2 s'effectue par condensation partielle dans le condenseur de tête

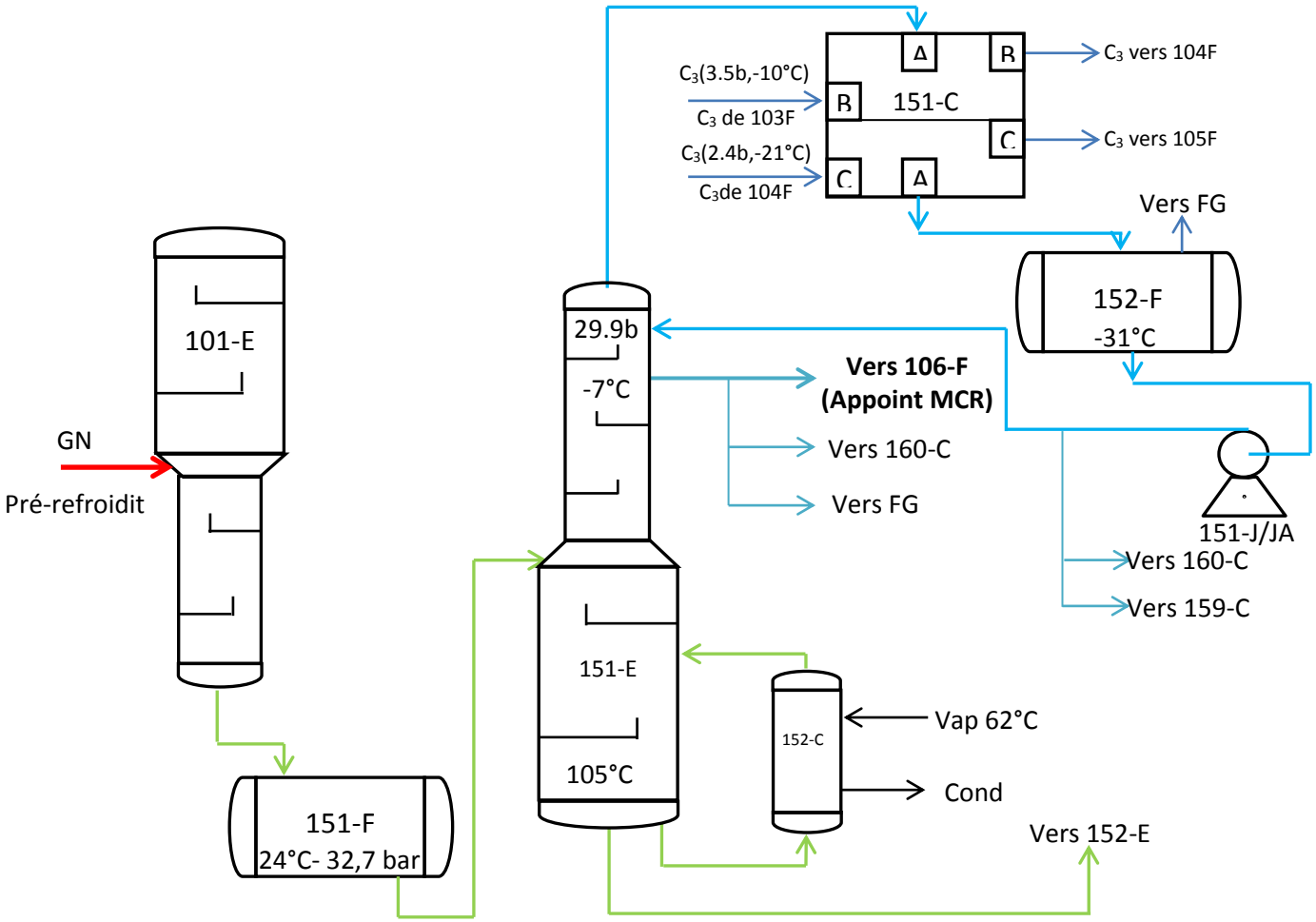


Figure (II.4)-Section de Dééthanisation

II-2 Ballon tampon X51-F

Le produit de fond de la tour de lavage X01-E étant sujet à des variations de débit, composition, de température et de pression dues à des variations de débit et de composition de la charge GN à l'entrée des trains de liquéfaction. Ce ballon évite que ces variations ne se répercutent de façon brusque sur le dééthaniseur (ce qui serait préjudiciable à la stabilisation des 3 colonnes du fractionnement) et il constitue également une réserve de liquide d'alimentation aux trois colonnes, d'une capacité utile de liquide d'environ 44 m^3. Cette réserve correspond à une autonomie de fonctionnement de 40 minutes.

II-3 Dééthaniseur X51-E

C'est une colonne de 32 m de hauteur ; elle est constituéed' un ensemble de 48 plateaux.Des plateaux perforés à déversoir latéral etintercalés avec des plateaux à déversoir central. La pression est de 31 bars et une température propre à chaque plateauvariant de –6°C en tête à 112°C au fond de colonne. Les vapeurs en tête sont dirigées vers le condenseur de tête 151-C pour y être condensées partiellement. Une conduite sur la ligne des vapeurs en tête permet d'évacuer en cas de nécessite une partie des vapeurs vers torche froide.Les produits de fond sont dirigés vers le dépropaniseur X52-E par la vanne FV413 sous contrôle de niveau .Un soutirage de vapeur se fait au niveau du plateau n°10 par FIC 444. Les vapeurs à -7°C sont dirigées vers le sous refroidisseur de butane X60-C pour être refroidies à –29°C puis vers l'échangeur à plaques X17-C pour être réinjectées dans le gaz naturel afin d'augmenter son pouvoir calorifique. Une autre partie de ce soutirage peut être utilisée comme appoint en cas de besoin dans le MCR. Tout excédent de vapeur est dirigé vers le fuel gaz

II-4 Condenseur de tête X51-C

Il s'agit d'un condenseur à plaques à deux étages de réfrigération au propane. Le 1^{er} étage est en mesure de condenser les vapeurs de tête jusqu'à une température de – 16°C ; tandis que le second jusqu'à – 33°C (c'est la température de sortie minimale).

Les vapeurs en tête renferment une proportion non négligeable de C_1 .

II-5 Ballon de reflux X52-F

Il fonctionne en condensation partielle. Une ligne en tête du ballon permet à l'aide de l-indicateur de pression PIC403 d'évacuer les incondensables vers le collecteur fuel gaz et de contrôler la pression du dééthaniseur à 31,4bar.Le ballon X52-F dispose d'une capacité utile

de liquide d'environ 4 m^3 ; ce qui correspond à une autonomie de 2 minutes pour un reflux à pleine charge d'alimentation.

II-6 Rebouilleur X52-C

Il s'agit d'un rebouilleur à vapeur (4,5 bars), côté calandre.et hydrocarbures côté tubes.

La circulation du produit de fond se fait du bas vers le haut du rebouilleur, il est alimenté par le fond du X51-E où se trouve la plaque séparatrice. L'action sur la vanne de niveau LV404 sur le condensât permet de jouer sur le débit de vapeur à condenser, donc sur la chaleur échangée et sur la quantité vaporisée, réinjectée au fond de la colonne.

Le tableau (II-3) regroupe les conditions de fonctionnement Design des équipements cités ci – dessus.

Tableau (II-3)- Conditions de fonctionnement Design des équipements

Equipement	**Paramètre**	**Indicateur**	**Design**
Ballon tampon (X51-F)	Pression (bar)	PIC 401	**32,7**
	Débit vers 51E (m^3/h)	FIC403	**38,6**
	Température (°C)	TI-1-401	**28,7**
Dééthaniseur(X51-E)	Température de tête (°C)	TI-1-405	**-6,7**
	Température de fond (°C)	TI-1-426	**112**
Ballon de reflux (X52-F)	Pression (bar)	PIC403	**30,3**
	Débit de reflux (m^3/h)	FIC404	**35,6**
	Température (°C)	TI-1-407	**-31**

III Suivi du fonctionnement du dééthaniseur [8]

Le suivi du fonctionnement du deéthaniseur à été mis en œuvre par le tracé de quelques variablesopératoires, notamment la température, la pression et le débit, pendant une période allant du 03/03/2019 jusqu'au 29 /04 /2019. Les résultats sont regroupés dans plusieurs graphiques cités ci-dessous :

III-1Variation de la pression dans le ballon tampon

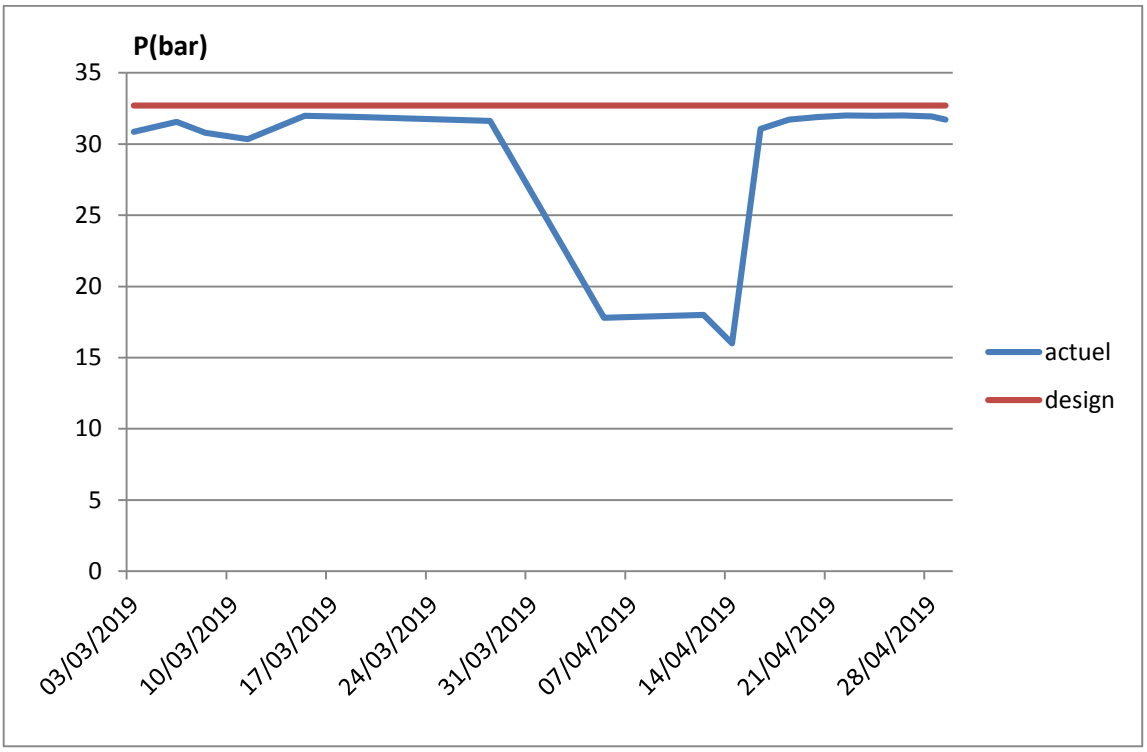


Figure (II.5) - Variation de la pression dans le ballon tampon 151-F

III-2 Variation de la température dans le dééthaniseur

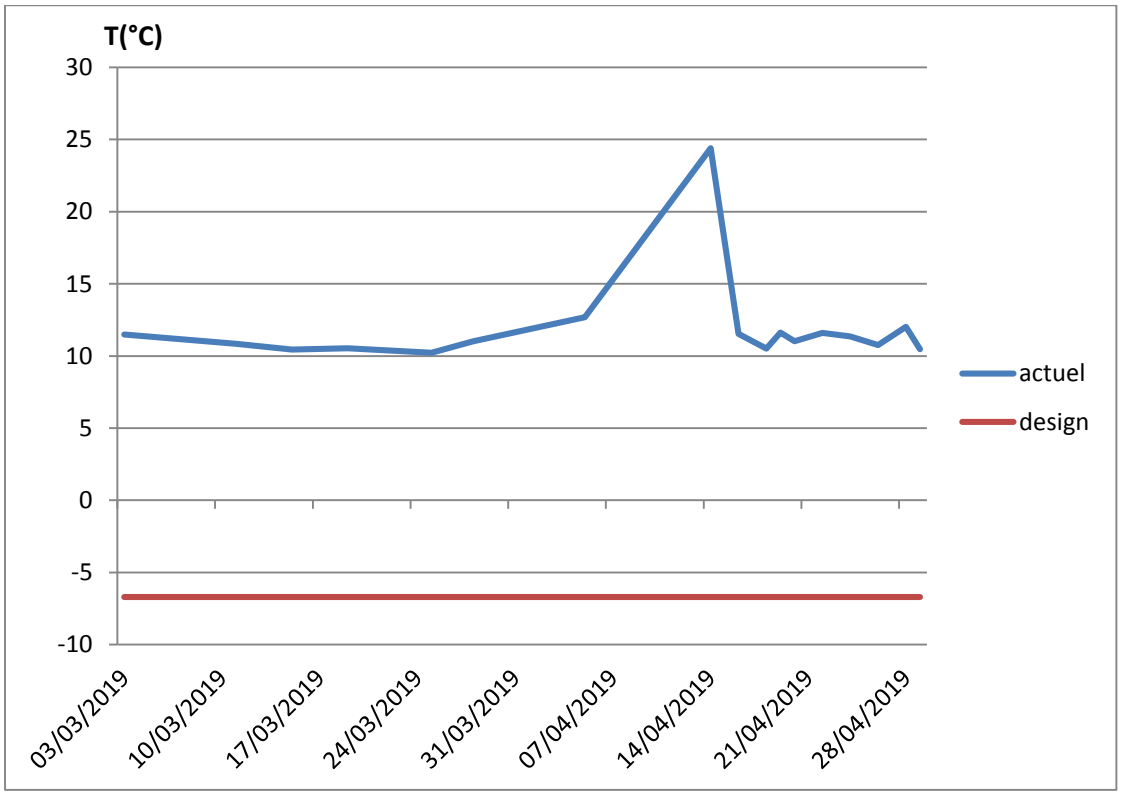


Figure (II.6)-Variation de la température du produit de tête de dééthaniseur 151-E

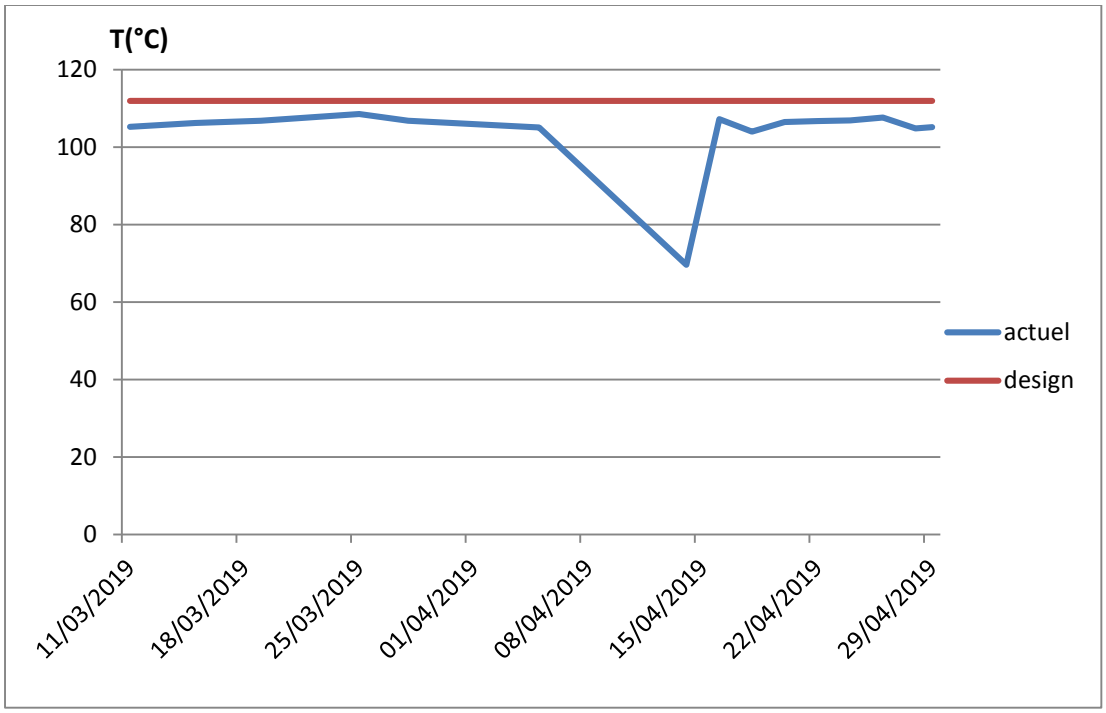


Figure (II.7)-Variation de la température du produit de fond du dééthaniseur 151-E

III-3 Variation du débit dans le ballon de reflux

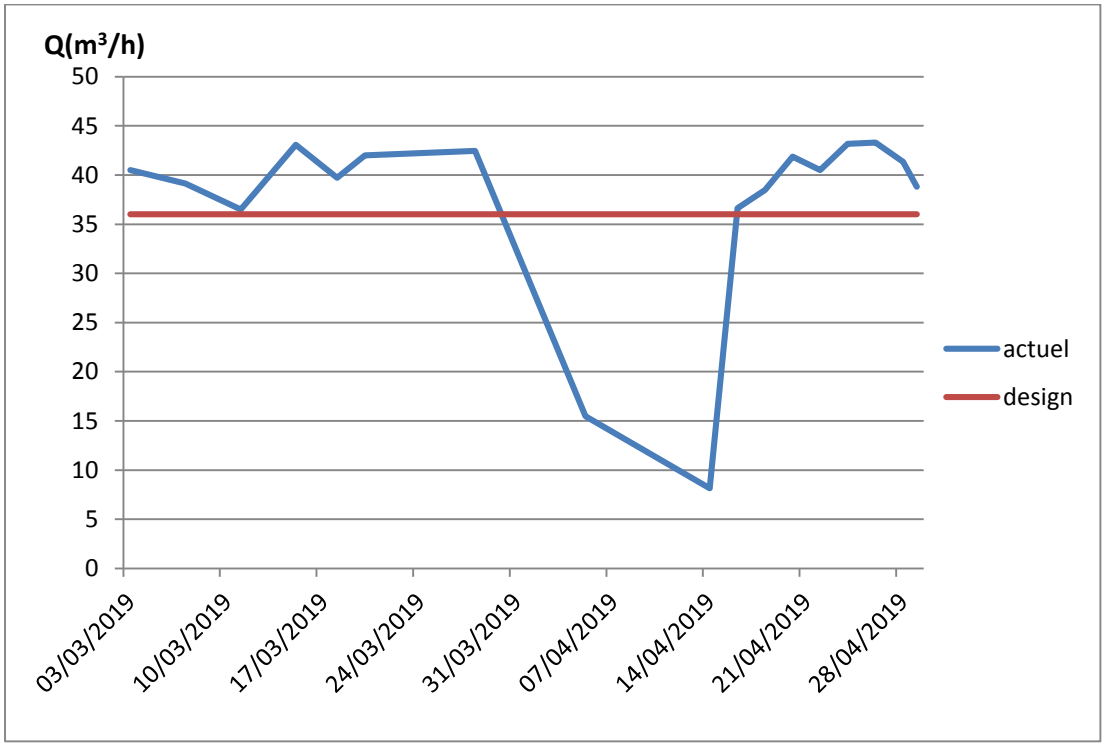


Figure (II.8)-Variation du débit du ballon de reflux 152-F

III-4 Interprétation

D'après les graphes on remarque qu'il y a une perturbation au niveau de la colonne de deéthanisation**151-E** (durant la période (**03 /03/2019 au 29 /04 /2019**).

La température en tête du déethaniseur est toujours supérieure à celle du design ;on constate une augmentation brusque de la température entre le 05/04/19 et le 14/04/2019; due à un faible débit de reflux (voir Figure (II.8))causépar un dysfonctionnement du condenseur de tête (151-C).Ce problème est engendré par la contamination de la boucle propane par les produits légers tels que l'éthane ce qui augmente la température au niveau du condenseur et une mauvaise condensation du C_2et un faible reflux (voir Figure (II.6))

La température du fond de la colonne de dééthanisation est quasiment stable durant la période du 11-03-2019jusqu'à 28-04-2019 sauf pour la journée du 14 -04-2019 où le MCR renfermait une quantité importante de C_3.

La pression du ballon151-Fest plus au moins conformes à celle du design, les perturbations de la journée du 14-04-2019 sont dues à un déclenchement d'un turbo compresseur suivi d'un arrêt du train 100.

IV- Impact de la composition du MCR

- Un excès d'éthane et de propane dans la composition du multi-réfrigérant MCR est accompagné d'un appauvrissement en constituants légers tels que le méthane et l'azote et par conséquent une diminution du rapport (Pression de sortie/Pression à l'entrée de la vanne Joule-Thomson froide) ce qui provoque une chute de température et un écart entre le réel et le design et de ce fait la température de sortie du GNL n'est pas atteinte. La figure (II.9)illustre ces remarques.

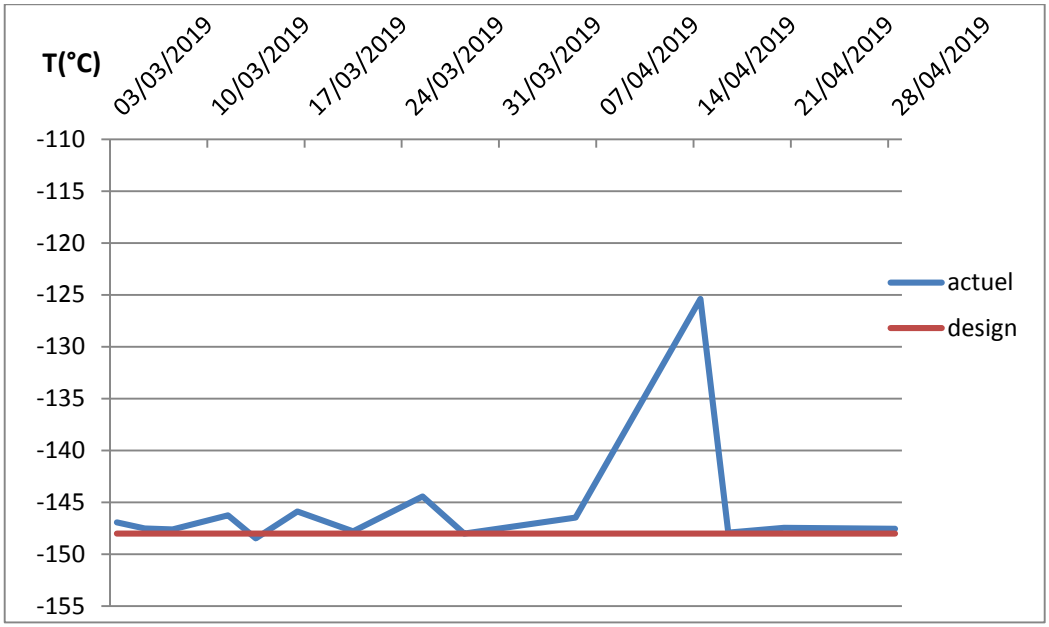


Figure (II.9)-Variation de la température du GNL sorti de l'échangeur principal116-C

- Lorsque le pourcentage des lourds (L'éthane et beaucoup plus le propane) augmente dans la boucle MCR; la température côté calandre de l'échangeurprincipale X16-C diminue ce qui provoque une chute de la température d'aspiration du compresseur MCR I (102-J) qui peut atteindre parfois sa température de déclenchement (-60°C) comme le montre le graphe de la figure (II.10)

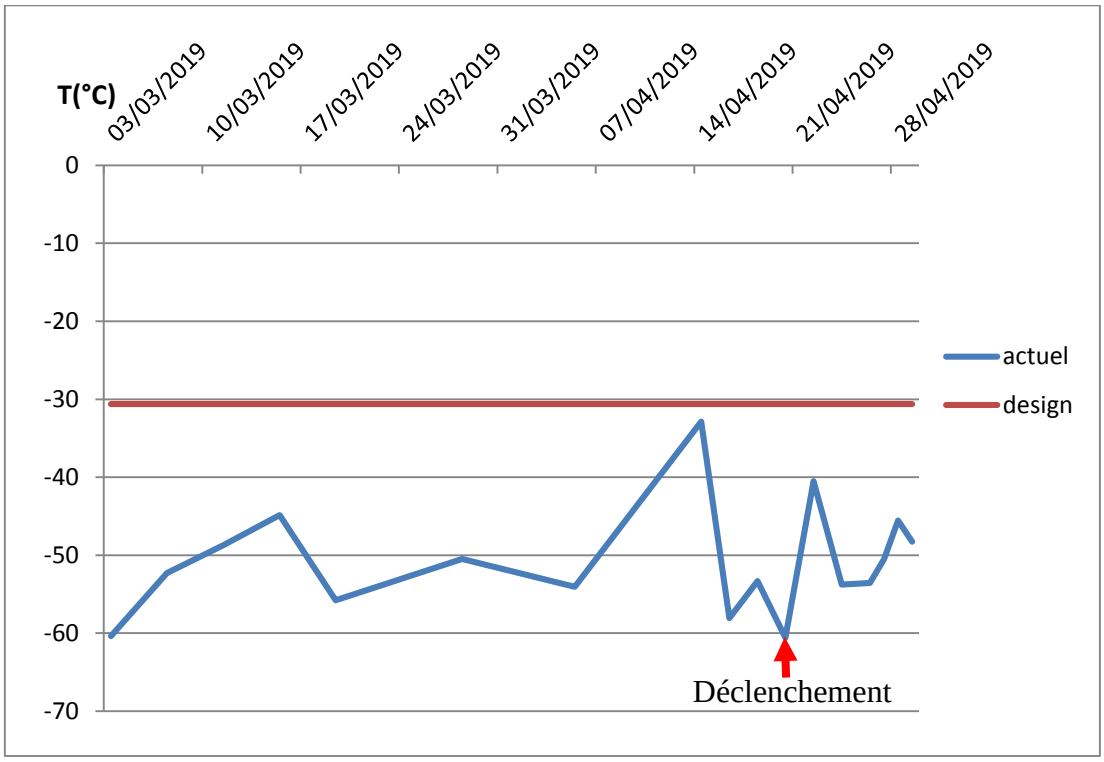


Figure (II.10)-Variation de la température d'aspiration du compresseur MCR I (102-J)

V Conclusion

Finalement et après plusieurs expérimentations nous avons pu détecter les causes et les conséquences du dysfonctionnement de la boucle du multi-réfrigérant MCR notamment la contamination de la boucle propane et la variation de la composition du MCR.

Afin d'analyser l'impact de la variation de la composition du MCR sur le cycle de réfrigération, et la production GNL, une simulation de la boucle de réfrigération par MCR sera introduite dans le chapitre suivant.

SIMULATION ET RÉSULTATS

Afin de pouvoir analyser la problématique du dysfonctionnement de la boucle MCR, nous avons simulé le problème à l'aide du logiciel Hysys afin d'étudier l'influence de la perturbation de la boucle MCR sur quelques paramètres du procédé tels que la température de sortie du gaz naturel de l'échangeur principal, les puissances consommées des compresseurs et notamment le coefficient de performance (COP).

I Simulation

I-1Le simulateur HYSYS

Le développement de l'informatique a connu un très grand essor et progrès important, les différentes disciplines en profitent largement. Son application aux différents domaines scientifiques s'élargi d'avantage vu l'importance de l'ordinateur dans la résolution des problèmes. Dans le domaine du génie des procédés, la nécessité de l'informatique ne se discute pas et se fait de plus en plus ressentir. En fait pour traiter de la modélisation et de la simulation, la programmation est plus qu'indispensable. En génie des procédés, la conception assistée par ordinateur (CAO) regroupe un bon nombre de simulateurs qui passe de la spécialisation aux simulateurs de procédés robuste et efficace dont on peut citer : Aspen plus, Hysys, Chemcad, Prosim etc... Grace à la CAO des simulations virtuelles peuvent être faites avant de procéder à la réalisation d'un procédé. Cette technique est particulièrement intéressante, compte tenu de l'enjeu économique et financier de certains projets. Les simulateurs précédemment cités permettent non seulement de simuler tout un procédé mais aussi les différents équipements que peut contenir un procédé comme la colonne de distillation, d'extraction, d'absorption, les réacteurs chimiques, les échangeurs de chaleur, etc. Un 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.
- Etudier l'influence d'un paramètre donné sur le bon déroulement d'un procédé ou partie du procédé.

Le simulateur permet aussi de suivreles procédés 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.
- Adopter un process conforme à de nouvelles lois réglementaires (concernant le produit, l'environnement, etc.)

Le procédéest schématisé par une feuille de courant **PFD**(Process Flow Diagram) ou Flowsheet.

I-2 Méthodologie de la simulation

Dans un premier temps nous avons validé, la simulation de la boucle MCR à partir des données design (Composition, Température,…) afin de vérifier les performances du simulateur Hysys en comparant les résultats obtenus à ceux du design.

Ensuite et afin de voir l'impact de la composition réelle du MCR sur les paramètres de la boucle, nous avons introduit les données réelles de la boucle et obtenu par simulation les résultats conformes à ce dysfonctionnement.Quant à la feuille decourant PFD construite (Figure III.1), on note que la totalité des équipements sont présents sur cette feuille sauf l'échangeur principal, inexistant dans la palette des opérations unitaires du simulateur, a été remplacé par ses différentes sections (section chaude du bas, section centrale et section froide du haut)

Le tableau (III-1) illustre les différentes sections de l'échangeur principal introduites dans la simulation, le tableau (III-2) détaille les différents équipements intervenants dans la circulation du réfrigérant multi-composant (MCR), les tableaux (III-3) et (III-4) résument les différentes données de design et la composition du gaz naturel traité respectivement. Les paramètres de fonctionnement des équipements sont regroupés dans les tableaux (III-5a) et (III-5b)

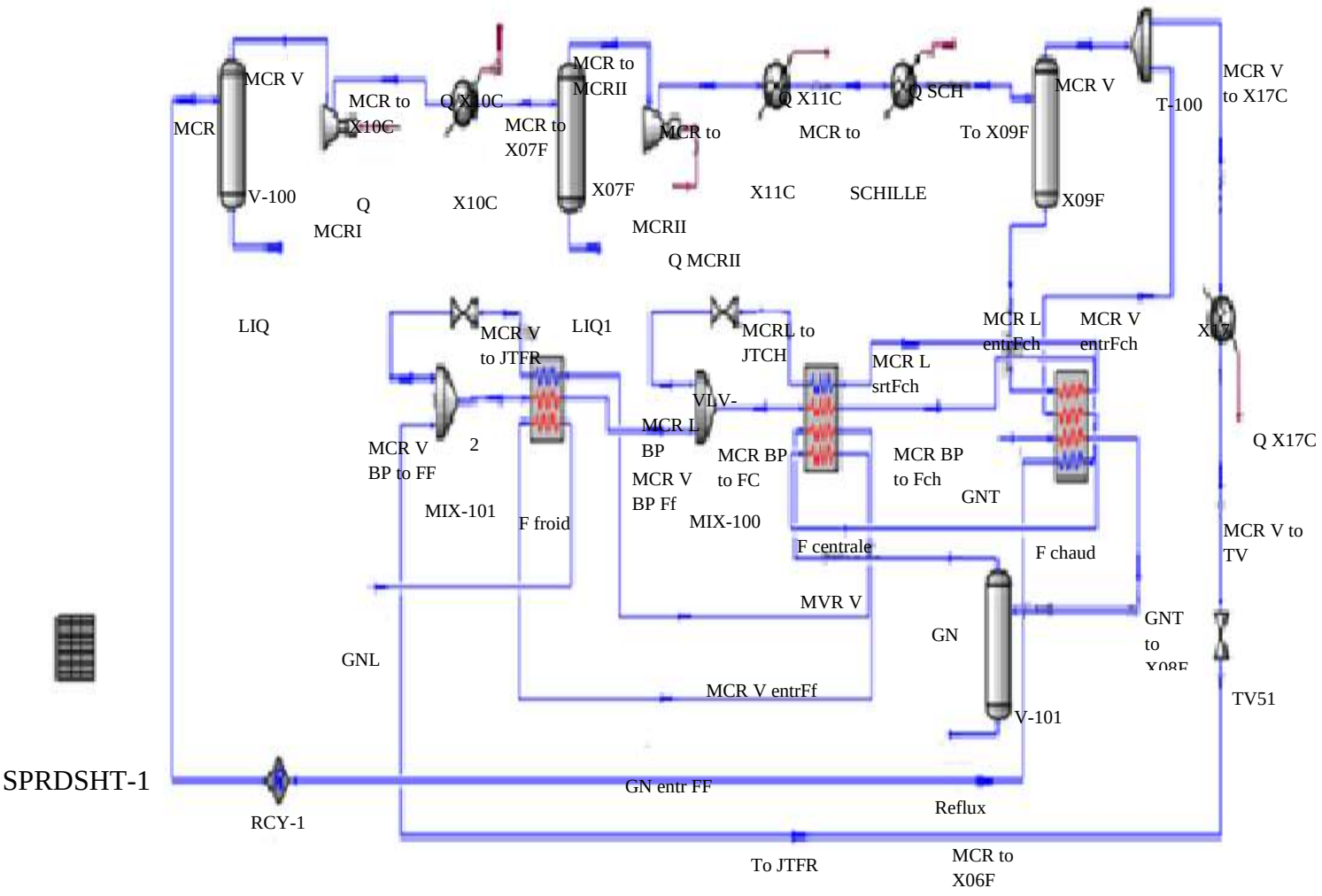


Figure (III.1) - Flowsheet de la boucle MCR

Tableau (III-1)- Différentes sections de l'échangeur principal

Section chaude (Echangeur à plaques 4 passes)	Coté tube du **MCR** liquide Coté tube du **MCR** vapeur Coté tube du **GN**à refroidir **MCR** venant de la section centrale
Section centrale (Echangeur à plaques 4 passes)	Coté tube du **MCR** liquide sortant de la section chaude. Coté tube du **MCR** vapeur Coté tube **GNT** à liquéfier Coté calandre du MCR liquide venant de la **JT chaude+MCR vapeur** venant de la section froide.
Section froide (Echangeur à plaques 3 passes)	Coté tube MCR vapeur Coté tube GN à refroidir Coté calandre MCR vapeur venant de la JT froide
JT chaude	Vanne **Joule-Thomson** située dans le faisceau chaud de l'échangeur principal
JT froide	Vanne **Joule-Thomson** située dans le faisceau froid de l'échangeur principal

Tableau (III-2)- Les différents équipements intervenants dans la boucle MCR

Compresseur MCRI (1er étage)	**X02-J**
Compresseur MCRII (2^{éme} étage)	**X03-J**
Echangeur de chaleur à eau de mer	**X10-C**
	X11-C
Echangeur à propane	**X12-C**
	X13-C
	X14-C
	X15-C
Echangeur de rejet	**X17-C**
Ballon séparateur	**X06-F**
	X07-F
	X09-F
Ballon de reflux de la tour de lavage	**X08-F**

Tableau (III-3) - Les différentes données Design [9]

	Débit total (kg/h)	**Débit entrant X17-C (kg/h)**	**Température d'entrée Te(°C)**	**Pression entrant Pe(bar)**	**Composition Design (%)**		**Pression de GNL à la sortie de X16C (bar)**
MCR	$4{,}263.10^5$	9119			**N_2**	2,7	
					C_1	40,7	
					C_2	54,4	
					C_3	2,2	
GN	$2{,}22.10^5$		33,4	36,5			28

Tableau (III-4)-Composition du gaz naturel traité entrant dans l'échangeur principal

Composant	He	N_2	C_1	C_2	C_3	iC_4	nC_4	iC_5	nC_5	iC_6	nC_6
%(molaire)	0,02	5,92	84,70	7,72	1,52	0,04	0,03	0	0	-	-

Tableau (III-5a)- Paramètres de fonctionnement des équipements

	Aspiration du 1ercompresseur	**Refoulement du 1er compresseur**	**Aspiration du 2ème compresseur**	**Refoulement du 2èmecompresseur**
Température (°C)			32,2	121
Pression(bar)		12,3	11,7	44,7

Tableau (III-5b)- Paramètres de fonctionnement des équipements

Equipement	**Te (°C)**	**Ts (°C)**	**Pe (bar)**	**Ps (bar)**	**∆P(bar)**
X-10C	-	32,2	12,3	-	0,6
X-11C	-	32,2	44,7	-	0,5
Schiller	32,2	-30,5	-	42,8	-
X-17C	-	-149	-	42	-
TV-514	-149	-	42	3,779	-
JT Chaude	-117,2	-125,5	36,4	-	-
JT Froide	-149	-152,3	29,10	-	-

Dans le tableau (III-6), sont calculées les erreurs relatives commises entre les résultats réels (cas simulation) etdesign et ceux trouvés par simulation, nous constatons que ces erreurs ne dépassent pas les15%, ce qui confirme la validité de la simulation et nous permet de modifier quelques paramètres dans le procédé et obtenir des résultats fiables pouvant analyser le problème du dysfonctionnement de la boucle MCR

Tableau (III-6) –Erreur relative entre résultats réels et de design

Paramètres	**Cas design**	**Cas simulation**	**Erreur $[(X_D-X_S)]/X_D$ %**
Température du GNL sortie du X16C (°C)	-148	-149,7	1,1
Puissance du compresseur MCR I (kW)	22170	23975,6	8,14
Puissance du compresseur MCR II (kW)	24869	21427,7	13,8
Température d'aspiration du compresseur MCR I (°C)	-35	-35	0

II Simulation du dysfonctionnement de la boucle MCR

Dans ce qui suit, nous étudions l'effet de la variation de la composition du MCR sur les paramètressuivants :

- La température du GNL à la sortie de l'échangeur principal X16-C.
- La puissance consommée par les compresseurs MCRI et MCRII.
-La température du MCR à la sortie de la calandre de l'échangeur principal X16-C(Température d'aspiration du compresseur MCRI).
- Le coefficient de performance de la boucle MCR(COP).

Les compositions réelles du MCR sont enregistrées pendant 03 jours consécutifs (16-18 et 20 avril 2019)

Tableau (III-7)-Différentes compositions de MCR, réelles et de Design[8]

Composant	**MCR (design)**	**MCR I (16 /04/2019)**	**MCR II (18 /04/2019)**	**MCR III (20/04/2019)**
N_2	2,7	2,01	2,282	3,2
C_1	40,7	38,462	36,018	40,2
C_2	54,4	58,553	58,497	53,4
C_3	2,2	0,641	3,144	3,2
iC_4	-	0,022	0,056	-
nC_4	-	0,028	0,004	-
iC_5	-	0,002	-	-

II-1 Résultats et interprétation

L'impact des différentes compositions du MCR sur plusieurs paramètres est résumé par les différents graphiques des figures (III.2), (III.3), (III.4) et (III.5)

II-1-1Variation de la température du GNL sorti de l'échangeur principal

Le graphe de la figure (III.2) montre qu'avec les compositions actuelles du MCR, la température design du GNL à la sortie de l'échangeur principal X-16C n'est pas atteinte et on constate une différence de température atteignant 13°C en d'autres termes le gaz naturel liquéfié n'est pas refroidi jusqu' à la température désirée avec le multi-réfrigérants de température non adéquate.

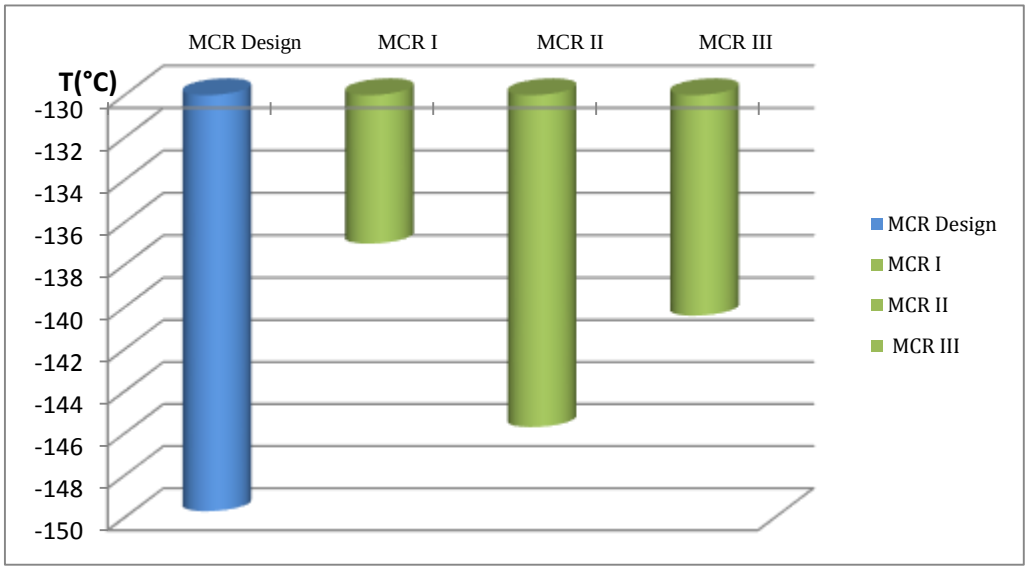


Figure (III.2)-Température du GNL sorti de l'échangeur principal X16-C

II-1-2 Variation des puissances consommées par les deux compresseurs (MCRI et MCRII)

Les graphes des figures (III.3) et (III.4) présentent la variation de la puissance du compresseur MCRI et MCRII en fonction de la composition de MCR.

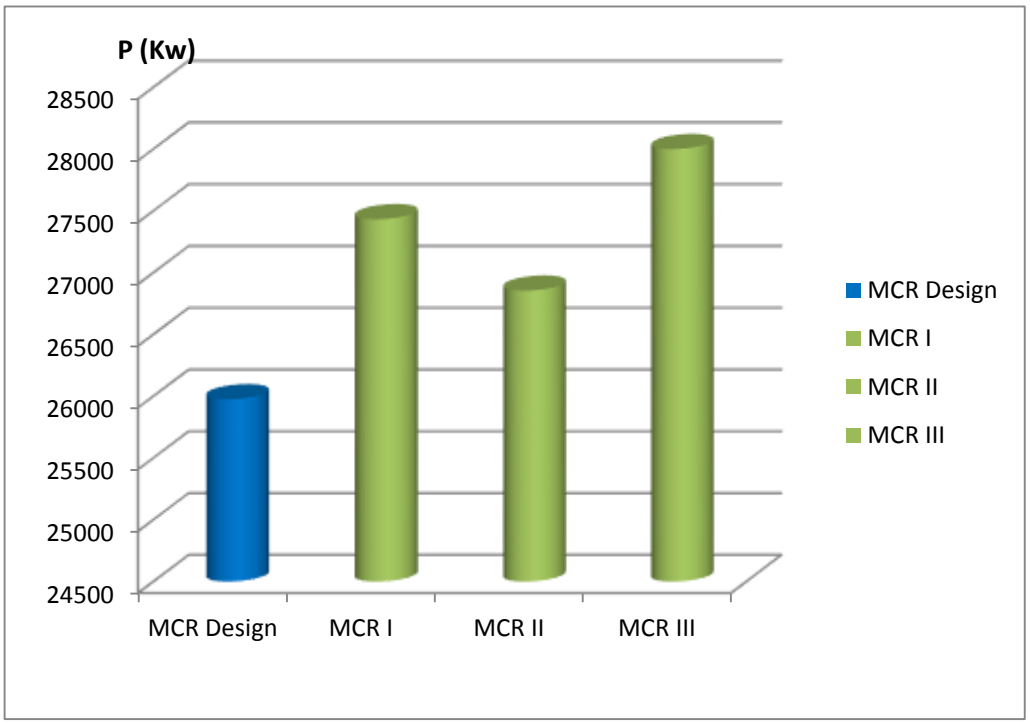


Figure (III.3)- Puissance consommée par le compresseur MCRI

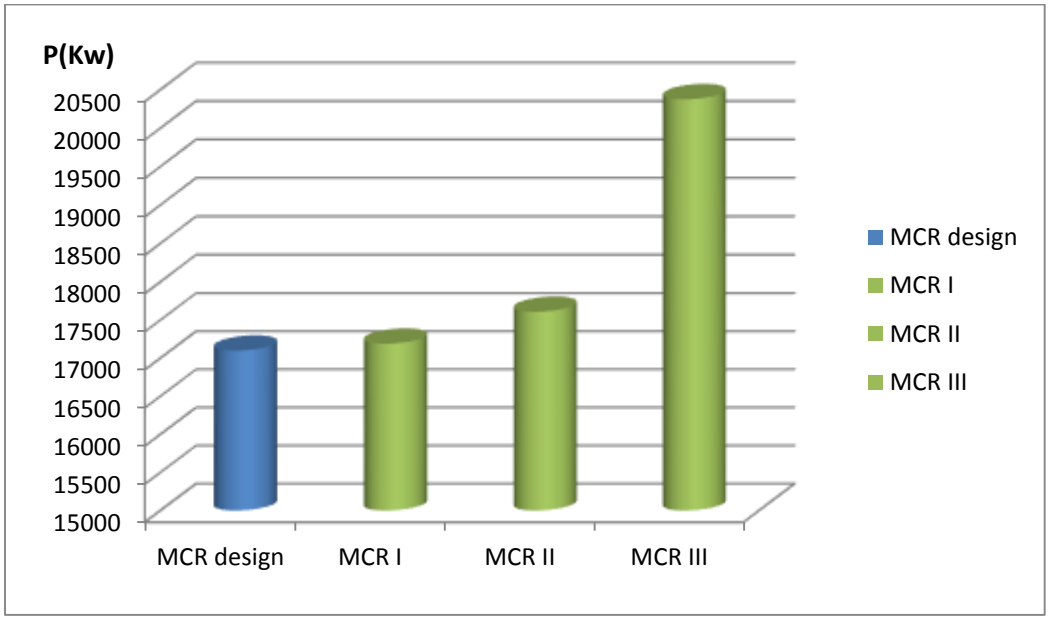


Figure (III.4)- Puissance consommée par le compresseur MCRII

On remarque que la puissance consommée dans le cas design est inférieure à celle consommée dans les trois autres cas réels ce qui permetde produire un maximum de froid (GNL sort de l'échangeur principalà -148°C), ce qui augmentel'auto-consommationde l'unité de liquéfaction.

II-1-3 Variation de la température du MCR sorti de l'échangeur principal (X16-C)

Le graphe de la figure (III-5) illustre la variation de la température du multi-réfrigérant MCR sortant de l'échangeur principal (X16-C) avec sa composition

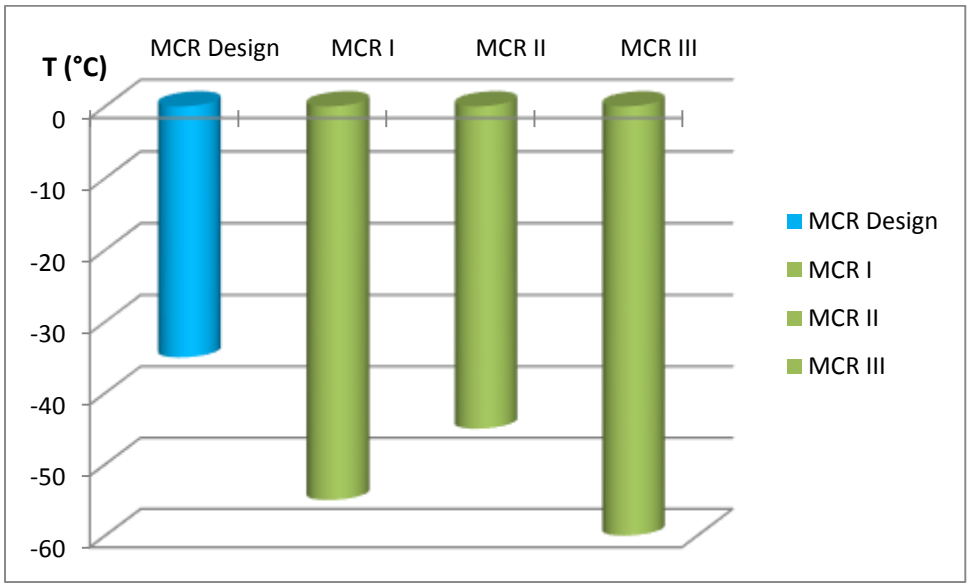


Figure (III.5)- Température de MCRsorti du X16-C en fonction de sa composition

D'après le graphe nous remarquons que la température de MCR sorti de l'échangeur principal X16-C vers le premier ballon d'aspiration X06-F est plus basse que celle de design (-35°C) ; elle atteint -60°C pour le multi-réfrigérant baptisé MCRI, ce qui peut provoquer un déclenchement du compresseur MCRI.

II-1-4 Variation du coefficient de performance (COP)

Le coefficient de performance est le rapport de la quantité d'énergie reçue par le GNL et le travail fourni aux compresseurs, les différentes valeurs du coefficient sont calculées en fonction de la composition du multi-réfrigérants et illustrées sur le tableau (III-8), le graphe de la figure (III.6) confirme ces valeurs.

$$COP = \frac{Q_{recue\ par\ GNL}}{W_{fourni}} = \frac{H_E - H_S}{W_{MCR\ I} + W_{MCR\ II}} \quad \text{(III-1)}$$

H_E : Enthalpie du gaz à l'entrée de l'échangeur principal(Kj/h).

H_S :Enthalpie du gaz sortie de l'échangeur principal(Kj/h).

$W_{MCR\ I}$: Travail consommé par le compresseur 1er étage(Kw).

$W_{MCR\ II}$:Travail consommé par le compresseur 2èmeétage(Kw)

Tableau (III-8) - Valeurs du coefficient de performance (COP)

	COP
MCR design	0,9000
MCRI	0,7634
MCRII	0,8630
MCRIII	0,7990

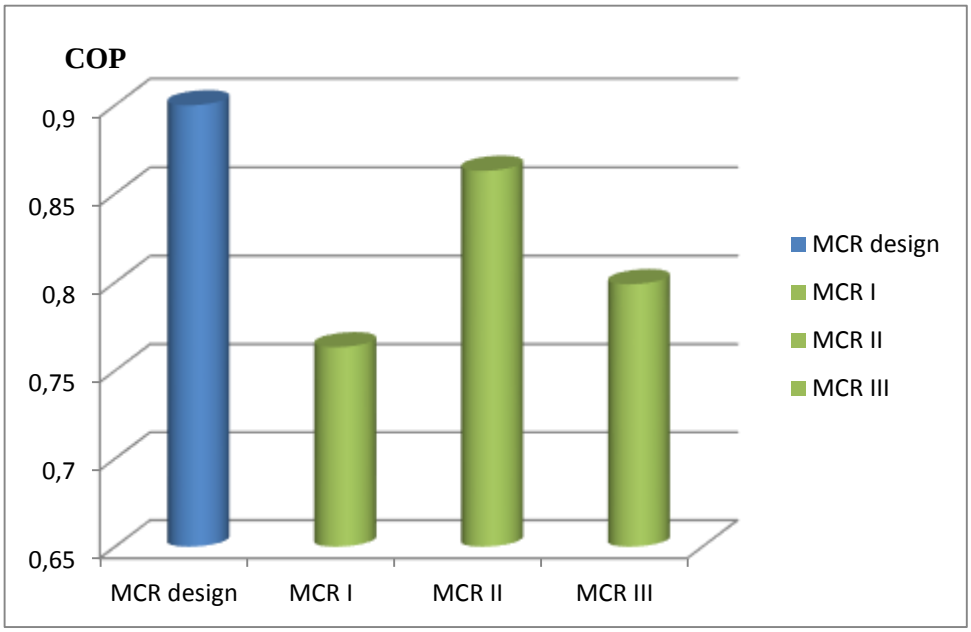


Figure (III.6)-Variation du COP en fonction de la composition du MCR

Les résultats montrent que la composition du MCR pauvre en C_3(MCRI) donne le plus faible coefficient de performance. Le cas designprésente le meilleur résultat ce qui se traduit par une faible consommation de travail et une production élevée de gaz naturel liquéfié.

II-2Impact de la variation de la composition MCR sur le cycle

Vu les constatations, concernant la contamination du MCR causée principalement par l'augmentationdu pourcentage du propane (C_3) et la présence de traces du C_4 et C_5, de l'appoint provenant du dééthaniseur, nous proposons, dansce qui suit, de varier la teneur du réfrigérant multi-composants en éthane et propane puis de voir, par simulation, l'impact de ces rajouts sur les paramètres étudiés précédemment notamment la température du GNL à sa sortie de l'échangeur principal. La variation de la composition du MCR par des appoints de C_2 et C_3 est illustrée dans le tableau (III-9), les figures (III.7) jusqu'à (III.11) sont les résultats de cette simulation.

Tableau (III-9)-Appoints de C_2 et C_3 dans MCR

Composition du MCR	Cas 1 (%)	Cas 2 (%)	Cas 3 (%)
N2	2,7	2,7	2,7
C1	40,7	40,7	40,7
C2	5,6	48,6	45,6
C3	5	8	11

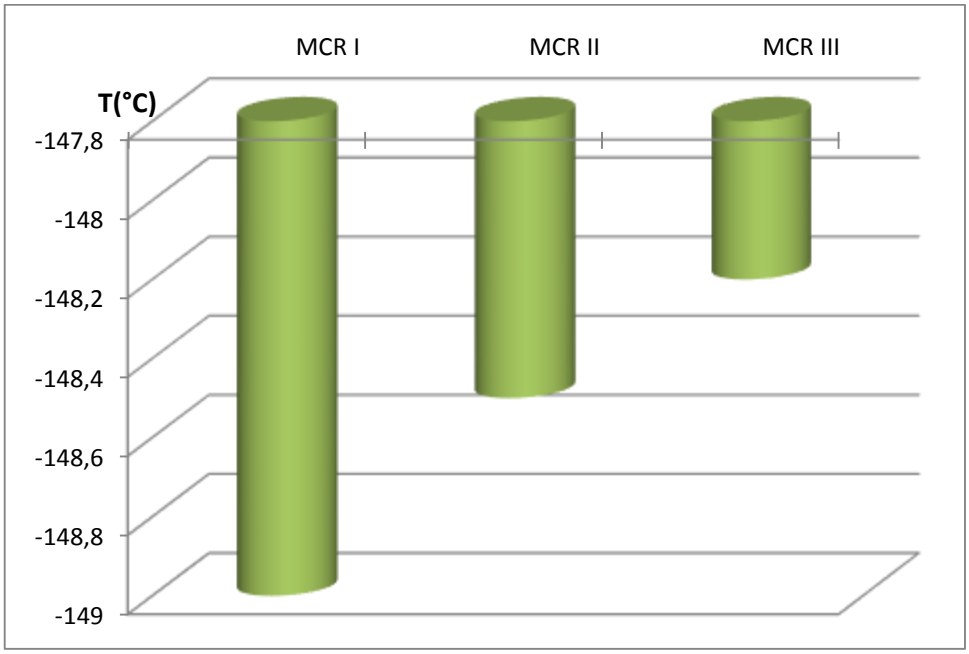


Figure (III.7)-Température de sortie du GNL de l'échangeur principal

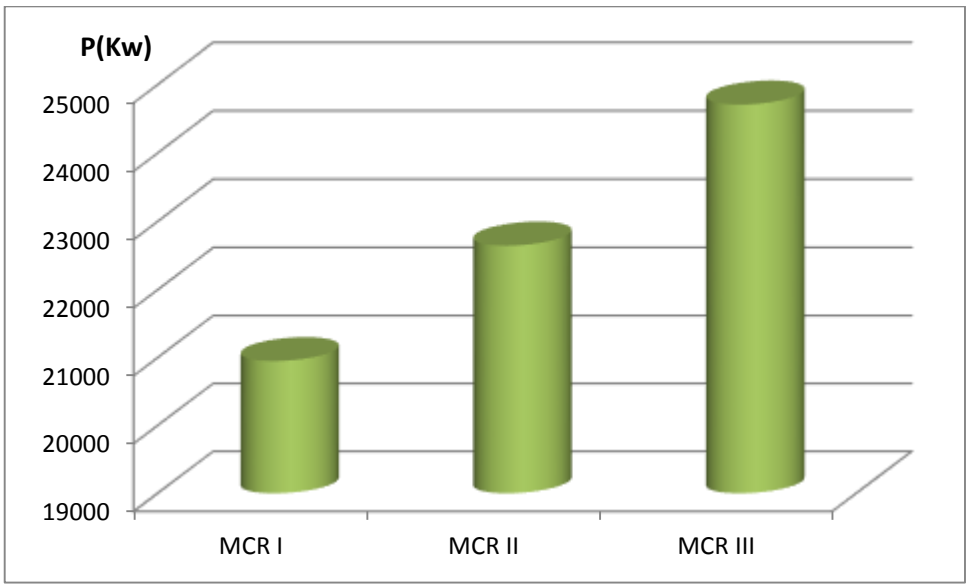


Figure (III.8)-Puissance ducompresseur MCR I

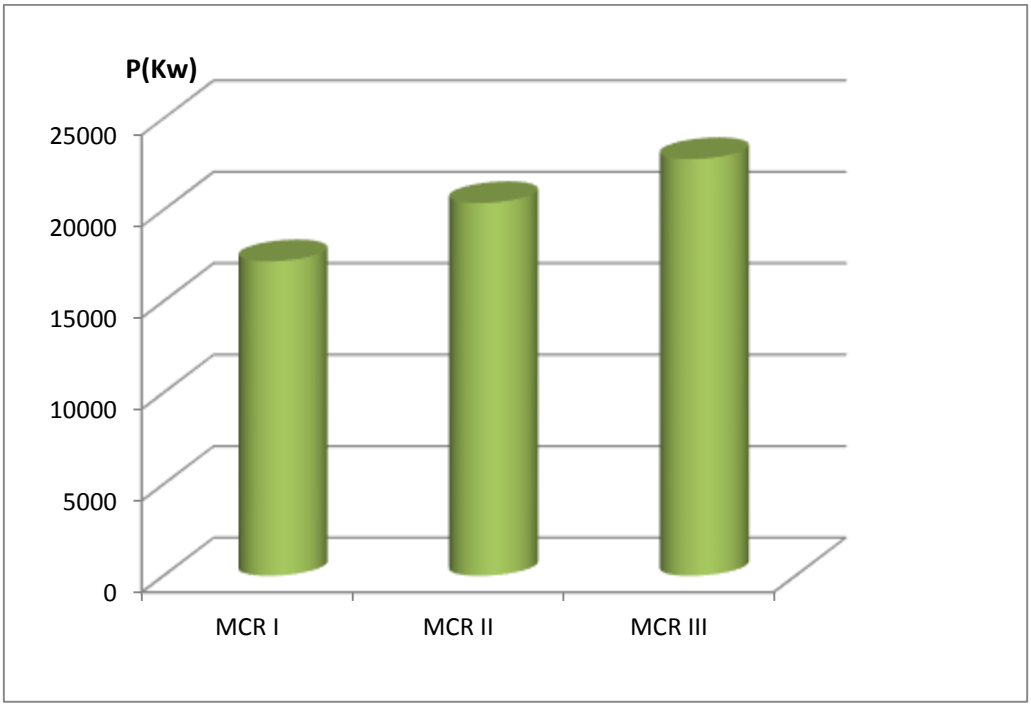


Figure (III.9)-Puissance du compresseur MCR II

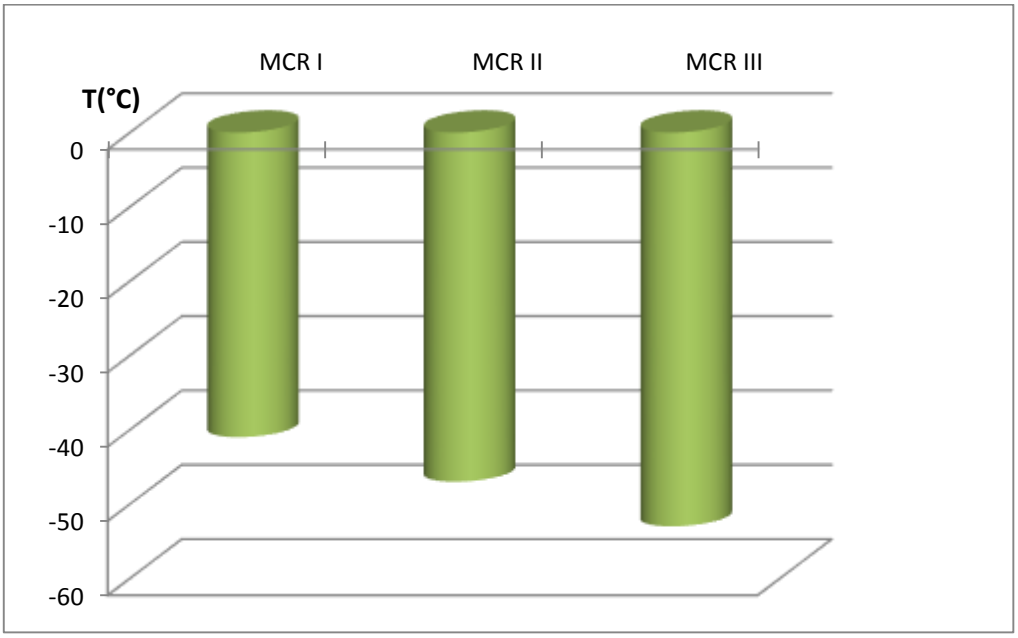


Figure (III.10)-Température d'aspiration du compresseur MCR I

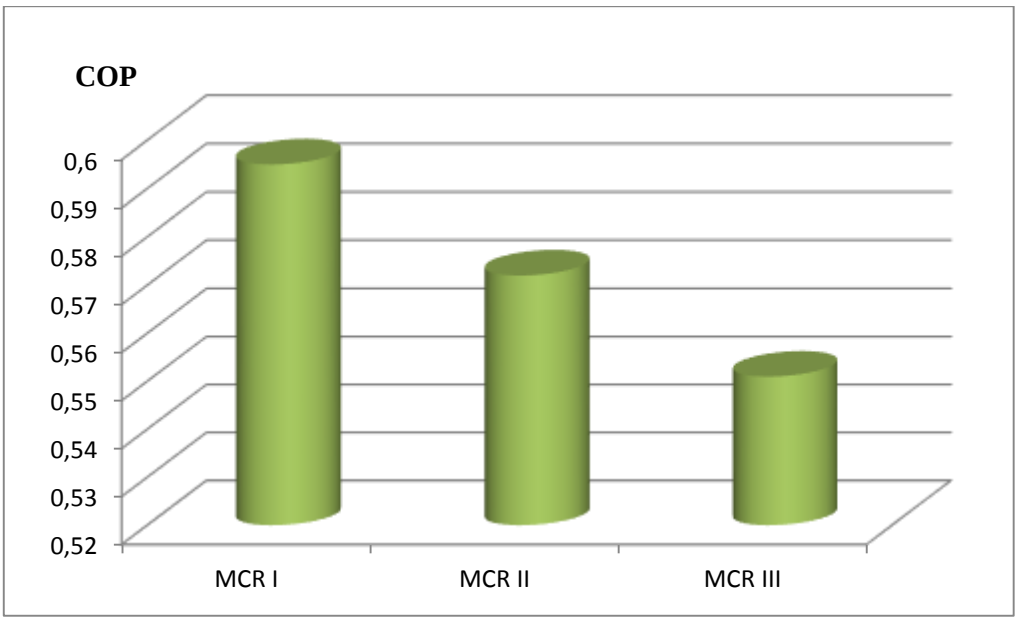


Figure (III.11)-Variation du COP en fonction de la composition du MCR

III Conclusion

A travers les résultats obtenus, après augmentation du pourcentage des lourds (C_3) dans la composition du MCR, nous remarquons que la température de sortie du GNL n'a quasiment pas variée par ces changements, ce sont surtout les puissances des deux compresseurs MCR (une surconsommation) etla température d'aspiration de compresseur MCRI qui sont les plus influencées, cette dernière devient plus basse, le coefficient de performance diminue aussi.

D'après cette simulation nous prouvons conclure que la perturbation de la composition du MCR a de mauvais effets sur le rendement de la boucle et la capacité de refroidissement.

Cette étude est le résultat des travaux effectués au niveau du complexe de liquéfaction du gaz naturel GL2/Z de la SONATRACH, ce qui nous a permis de mettre en valeur les connaissances théoriques acquises et ce pendant une durée plus au moins restreinte dans ce complexe.

Après avoir pris connaissance du procédé de liquéfaction, des installations mettant en œuvre ce procédé, nous nous sommes penchés sur le dysfonctionnement de la section de réfrigération à cause de problèmes rencontrés dans la boucle du réfrigérant multi -constituants MCR.

Nous avons essayé, dans une première étape, d'identifier les principales causes de cette perturbation, pour cela plusieurs investigations et une étude approfondie nous ont permis de détecter les facteurs responsables de cette perturbation ainsi que leurs effets sur cette boucle.

Dans une deuxième étape et afin de confirmer, par des calculs, les constatations faites sur ce dysfonctionnement, une simulation du procédé utilisé, validée au préalable avec des données et résultats du design, fut développée au moyen du logiciel AspenHysysV7.3.

Les résultats obtenus par simulation ont montré que la variation de la composition du MCR influe d'une manière significative sur la performance du cycle de réfrigération du procédé de liquéfaction (diminution du coefficient de performance) et le travail fourni par les compresseurs (MCRI et MCRII), ce qui se répercute sur une consommation excessive d'énergie (auto consommation de l'unité) et une diminution en production de GNL.

Pour résumé, l'objectif principal de l'étude est de maintenir la composition du MCR aussi proche que possible de celle du design en appliquant les résultats trouvés par simulation
, par la suite, nous recommandons ce qui suit :

- ✓ Réparation de la passe endommagée du condenseur à plaque 151-C.
- ✓ Assurer l'étanchéité des vannes d'appoints.
- ✓ Installation des analyseurs en ligne afin de suivre la composition du MCR.
- ✓ Réparation des échangeurs EDM- (102 CA/CB).
- ✓ Installation des analyseurs en ligne pour un suivi régulier de la boucle propane.
- ✓ Faire des études approfondies sur la boucle propane pour éviter toute contamination par les produits légers.
- ✓ L'ouverture de l'évent ou la purge du ballon X09-F lors de la perturbation de la composition du MCR pour sa stabilisation (faire des appoints pour compenser les fuites).

Liste des figures

Figure (I-1)- Schéma synoptique d'un train de procédé
Figure (I.2)- Schéma de la section de liquéfaction
Figure (I-3) -Schéma de la boucle MCR
Figure (II.1)- Contamination de la boucle propane
Figure (II.2) - Variation de la température de MCR sorti des Schillers
Figure (II.3)- Contamination de la boucle MCR par le propane
Figure (II.4) -Section de Dééthanisation
Figure (II.5) - Variation de la pression dans le ballon tampon 151-F
Figure (II.8)-Variation du débit du ballon de reflux 152-F
Figure (II.7)-Variation de la température du produit de fond du dééthaniseur 151-E
Figure (II.9)-Variation de la température du GNL sorti de l'échangeur principal116-C
Figure (II.10) -Variation de la température d'aspiration du compresseur MCR I (102-J)
Figure (III.1) - Flowsheet de la boucle MCR
Figure (III.2)-Température du GNL sorti de l'échangeur principal X16-C
Figure (III.3)- Puissance consommée par le compresseur MCRI
Figure (III.4)- Puissance consommée par le compresseur MCRII
Figure (III.5)- Température de MCR sorti du X16-C en fonction de sa composition
Figure (III.6)- Variation du COP en fonction de la composition du MCR
Figure (III.7)-Température de sortie du GNL de l'échangeur principal
Figure (III.8)-Puissance du compresseur MCR I
Figure (III.9)-Puissance du compresseur MCR II
Figure (III.10)-Température d'aspiration du compresseur MCR I
Figure (III.11)- Variation du COP en fonction de la composition du MCR

Liste des tableaux

Tableau (II-1)- Composition moyenne de la boucle Propane réfrigérant
Tableau (II-2) -Analyse de la composition du MCR
Tableau (II-3)- Conditions de fonctionnement Design des équipements
Tableau (III-1)- différentes sections de l'échangeur principal
Tableau (III-2)- Les différents équipements intervenants dans la boucle MCR
Tableau (III-3) - Les différentes données Design
Tableau (III-4)-Composition du gaz naturel traité entrant dans l'échangeur principal
Tableau (III-5a)- Paramètres de fonctionnement des équipements
Tableau (III-5b)- Paramètres de fonctionnement des équipements
Tableau (III-6) –Erreur relative entre résultats réels et de design
Tableau (III-7)-Différentes compositions de MCR, réelles et de Design
Tableau (III-8) - Valeurs du coefficient de performance (COP)
Tableau (III-9)- Appoints de C_2 et C_3 dans MCR

Liste des abréviations

MCR : Multi Composant Réfrigérant

GNL : Gaz Nature Liquéfié

EDM : Eau De Mer

APCI : Air Product Chemical Engineering

MEA : Mono-Ethanol-Amine

F : Ballon

C : Echangeur

E : Colonne

D : Sécheur

J : Compresseur

JT : Turbine

TIC : Température Indicateur Contrôler

PIC : Pressure Indicateur Contrôler

FIC : Flow Indicateur Contrôler

HIC : Hand Indicateur Contrôler

PFHE : Plates Fin HeatExchager (échangeur thermique a ailettes en plaques)

MCHE : Micro Channel Heat Exchangers-Product Range

MFCP : Procédé Cascade Fluid Mixt

DMR : Réfrgérant Mixt Double

LV : Level valve

TV : Température Valve

PFV : Pressure Flow Valve

DCS : Distrubed Control System

COP : Coefficient de Performance

PRICO : Procédé black & Veatch

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]http://www.connaissances des energies.org/fiche-pedagogique/chiffres-cles-production-d-energie(2015)

[2]http://www.energy.gov.dz/francais/ liquefaction-du-gaz-naturel-gnl-et-separation-des-gpl(2014)

[3]Manuel opératoire, volume1, description générale du procédé, GL2/Z (1979)

[4]Snamprogetti .DOC.NO (00-ZAE-79009) ; principes fondamentaux du procédé et d'exploitation.

[5]Manuel opératoire, volume2, système propane, liquéfaction et système MCR, GL2/Z ,1979.

[6]Service technique complexe GL2/Z.

[7]Manuel opératoire, volume3, fractionnement, GL2/Z (1979)

[8]Service production complexe GL2/Z.

[9]Datasheet of Pullman Kellogg Company;

[10] Process LIQ GN