

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'Hamed Bougara-Boumerdes
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Transport et Equipements des Hydrocarbures

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydrocarbure

Option : Génie mécanique-Transport et distribution des hydrocarbures

Présenté par :

HADJ MIHOUB SIDI MOUSSA Rania

KHELIFI Tinhinane

THEME

Simulation sous HYSYS et modélisation de la sureté de fonctionnement de l'usine de traitement de gaz GPL ZCINA

Soutenu publiquement le 12 / 06 / 2024

Devant le jury :

	Nom et Prénom	Grade	Université/Affiliation
Président de jury	A.MENAA		UMBB
Examinateur	S.BOUHAFS		UMBB
Examinateur	M. TIKOBAINI		UMBB
Encadreur	K.YOUNSI		UMBB

Remerciement

Il nous est très agréable de réserver cette page comme un témoin de reconnaissance à tous ceux qui nous ont soutenus le long de notre cursus.

Louange à Allah tout-puissant pour le compromis et la volonté qu'il nous a donnés pour la réalisation de ce travail.

Nous exprimons notre gratitude à M. Younsi K., notre encadreur, pour le temps qu'il nous a consacré et ses précieux conseils.

Nous remercions également le personnel de l'usine GPL ZCINA à Hassi Messaoud pour leur coopération.

Nous sommes profondément reconnaissants à tous ceux qui, de près ou de loin, à leur manière, contribuent à mener à bien ce travail.

Nous tenons également à exprimer l'honneur que nous font les membres du jury de nous prêter leur attention et d'évaluer notre travail.

Dédicace

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude envers nos chers parents. Vous avez été notre pilier tout au long de ce parcours. Votre présence, votre soutien inébranlable et vos sacrifices ont été les fondements de notre réussite. Nous vous en sommes infiniment reconnaissantes.

À nos frères, sœurs et cousines, qui nous ont apporté le soutien moral nécessaire et qui ont toujours été là pour nous encourager dans les moments difficiles. Votre solidarité et vos encouragements ont été précieux.

À tous nos amis, en particulier Siham et Narimane, qui ont été une source constante de motivation, de réconfort et de conseils tout au long de notre chemin. Nous vous sommes profondément reconnaissantes pour votre aide, tant directe qu'indirecte.

Cette thèse marque une étape importante dans notre parcours académique, et nous adressons nos remerciements sincères à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

Tinhinane & Rania

Résumé :

L'étude porte sur l'analyse de la fiabilité, de la maintenabilité, de la disponibilité et de la performabilité de l'unité de traitement GPL ZCINA, une usine gazière complexe. Deux approches complémentaires ont été adoptées. Premièrement, une simulation sous HYSYS a permis de comprendre le processus, d'identifier les éléments critiques de chaque section et de préparer l'étude RAM (Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité). Deuxièmement, une décomposition systématique a été adoptée de façon à rendre l'aspect modélisation de la sûreté de fonctionnement plus facilement abordable. Le système global a été décomposé en sous-systèmes pour estimer les paramètres de fiabilité des équipements. L'usine a été divisée en quatre trains identiques, subdivisés en sections et sous-systèmes afin de faciliter l'analyse RAM. L'application conjointe de ces deux méthodologies a permis d'évaluer de manière approfondie les différents aspects de sûreté de fonctionnement de l'installation. Les forces et faiblesses de chaque section ont ainsi pu être identifiées, tout en validant les performances générales du procédé.

Mots clés : fiabilité, disponibilité, maintenabilité, performabilité, approche systémique, simulation, décomposition en sous-systèmes.

Abstract:

This study analyzes the reliability, maintainability, availability, and performance of the ZCINA LPG processing unit, a complex gas plant. Two complementary approaches were adopted. Firstly, a simulation with HYSYS was used to understand the process, identify the critical elements of each section, and prepare the RAM (Reliability, Availability, Maintainability) study. Secondly, a systematic approach was used. The overall system was decomposed into sub-systems to estimate equipment reliability parameters. The plant was divided into four identical trains, subdivided into sections and subsystems to facilitate RAM analysis. The joint application of these two methodologies enabled an in-depth assessment of the plant's various operational safety aspects. The strengths and weaknesses of each section were thus identified while validating the overall satisfactory performance of the process.

Keywords: reliability, availability, maintainability, performability, systems approach, simulation, breakdown into subsystems.

الملخص:

تحلل هذه الدراسة موثوقية وقابلية الصيانة والتوافر والأداء لوحدة معالجة غاز البترول المسال في (ZCINA)، وهي محطة غاز معقدة. تم اعتماد نهجين متكاملين. أولاً، تم استخدام المحاكاة باستخدام HYSYS لفهم العملية وتحديد العناصر الحرجة لكل قسم وإعداد دراسة الموثوقية والتوافر وقابلية الصيانة. ثانياً، تم استخدام نهج منهجي. تم تقسيم النظام الكلي إلى أنظمة فرعية لتقدير معايير موثوقية المعدات. تم تقسيم المصنع إلى أربعة قطارات متطابقة، مقسمة إلى أقسام وأنظمة فرعية لتسهيل تحليل ذاكرة الوصول العشوائي. مكن التطبيق المشترك لهاتين المنهجيتين من إجراء تقييم متعمق لمختلف جوانب السلامة التشغيلية للمحطة. وبالتالي، تم تحديد نقاط القوة والضعف في كل قسم، مع التحقق من صحة الأداء العام المرضي للعملية.

الكلمات الرئيسية: الموثوقية، والتوافر، وقابلية الصيانة، وقابلية الأداء، ونهج النظم، والمحاكاة، والتقسيم إلى أنظمة فرعية.

Sommaire

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

Chapitre I : Présentation du champ Hassi Messaoud et l'unité GPL ZCINA

I.1 Introduction :.....	3
I.2 Le champ Hassi Messaoud :.....	3
I.2.1 Situation géographique du champ Hassi Messaoud :.....	3
I.2.2 Situation géologique du champ Hassi Messaoud :.....	4
I.3 Présentation de l'unité GPL/LDHP ZCINA :.....	5
I.3.1 Unité de GPL :.....	6
I.3.2 Unité de séparation LDHP :.....	7
I.4 Conclusion :.....	7

Chapitre II : Process de l'unité GPL/LDHP ZCINA

II.1 Introduction :.....	8
II.2 Vue générale de GPL ZCINA :.....	9
II.3 Canalisation de gaz de charge depuis CINA (unité 27) :.....	10
II.4 Séparateur d'entrée (unité 20) :.....	10
II.5 Compression du gaz de charge (unité 23) :.....	11
II.6 Train de traitement de gaz de charge :.....	13
II.6.1 Déshydratation du gaz de charge (unité 24) :.....	13
II.6.2 Refroidissement du gaz – Expander du gaz de charge/Recompresseur (unité 32) :.....	15
II.6.3 Section de dééthanisation (unité 32) :.....	16
II.6.4 Section débutanisation (unité 32) :.....	18
II.7 Export du gaz résiduel (Unité 34) :.....	19
II.8 Stockage et export, recyclage du GPL (Unité 33) :.....	19
II.9 Stockage, export et recyclage des condensats (unité 35) :.....	20
II.10 Description du fonctionnement des systèmes utilités :.....	21
II.10.1 Système d'huile chaude (unité 41) :.....	21

II.10.2	Injection de produits chimiques (unités 42) :.....	22
II.10.3	Les torches (unités 43) :.....	22
II.10.4	Traitement des eaux huileuses (unité 44) :.....	22
II.10.5	Gaz combustible (unité 45) :.....	22
II.10.6	Eau brute (unité 50) :.....	23
II.10.7	Drains ouverts (unité 56) et Drains fermes (unité 57) :.....	23
II.10.8	Stockage et distribution de diesel (unité 62) :.....	23
II.10.9	Air service et instrument (unité 63) :.....	23
II.10.10	Azote (unité 64) :.....	23
II.10.11	Système d'eau incendie (unité 71) :.....	24
II.11	Unité de séparation d'huile LDHP :.....	24
II.12	Conclusion :.....	25

Chapitre III : Simulation de l'unité de traitement GPL ZCINA

III.1	Introduction :.....	26
III.2	Définition de la simulation :.....	26
III.3	Concept et caractéristiques du simulateur Hysys :.....	27
III.4	Le choix du modèle thermodynamique :.....	27
III.5	Objectif de simulation :.....	29
III.6	Simulation et résultats :.....	30
III.6.1	Simulation de la Section Déshydratation :.....	32
III.6.2	Simulation de la Section Refroidissement :.....	35
III.6.3	Simulation de la section de dééthanisation :.....	37
III.6.4	Simulation de la section de débutanisation :.....	44
III.6.5	Simulation de la ligne d'export du gaz résiduel :.....	50
III.7	Conclusion :.....	52

Chapitre IV : Analyse RAM des Systèmes

IV.1	Introduction :.....	53
IV.2	Approche globale de l'analyse RAM :.....	53
IV.3	Le but d'une analyse RAM :.....	54
IV.4	Fiabilité :.....	55
IV.4.1	Taux de défaillance λ :.....	56
IV.4.2	Diagramme de fiabilité (RBD : Reliability block Diagram) :.....	58

IV.5	Maintenabilité :.....	61
IV.5.1	Taux de réparation μ :.....	62
IV.5.2	La différence entre la maintenance et la maintenabilité :.....	63
IV.6	La disponibilité :.....	63
IV.6.1	Temps caractéristiques de la sureté de fonctionnement :.....	64
IV.6.2	Analyse de la disponibilité des systèmes simples réparables :.....	65
IV.6.3	Le modèle de YACIN :.....	68
IV.6.4	Graphe des états-graphe de Markov :.....	68
IV.7	Conclusion :.....	70

Chapitre V : Modélisation de la disponibilité et de la fiabilité

V.1	Introduction :.....	71
V.2	Approche systémique de la modélisation fonctionnelle :.....	71
V.3	Modélisation de la Disponibilité et la Fiabilité de l'usine GPL ZCINA :.....	71
V.4	Modélisation de la Disponibilité et la Fiabilité de la section déshydratation :..	73
V.5	Modélisation de la Disponibilité et la Fiabilité de la section refroidissement :	77
V.6	Modélisation de la Disponibilité et la Fiabilité de la section dééthanisation :..	81
V.6.1	Sous-système alimentation :.....	82
V.6.2	Sous-système reflux A :.....	83
V.6.3	Sous-système reflux B :.....	84
V.7	Modélisation de la Disponibilité et la Fiabilité de la section débutanisation :..	85
V.7.1	Sous-système condensats :.....	86
V.7.2	Sous-système isopentane :.....	87
V.7.3	Sous-système GPL :.....	88
V.8	Conclusion :.....	90

Chapitre VI : Calcul de la disponibilité et de la fiabilité de l'unité GPL ZCINA

VI.1	Introduction :.....	91
VI.2	Algorithme de Runge Kutta :.....	91
VI.3	Calcul de la disponibilité et la fiabilité de la section déshydratation :.....	92
VI.4	Calcul de la disponibilité et la fiabilité de la section refroidissement :.....	94
VI.5	Calcul de la disponibilité et la fiabilité de la section dééthanisation :.....	95
VI.5.1	Sous-système alimentation :.....	95

VI.5.2	Sous-système reflux A :.....	96
VI.5.3	Sous-système reflux B :.....	97
VI.6	Calcul de la disponibilité et la fiabilité de la section débutanisation :.....	98
VI.6.1	Sous-système condensats :.....	98
VI.6.2	Sous-système isopentane :.....	99
VI.6.3	Sous-système GPL :.....	100
VI.7	Critère de performabilité :.....	104
VI.7.1	Modélisation de la disponibilité et de la fiabilité du système global par graphe de Markov :.....	105
VI.7.2	Calcul du coefficient de performabilité :.....	108
VI.8	Conclusion :.....	109
	Conclusion générale :.....	110

Liste des figures

Figure I.2.1. Carte géographique du champ de HMD.....	4
Figure I.3.1. Schéma de Fonctionnement Général de l'Usine GPL ZCINA.....	5
Figure II.2.1. Schéma de fonctionnement général de l'usine GPL ZCINA.....	9
Figure II.4.1. Schéma Séparateur d'entrée.....	11
Figure II.5.1. Schéma de Compression du gaz de charge.....	12
Figure II.6.1. Schéma de déshydratation du gaz de charge.....	14
Figure II.6.2. Schéma de refroidissement du gaz.....	15
Figure II.6.3. Schéma de section dééthanisation.....	17
Figure II.6.4. Schéma de section de récupération de GPL.....	18
Figure II.8.1. Schéma de stockage et export, recyclage du GPL.....	20
Figure II.9.1. Schéma de stockage, export et recyclage des condensats.....	21
Figure II.10.1. Schéma général de l'unité GPL ZCINA.....	24
Figure II.11.1. Schéma de vue générale de l'unité LDHP.....	25
Figure III.6.1. PFD de la simulation complète.....	32
Figure III.6.2. PFD d'un seul train de traitement de gaz.....	32
Figure III.6.1.1. PFD de la simulation de Section Déshydratation.....	33
Figure III.6.1.2. La composition chimique à l'entrée et les sorties d'un Sécheur.....	33
Figure III.6.2.1. PFD de la simulation de Section refroidissement.....	35
Figure III.6.3.1. PFD de la simulation de Section Dééthanisation.....	37
Figure III.6.3.2. Les Dimensions de l'Absorbeur.....	43
Figure III.6.3.3. Les Dimensions du Dééthaniseur.....	43
Figure III.6.4.1. PFD de la simulation de Section Débutanisation.....	44
Figure III.6.4.2. Les Dimensions du Débutaniseur.....	49
Figure III.6.5.1. Simulation de la Ligne d'Export du Gaz Résiduel.....	50
Figure III.6.5.2. Enveloppe de Phase et Courbe de Formation d'Hydrates.....	51
Figure IV.4.1.1. Courbe en baignoire.....	57
Figure IV.4.2.1. Diagramme de Configuration d'un système en série.....	58
Figure IV.4.2.2. Diagramme de Configuration d'un système en parallèle.....	59
Figure IV.4.2.3. Diagramme de Configuration d'un système complexe.....	60
Figure IV.4.2.4. Diagramme de Configuration du système combiné.....	61
Figure IV.5.1.1. Courbe de Maintenabilité.....	62
Figure IV.5.2.1. Schéma de la relations entre RAM.....	64
Figure IV.6.1.1. Schéma explicatif des temps caractéristiques.....	64
Figure IV.6.2.1. Diagramme de Configuration d'un système en série.....	65
Figure IV.6.2.2. Diagramme de Configuration d'un système en parallèle.....	66
Figure IV.6.2.3. Diagramme de Configuration d'un système en Redondance active..	66
Figure IV.6.2.4. Diagramme de Configuration d'un système en Redondance passive.	67
Figure IV.6.4.1. Diagramme de l'état transitoire d'un système.....	69
Figure IV.6.4.2. Diagramme de l'état transitoire d'un système.....	70
Figure V.3.1. Décomposition systémique de GPL ZCINA.....	72
Figure V.3.2. Figure V.6.1.3. Diagramme de fiabilité des trains.....	72
Figure V.4.1. Schéma simplifié de la Section Déshydratation.....	74

Figure V.4.2.Diagramme de fiabilité de la Section Déshydratation.....	74
Figure V.4.3..Graphe de Markov des sècheurs et leurs vannes.....	76
Figure V.4.4.Graphe de Markov des filtres de gaz sec.....	77
Figure V.5.1. Schéma simplifié de la Section Refroidissement.....	78
Figure V.5.2.Diagramme de fiabilité de la Section Refroidissement.....	78
Figure V.5.3..Graphe de Markov de l'Expander & Joule Thomson.....	79
Figure V.5.4.Graphe de Markov de l'Expander & Joule Thomson (fiabilité).....	80
Figure V.6.1.Schéma simplifié de Sous-Système Alimentation.....	82
Figure V.6.2.Diagramme de fiabilité de Sous-Système Alimentation.....	82
Figure V.6.3.Schéma simplifié de Sous-Système Reflux A.....	83
Figure V.6.4.Diagramme de fiabilité de Sous-Système Reflux A.....	83
Figure V.6.5.Diagramme de fiabilité de Sous-Système Reflux B.....	84
Figure V.6.6.Schéma simplifié de Sous-Système Reflux B.....	84
Figure V.6.7.Diagramme de fiabilité de la Section Dééthanisation.....	85
Figure V.7.1.Schéma simplifié de Sous-Système Condensats.....	86
Figure V.7.2.Diagramme de fiabilité de Sous-Système Condensats.....	86
Figure V.7.3.Schéma simplifié de Sous-Système Isopentane.....	87
Figure V.7.4..Diagramme de fiabilité de Sous-Système Isopentane.....	87
Figure V.7.5.Schéma simplifié de Sous-Système GPL.....	88
Figure V.7.6.Diagramme de fiabilité de Sous-Système GPL.....	88
Figure V.7.7.Diagramme de fiabilité de la Section Débutanisation.....	90
Figure VI.6.3.1.Courbe de Fiabilité des Sous-Systèmes.....	101
Figure VI.6.3.2.Courbe de Fiabilité des Sections.....	102
Figure VI.6.3.3.Courbe de Fiabilité d'un Train et de l'Usine.....	103
Figure VI.7.1.1.Graphe de Markov de l'usine GPL ZCINA.....	106

Liste des tableaux

Tableau II.2.1.Composition de la charge d'alimentation ZCINA.....	10
Tableau III.6.1.1.Les paramètres d'entrées.....	31
Tableau III.6.1.1. Comparaison Sortie Sécheur.....	34
Tableau III.6.1.2.Comparaison Sortie Four de régénération.....	34
Tableau III.6.2.1.Comparaison Sortie Tube de l'échangeur GC/GR.....	36
Tableau III.6.2.2.Comparaison Sortie Calandre de l'échangeur GC/C déé.....	36
Tableau III.6.2.3.Comparaison Sortie Expander.....	36
Tableau III.6.3.1.Comparaison Entrée Tête Absorbeur.....	38
Tableau III.6.3.2.Comparaison Entrée Fond Absorbeur.....	38
Tableau III.6.3.3.Comparaison Sortie Tête Absorbeur.....	39
Tableau III.6.3.4.Comparaison Sortie Fond Absorbeur.....	39
Tableau III.6.3.5.Comparaison Entrées Absorbeur.....	40
Tableau III.6.3.6.Comparaison Sorties Absorbeur.....	40
Tableau III.6.3.7.Comparaison Dééthaniseur Plateau 22.....	40
Tableau III.6.3.8.Comparaison Dééthaniseur Plateau 30.....	41
Tableau III.6.3.9.Comparaison Dééthaniseur Plateau 41.....	41
Tableau III.6.3.10.Comparaison Entrées Dééthaniseur.....	42
Tableau III.6.3.11.Comparaison Sorties Dééthaniseur.....	42
Tableau III.6.4.1. Comparaison Débutaniseur Plateau 43.....	45
Tableau III.6.4.2.Comparaison Débutaniseur Plateau 28.....	45
Tableau III.6.4.3. Comparaison Débutaniseur Plateau 04.....	46
Tableau III.6.4.4. Comparaison Sortie Tête Débutaniseur.....	46
Tableau III.6.4.5. Comparaison Sortie débutaniseur plateau 8.....	47
Tableau III.6.4.6. Comparaison Sortie Fond Débutaniseur.....	47
Tableau III.6.4.7.Comparaison Entrées Débutaniseur.....	48
Tableau III.6.4.8. Comparaison Sortie Débutaniseur.....	48
Tableau III.6.4.9. Comparaison des Spécifications de Condensat.....	48
Tableau III.6.4.10. Comparaison des Spécifications de GPL.....	48
Tableau III.6.4.11. Comparaison des Spécifications de Isopentane.....	48
Tableau III.6.5.1.Comparaison des Spécifications de Gaz Résiduel.....	50
Tableau IV.4.1.1. Raisons de l'apparition de défaillances dans les trois régions de la courbe en baignoires.....	58
Tableau VI.3.1.Paramètres de fiabilité des équipements de la Section Déshydratation.....	92
Tableau VI.3.2.Disponibilité des Sous-Systèmes de la Section Déshydratation.....	93
Tableau VI.3.3. Les paramètres et la disponibilité de la Section Déshydratation.....	93
Tableau VI.4.1.Paramètres de fiabilité des équipements du Section Refroidissement	94
Tableau VI.4.2.Disponibilité des Sous-Systèmes de la Section Refroidissement.....	94
Tableau VI.4.3.Les paramètres et la disponibilité de la Section Refroidissement.....	95
Tableau VI.5.1.Paramètres de fiabilité des équipements du Section Dééthanisation..	95
Tableau VI.5.2.Disponibilité des Sous-Systèmes de Sous-Système Alimentation.....	95
Tableau VI.5.3.Les paramètres et la disponibilité de Sous-Système Alimentation.....	96
Tableau VI.5.4.Disponibilité des Sous-Systèmes de Sous-Système Reflux A.....	96

Tableau VI.5.5.Les paramètres et la disponibilité de Sous-Système Reflux A.....	96
Tableau VI.5.6.Disponibilité des Sous-Systèmes de Sous-Système Reflux B.....	97
Tableau VI.5.7.Les paramètres et la disponibilité de Sous-Système Reflux B.....	97
Tableau VI.5.8.Les paramètres et la disponibilité de la Section Dééthanisation.....	97
Tableau VI.6.1.Paramètres de fiabilité des équipements du Section Débutanisation..	98
Tableau VI.6.2Disponibilité de Sous-Système Condensats.....	98
Tableau VI.6.3.Les paramètres et la disponibilité de Sous-Système Condensats.....	99
Tableau VI.6.4.Disponibilité de Sous-Système Isopentane.....	99
Tableau VI.6.5.Les paramètres et la disponibilité de Sous-Système Isopentane.....	99
Tableau VI.6.6.Disponibilité de Sous-Système GPL.....	100
Tableau VI.6.7.Les paramètres et la disponibilité de Sous-Système GPL.....	100
Tableau VI.6.8.Les paramètres et la disponibilité de la Section Débutanisation.....	100
Tableau VI.6.9.Les paramètres et la disponibilité des Sous-Systèmes de L'usine.....	101
Tableau VI.6.10.Les paramètres et la disponibilité des Sections et un Train de L'usine.....	101
Tableau VI.6.11.Les paramètres et la disponibilité des Sections de l'usine GPL ZCINA.....	102
Tableau VI.6.12.Les paramètres et la disponibilité de l'usine GPL ZCINA.....	102
Tableau VI.7.1.Calcul du Coefficient de Performabilité.....	108

Introduction générale

Introduction générale

Dans le vaste domaine de l'industrie pétrolière, l'activité est généralement organisée en trois secteurs majeurs : L'**Upstream** concerne la recherche et l'extraction, le **Midstream** comprend le transport intermédiaire, le déplacement et le stockage, tandis que le **Downstream** concerne le raffinage et la distribution des produits finis. Ces secteurs sont essentiels dans l'extraction, le traitement et la commercialisation des ressources énergétiques fossiles.

La valorisation des ressources énergétiques nécessite la mise en place d'un réseau complexe d'unités gazières ou pétrolières interconnectées. Ce système vise à garantir que les produits transportés répondent aux normes de qualité exigées par les clients et les opérations en aval.

Dans ce contexte, les études de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité et de performabilité deviennent essentielles. Elles visent à détecter et localiser les faiblesses du système, ainsi qu'à évaluer les écarts par rapport aux normes internationales, dans le but d'assurer son bon fonctionnement et sa conformité aux standards établis.

Notre travail portera sur l'étude de la sûreté de fonctionnement de l'unité de traitement GPL ZCINA, faisant partie d'une usine gazière plus complexe. Pour ce faire, dans cette étude nous aborderons deux aspects. Tout d'abord, nous allons réaliser une simulation sous HYSYS pour mieux comprendre le processus et identifier les éléments critiques de chaque section. Cette première étape nous permettra d'appréhender plus efficacement une étude RAM de l'usine dans son ensemble. Cependant, pour surmonter la complexité du problème, nous envisagerons une décomposition systémique du système global en sous-système plus facilement appréhendable d'un point de vue modélisation.

En conclusion, les modèles de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité et de performabilité élaborés pour l'unité de traitement GPL ZCINA feront l'objet d'une application. Cette étude comporte six chapitres et de trois annexes, accompagnés de 59 tableaux et 67 figures pour illustrer et soutenir nos analyses.

Dans le premier chapitre, nous avons introduit le champ de Hassi Messaoud, son contexte géographique et géologique, ainsi que l'usine GPL ZCINA et ses unités LDHP et GPL sur lesquelles nous avons concentré nos études.

Le deuxième chapitre détaille le processus de l'unité GPL/LDHP ZCINA, en expliquant le rôle spécifique de chaque section dans le processus global de traitement du gaz.

Le troisième chapitre aborde le concept de simulation réalisée sous HYSYS, à la fois théoriquement et pratiquement, pour valider la performance de l'usine de traitement.

Dans le quatrième et cinquième chapitre, nous aborderons d'une part les aspects théoriques d'une analyse RAM (Fiabilité, Disponibilité et Maintenabilité des systèmes), essentielle pour l'élaboration des modèles mathématiques des différents critères sus-cités et d'autre part, une modélisation de ces critères pour l'unité de traitement et l'usine dans son ensemble associant diagramme de fiabilité aux modèles de base de la théorie des probabilités. L'approche systémique dans cette étude permettra par une démarche bottom up de déduire plus

simplement les modèles globaux de fiabilité, disponibilité et maintenabilité des trains et de l'usine de traitement de gaz.

Le sixième chapitre présente une application numérique, ainsi qu'une interprétation et une analyse des résultats obtenus, permettant d'évaluer la sûreté de fonctionnement de l'usine de traitement de gaz GPL ZCINA.

***Chapitre I : Présentation du champ Hassi
Messaoud et l'unité GPL/LDHP ZCINA***

I.1 Introduction :

Au cours de ce chapitre, on a présenté le champ de Hassi Messaoud, son emplacement géographique et géologique et l'usine GPL ZCINA et ses unités LDHP et GPL sur lesquelles nous avons fait nos études.

I.2 Le champ Hassi Messaoud :

Le champ Hassi Messaoud situé dans le bassin de Berkine est le plus grand gisement de pétrole d'Algérie et de tout le continent africain. C'est un énorme anticlinal couvrant plus de 2500 km² s'étendant sur une superficie imprégnée de 1600 km². Découvert en 1956 et mis en exploitation en juin 1958, il renferme actuellement presque 1500 puits (producteurs et injecteurs). Les réserves estimées du gisement sont de l'ordre de 9 milliards de barils d'un pétrole de très bonne qualité, en ne tablant que sur un taux de récupération d'environ 20 % du pétrole supposé en place, dont la moitié est déjà extraite.[1]

Les puits du gisement de Hassi Messaoud produisent moins de pétrole brut, mais beaucoup de gaz depuis longtemps, car possédant un fort GOR (Gaz/Oil/Ratio, le rapport Gaz/Huile).

La production du gisement atteint 550 kbbbl/j dans les années 1970, elle déclina jusque 300 kbbbl/j en 1989 et est remontée à environ 350 kbbbl/j. Sonatrach comptait l'augmenter jusqu'à quelques 700 kbbbl/j vers 2012. Des ambitions qui ne seront pas atteintes, la production continue sa chute.[1]

À l'instar d'Hassi R'Mel pour le gaz, Hassi Messaoud centralise la production de pétrole du pays. Il est le point de départ de plusieurs oléoducs alimentant les raffineries et les terminaux d'exportation sur la côte, et fait transiter la production d'autres gisements du pays.

I.2.1 Situation géographique du champ Hassi Messaoud :

Le champ de Hassi Messaoud se situe à environ 850 Km au Sud Est d'Alger et à 350 Km de la frontière Tunisienne voir la figure (1.1). Il a pour coordonnées Lambert :

X : 790 000 à 840 000 m Y : 110 000 à 150 000 m

Le champ a été divisé par les sociétés d'exploration SN. REPAL et CFPA en deux parties : **Champ Sud** et **Champ Nord**.[1]

I.2.2 Situation géologique du champ Hassi Messaoud :

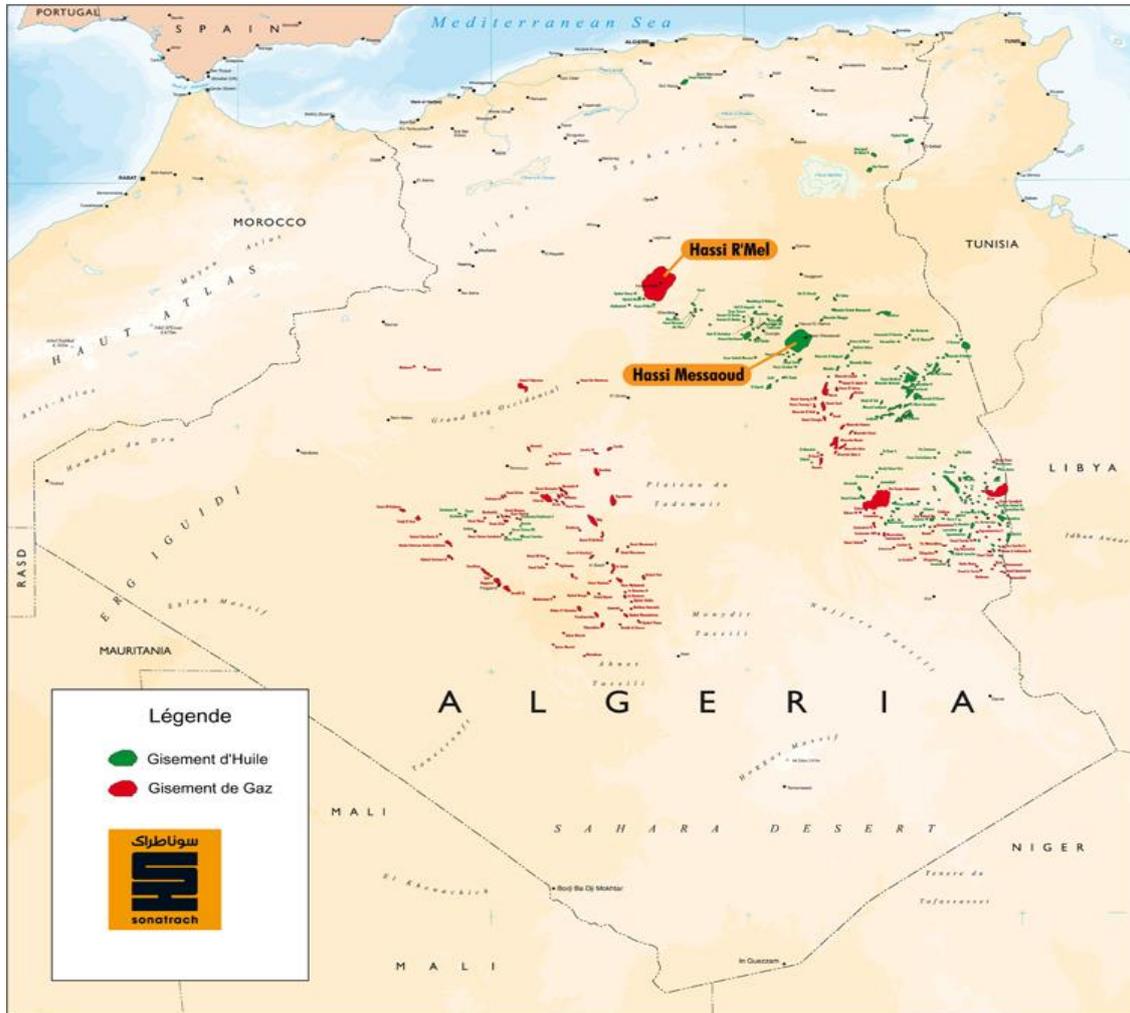


Figure I.2.1. Carte géographique du champ de HMD

Le champ de Hassi Messaoud est considéré comme étant le plus grand gisement de la province triasique situé au Nord Est de la plateforme saharienne où il occupe sa partie centrale. Le champ correspond au prolongement vers le Nord de la dorsale d'Amghid El Biod. Il est limité :

- Au Nord par la structure Djamaa-Touggourt.
- A l'Ouest par la dépression d'Oued Mya.
- A l'Est par la dépression de Dahar.
- Au Sud par la dépression d'Amguid.

I.3 Présentation de l'unité GPL/LDHP ZCINA :

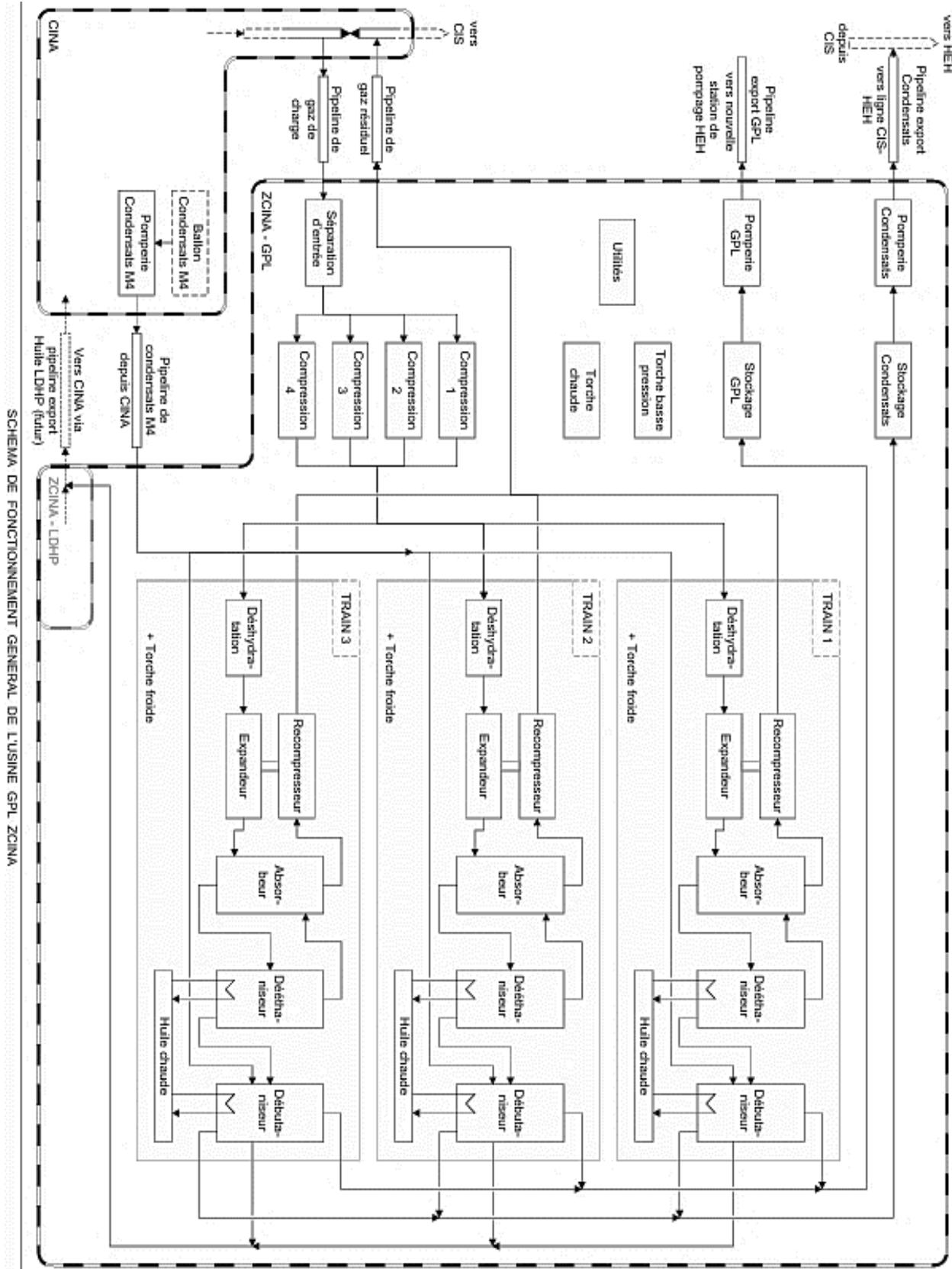


Figure I.3.1. Schéma de Fonctionnement Général de l'Usine GPL ZCINA

GPL ZCINA (nouvelle Zone Centre Industriel Naili Abdelhalim) est une unité d'extraction des liquides de gaz associés destinée à recevoir des gaz associés valorisables provenant de l'unité de traitement de brut CINA sur le champ de Hassi Messaoud nord, et à réexpédier en retour à CINA un gaz appauvri et à expédier le GPL extrait du gaz de charge vers une nouvelle station de pompage situé à 17 km (station hors fourniture) et 5 km au nord de CINA.

Une partie du gaz de charge de l'usine GPL peut aussi provenir de l'unité de séparation d'huile LDHP également située à ZCINA.[2]

I.3.1 Unité de GPL :

Cette unité comprend notamment :

- Section de réception du gaz de charge provenant de CINA.
- Section compression gaz de charge (quatre turbocompresseurs GE de capacité unitaire de 08 millions Std³/j.
- Quatre trains de traitement de gaz identiques extensible à un quatrième (projet en cours) chacun comprend :
 - Section déshydratation à travers un tamis moléculaire (teneur en eau ≤ 1 ppm)
 - Section cryogénique avec un turbo -Expander à palier magnétique.
 - Section déethanisation et une colonne absorbeur.
 - Section débutanisation
- Section de stockage et d'expédition des GPL et condensats.
- Centrale d'air (04 moto compresseurs 1200m³/j chacun et 02 générateurs d'azote à membrane 500m³/j).
- Des réseaux de torche.
- Un réseau des eaux anti-incendie.
- Section de traitement des eaux huileuses.
- Unité de traitement des eaux usées
- Unité de production d'eau potable.
- Un système d'injection des produits chimiques.
- Une sous station électrique.[2]

I.3.2 Unité de séparation LDHP :

Cette unité comprend :

- Un réseau collecte de l'huile HP est constitué de :
 - 15 sous manifolds (S/MFD).
 - 05 Manifolds (MFD).
 - 05 collecteurs (Trunklines) reliant les MFD à l'entrée de la séparation ZCINA.
- Une section de séparation de brut à 32 bars constituée de 03 séparateurs tri phasiques
- Un Ballon Dégazeur d'eaux huileuses.
- Un système de torche.
- Un système d'injection des produits chimiques.
- Deux pipelines d'expédition d'huile et d'eau (18" et 6") vers CINA.
- Une sous station électrique.[2]

I.4 Conclusion :

L'objectif principal de l'usine GPL ZCINA est de traiter les gaz pour obtenir des produits finaux valorisés qui respectent les spécifications commerciales, tels que le condensat, le GPL, le gaz résiduel (de réinjection ou boosting) et l'isopentane.

***Chapitre II : Le process de l'unité
GPL/LDHP ZCINA***

II.1 Introduction :

Le traitement du gaz naturel est un processus essentiel qui vise à préparer le gaz brut extrait des puits de production pour le rendre conforme aux spécifications requises pour son transport et sa commercialisation. Ce processus comprend deux approches principales.

La première approche consiste à retirer spécifiquement certains composants indésirables présents dans le gaz brut afin de le rendre compatible avec les normes de qualité commerciales et réglementaires. Ces composants peuvent inclure des impuretés, de l'eau, des composés soufrés ou d'autres éléments qui pourraient endommager les équipements ou ne pas répondre aux exigences des clients.

La seconde approche implique la séparation du gaz brut en ses composants via des procédés de séparation. D'abord, une séparation triphasique sépare le gaz des phases liquide et aqueuse. Ensuite, des traitements comme le refroidissement cryogénique fractionnent davantage le gaz en produits distincts, comme le GPL et le gaz naturel sec. Ce processus vise à obtenir des produits répondant aux normes de qualité et à des besoins commerciaux spécifiques.

Ces différentes étapes de traitement sont cruciales pour garantir que le gaz naturel réponde aux normes en vigueur, optimiser sa valeur commerciale et assurer une distribution et une utilisation sûres et efficaces.

Chaque usine de traitement de gaz est conçue avec un objectif précis, qui dépend des exigences des produits finaux, de la composition du gaz traité (incluant les composés tels que H₂S, CO₂, COS, mercaptans, hydrocarbures lourds, et aromatiques), des conditions opérationnelles (température, pression, débit), ainsi que des spécifications imposées par les réglementations et les besoins du marché.

L'unité GPL/LDHPZCINA, dans notre contexte, est spécifiquement conçue pour récupérer les liquides des gaz associés provenant de l'usine de traitement de brut de CINA et de l'unité de séparation d'huile LDHP. Pour effectuer ce traitement efficacement, le gaz doit traverser plusieurs étapes essentielles : la compression pour augmenter la pression, la déshydratation pour éliminer l'humidité, le refroidissement et la liquéfaction pour transformer les composants en phase liquide, et enfin le fractionnement pour séparer les différents composants du gaz en fonction de leurs points d'ébullition. Ces étapes assurent une purification approfondie du gaz, le rendant conforme aux normes de qualité requises pour les applications finales.

Dans ce chapitre, nous allons présenter en détail les différentes sections de l'unité GPL ZCINA, ainsi que le rôle spécifique de chacune d'entre elles dans le processus global de traitement du gaz.

II.2 Vue générale de GPL ZCINA :

Cette usine comprend principalement une ligne de gaz associés provenant de CINA, une unité de réception ainsi qu'une autre unité de compression. Cela se suit par quatre trains de traitement de gaz identiques, une section de stockage et pomperie, et d'autres systèmes nécessaires pour le fonctionnement de l'usine.[2]

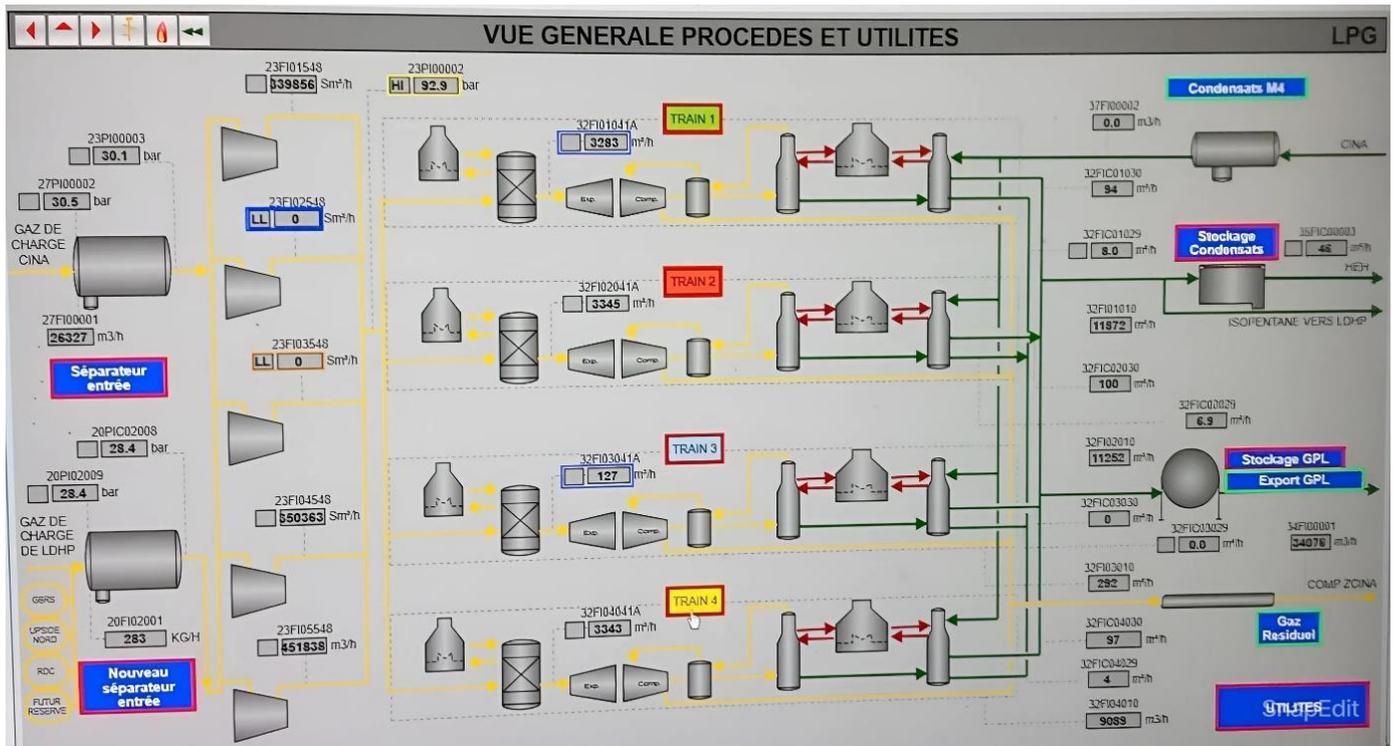


Figure II.2.1. Schéma de fonctionnement général de l'usine GPL ZCINA

La composition chimique du gaz de charge est un paramètre crucial, car une connaissance précise de sa composition est essentielle pour concevoir et opérer efficacement les installations de traitement ainsi que transporter le gaz.

La composition en pourcentage molaire de l'effluent entrant est donnée dans le tableau ci-dessous : [2]

Composants		Gaz de charge riche 2010 été
AZOTE	N ₂	2,51
GAZ CARB.	CO ₂	1,77
METHANE	C1	66,07
ETHANE	C2	17,40
PROPANE	C3	7,83
I-BUTANE	i-C4	0,71
N-BUTANE	n-C4	2,05
I-PENTANE	i-C5	0,38
N-PENTANE	n-C5	0,50
HEXANE	C6	0,22
HEPTANE	C7	0,05
OCTANE	C8	0
EAU	H ₂ O	0,51
TOTAL		100,00
Poids moléculaire		23,34
Densité (Kg/m³)		0,7723
Débit massique (Kg/h)		983997

Tableau II.2.1.Composition de la charge d'alimentation ZCINA

II.3 Canalisation de gaz de charge depuis CINA (unité 27) :

Le gaz de charge valorisable provenant de l'unité de traitement de brut CINA est transféré vers l'usine GPL ZCINA par une nouvelle canalisation de 36". Le piquage est réalisé sur la ligne existante de 40 cm vers le CIS.

Du fait de la présence possible de bouchons liquides, la canalisation de gaz de charge est équipée aux deux extrémités de gares de racleurs : une gare de racleur de départ à CINA (G01-VM-27-03) et une gare de racleur d'arrivée à ZCINA (G01-VM-27-04). [2]

II.4 Séparateur d'entrée (unité 20) :

Le séparateur d'entrée G01-VL-20-01 reçoit le gaz de charge acheminé par un gazoduc de 40" depuis CINA. Ce gaz peut contenir de l'eau générée par la condensation en ligne. Le séparateur d'entrée G01-VL-20-01 sépare le gaz, dirigé vers la section de compression, de la phase aqueuse. Une injection d'inhibiteur de corrosion est prévue au niveau de la sortie gaz du séparateur.

Le liquide de fond du séparateur d'entrée G01-VL20-01 est expédié vers le ballon M4 CINA pour le traitement des eaux huileuses. [2]

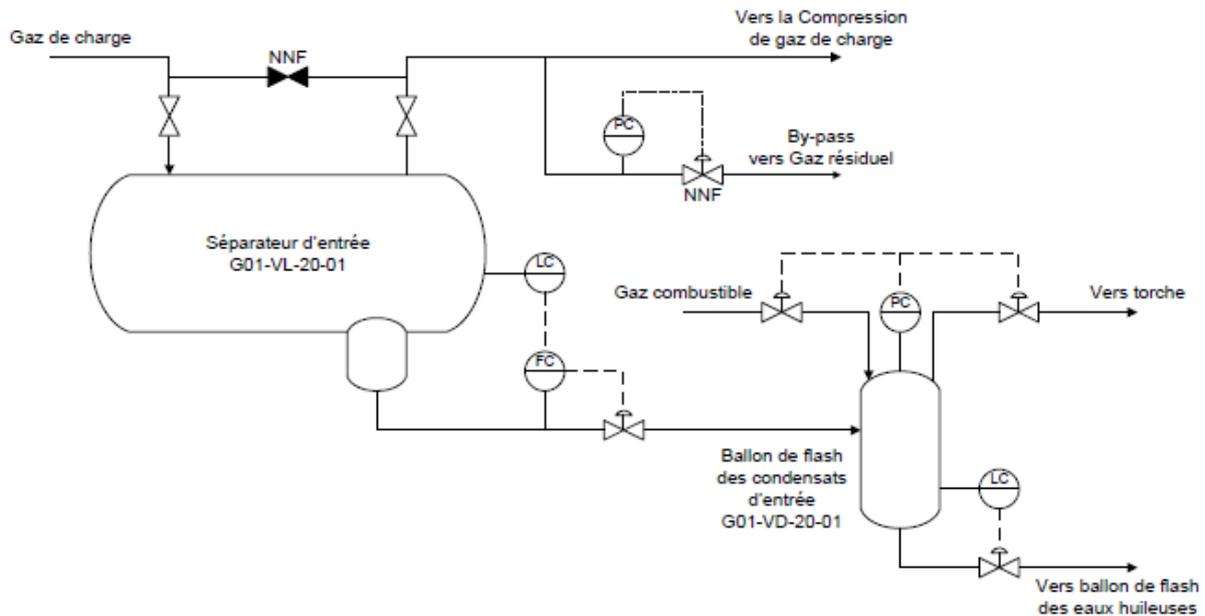


Figure II.4.1. Schéma Séparateur d'entrée

II.5 Compression du gaz de charge (unité 23) :

Le gaz de charge en provenance du séparateur d'entrée G01-VL-20-01 est envoyé sur le collecteur commun d'aspiration des compresseurs de gaz de charge G05/G06/G07/G08-KA-23-01. Le gaz se répartit sur les 4 trains de compression.

Le gaz de régénération issu de la section de déshydratation de chaque train de traitement est recueilli sur un collecteur commun, puis il se répartit également sur les compresseurs au niveau de la dernière roue, constituant ainsi l'inter-étage de ces derniers.

Le gaz de charge sortant du séparateur d'entrée G01-VL-20-01 est envoyé dans le filtre coalesceur G05-MB-23-01.

Les liquides récupérés sont envoyés vers le ballon de flash des condensats du compresseur G05-VD-23-04. Il est possible de by passer le filtre coalesceur, notamment lors du changement des cartouches coalescentes.

Le gaz rejoint ensuite le ballon d'aspiration G05-VD-23-01 qui recueille l'eau condensée en ligne depuis G01-VL-20-01 lors du bipasse du filtre G05-MB-23-01 et le liquide flashé des ballons de refoulement G05-VD-23-02 et du ballon d'inter-étage G05-VD-23-03. Les condensats du ballon d'aspiration G05-VD-23-01 sont évacués vers le ballon de Flash de condensats G05-VD-23-04. Ce ballon permet de dégazer l'eau saturée en hydrocarbures et d'envoyer les gaz dissous à la torche basse pression. Le liquide de fond du ballon est expédié vers le traitement des eaux huileuses.

Le gaz de charge provenant du ballon d'aspiration G05-VD-23-01 est comprimé dans le compresseur G05-23-KA-01. Le gaz humide provenant du collecteur de gaz de régénération est préalablement envoyé dans le ballon d'aspiration d'inter-étage G05-VD-23-03 pour protéger le compresseur du liquide condensé en ligne. Le liquide est ensuite envoyé vers le ballon d'aspiration G05-23-VD-01. De son côté, le gaz de régénération issu du G05-VD-23-03 est introduit dans le compresseur G05-23-KA-01 au niveau de l'inter-étage où il rejoint le gaz de charge juste avant la dernière roue du compresseur.

Au refoulement du compresseur G05-KA-23-01, le gaz est refroidi à travers l'aéroréfrigérant G05-GC-23-01. L'eau condensée lors du refroidissement est séparée du gaz dans le ballon de refoulement G05-VD-23-02. Le gaz comprimé est envoyé vers le collecteur commun de refoulement qui alimente le collecteur de distribution du gaz vers les trois trains de traitement en aval.

Le compresseur est entraîné par la turbine à gaz G05-DMT-23-01. Les turbines à gaz des compresseurs sont alimentées en gaz combustible haute pression. [2]

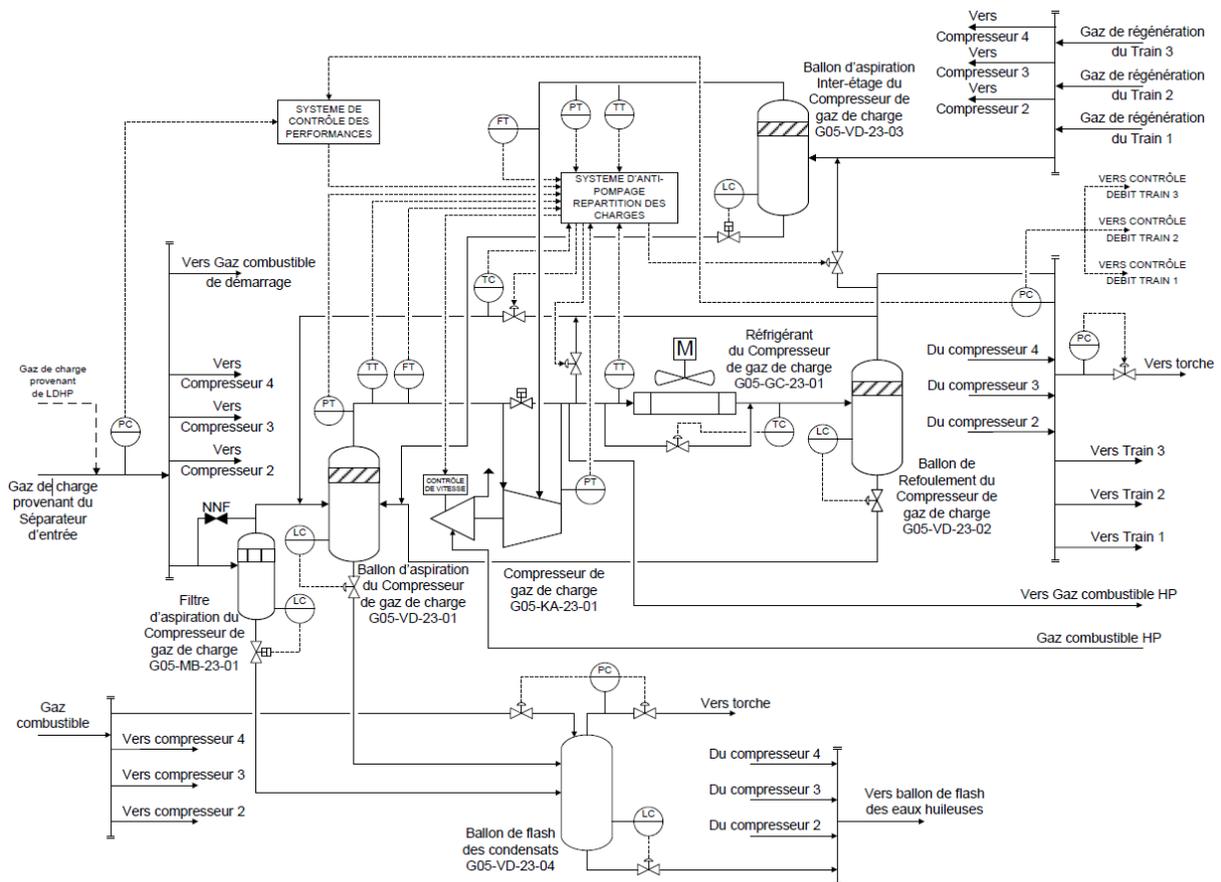


Figure II.5.1. Schéma de Compression du gaz de charge

II.6 Train de traitement de gaz de charge :

Les trains sont identiques et parallèles, à l'exception des numéros d'équipements. La description de fonctionnement qui suit s'applique à n'importe lequel des trains de traitement (G11, G12, G13, G14). [2]

II.6.1 Déshydratation du gaz de charge (unité 24) :

L'unité de déshydratation a pour fonction de diminuer la quantité d'eau dans le gaz d'alimentation, saturé en eau, pour atteindre la valeur spécifiée de 1 ppm vol. En sortie d'unité. L'eau est ôtée du gaz humide pour éviter la formation d'hydrates dans la section froide de l'installation.

Le gaz au refoulement des compresseurs de gaz de charge G05/06/07/08-KA-23-01 est envoyé vers le collecteur d'alimentation des trains de production, passant par le filtre coalesceur G11-MB-24-02 pour éliminer l'eau libre condensée en ligne. L'eau récupérée est envoyée après détente à l'unité de traitement des eaux huileuses. Le gaz provenant du filtre coalesceur G11-MB-24-02 est déshydraté dans les sécheurs de gaz G11-VK-24-01 A/B/C. En opération normale, deux sécheurs opèrent en parallèle en mode

D'adsorption (adsorption de l'eau par le tamis moléculaire par circulation du gaz humide dans le sens descendant), pendant que le troisième est en régénération (circulation de gaz sec chaud à travers le sécheur dans le sens ascendant).

Chaque sécheur opère selon un cycle de 24 h, divisé entre phase d'adsorption (16 h) et phase de régénération (8 h). Après un cycle d'adsorption, le sécheur passe à la phase de régénération au cours de laquelle il est régénéré pour extraire l'eau adsorbée. Un autre sécheur, pour lequel les étapes de régénération sont terminées, remplace le précédent en mode d'adsorption.

La séquence de déshydratation du gaz est pilotée de façon automatique (cas normal) ou manuelle. Chaque sécheur est équipé d'un analyseur d'humidité pour assurer le bon fonctionnement des sécheurs et détecter un éventuel problème sur les tamis moléculaires. La teneur en eau du gaz sec provenant des sécheurs G11-VK-24-01 A/B/C doit être inférieure à 1 ppm vol.

À la sortie des sécheurs, le gaz est filtré à travers le filtre de gaz sec G11-MB-24-01 A/B pour éliminer les particules de taille supérieure à 10 µm. Pouvant endommager la roue en l'expandant de la section de refroidissement du gaz.

Une partie du gaz sec est utilisée en tant que gaz de régénération. Ce débit constant, 17 % du débit nominal de gaz déshydraté, est collecté à la sortie du filtre de gaz sec G11-MB-24-01 A/B.

La phase de régénération est divisée en 3 étapes : chauffage (5 h), refroidissement (2 h) et repos (1 h). Pendant l'étape de chauffer, le gaz de régénération est chauffé dans le four G11-UF-24-01. Une première rampe de montée en température (15 minutes) permet de réchauffer progressivement le tamis moléculaire de la température opératoire du gaz jusqu'à 120 °C,

température à laquelle est observé un palier pour assurer une chauffe homogène dans le sécheur pendant 30 minutes. Une seconde rampe de montée en température de 15 minutes est alors réalisée pour porter le gaz à 275 °C. Une étape finale de chauffe à 275 °C est alors observée pendant 4 heures pour permettre une régénération complète du tamis moléculaire.

L'effluent gazeux humide et chaud récupéré en sortie des sécheurs est refroidi à 60°C par l'aéroréfrigérant de gaz de régénération G11-GC-24-01. L'eau condensée est ensuite récupérée dans le séparateur de gaz de régénération G11-VD-24-01, puis envoyée vers l'unité de traitement des eaux huileuses. Le gaz de régénération est envoyé à l'inter-étage du compresseur de gaz d'alimentation G05-KA-23-01.

Lors de l'étape de refroidissement, le gaz de régénération bypass le système de chauffe et le gaz froid est envoyé à travers le sécheur pendant 2 heures pour ramener la température du tamis moléculaire à sa valeur opératoire d'adsorption. À la sortie du sécheur, le gaz de régénération suit le même traitement de refroidissement à 50 °C et de séparation que précédemment.

Pendant l'étape de repos et de permutation des sécheurs, le système de chauffe et les sécheurs sont bypassés et le gaz de régénération est envoyé à l'entrée de l'aéroréfrigérant pour être recyclé vers l'inter-étage du compresseur de gaz d'alimentation.[2]

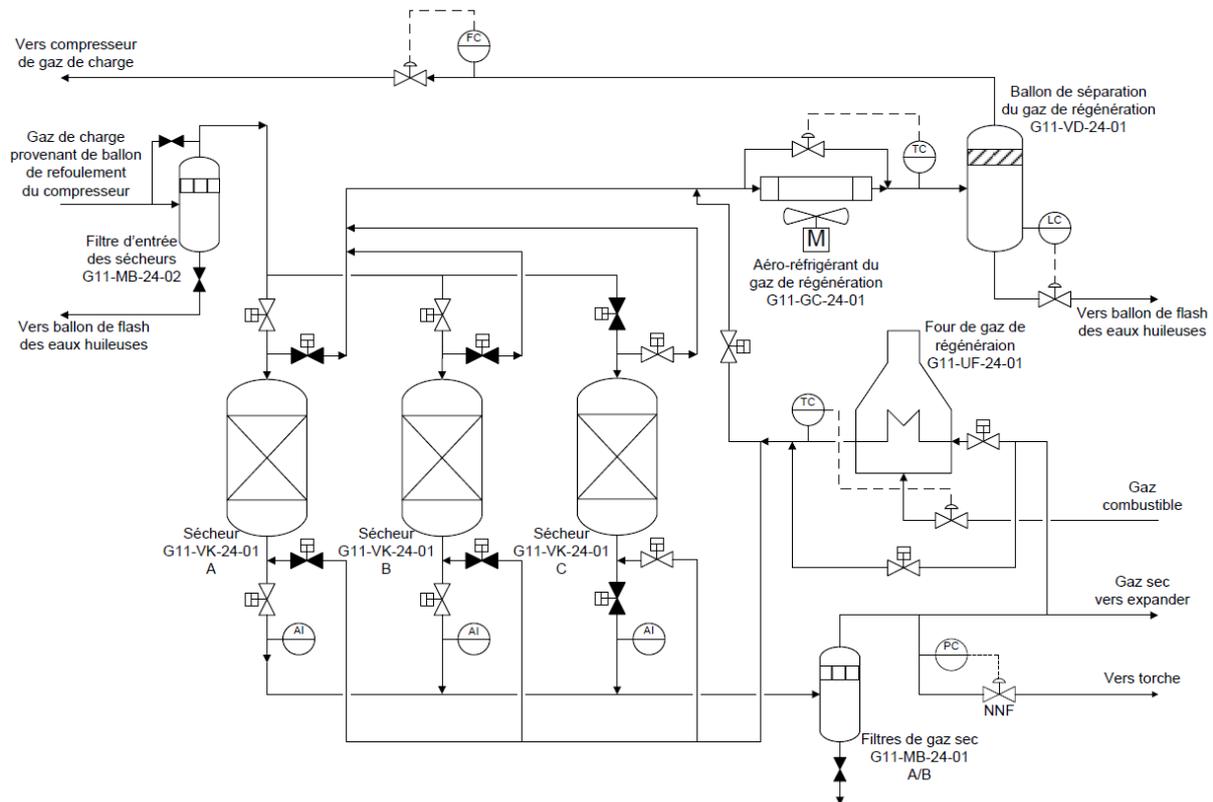


Figure II.6.1. Schéma de déshydratation du gaz de charge

Le gaz provenant du ballon d'alimentation de l'expander est envoyé vers l'expandeur du gaz de charge G11-KH-32-01 où il est détendu à la pression de 21,8 bar. Au démarrage, l'expandeur est à l'arrêt et le gaz est envoyé vers la vanne 32-FV-0 1036. Dans les deux cas, la température du gaz est réduite, permettant la condensation d'une partie des GPL. L'expandeur permet une détente thermodynamiquement bien plus efficace qui permet de récupérer plus de GPL en aval qu'avec une simple détente. En sortie de l'expandeur, le gaz se trouve à une pression de 21,8 barg et une température de -41 °C. Le flux bi-phasique au refoulement de l'expandeur alimente alors l'absorbeur G11-CA-32-01. L'énergie produite au niveau de l'expandeur par la détente du gaz haute pression est utilisée pour entraîner le compresseur de gaz résiduel G1 1-KA-32-01.

Les condensats recueillis au niveau du ballon d'alimentation de l'expandeur G11-VL-32-01 sont détendus et combinés au refoulement de l'expandeur pour alimenter la colonne d'absorption G11-CA-32-01. [2]

II.6.3 Section de dééthanisation (unité 32) :

L'absorbeur reçoit des flux bi-phasiques (liquide/vapeur) provenant de la sortie de l'expandeur de gaz de charge G11-KH-32-01 (ou de la vanne JT) et du fond du ballon d'alimentation de l'expander G11-VL-32-01.

L'absorbeur est une colonne à plateaux (14) à reflux sans rebouillage où la majorité des composants plus légers sont séparés en tête de l'absorbeur. Le reflux liquide de l'absorbeur provient du gaz de tête du dééthaniseur G11-CE-32-01 condensé dans l'échangeur de tête de l'absorbeur G11-GA-32-04 par le gaz froid sortant en tête de l'absorbeur. Le liquide est récupéré dans le ballon de désengagement de l'absorbeur G11-VL-32-06 avant d'alimenter l'absorbeur G11-CA-32-01 sur le plateau de tête de la colonne (14).

Le liquide récupéré en fond de colonne est envoyé par la pompe d'alimentation du dééthaniseur G11-PA-32-01 A/B vers le condenseur du dééthaniseur G11-GA-32-03, où le liquide est partiellement vaporisé. Le liquide récupéré dans ce ballon alimente l'échangeur gaz de charge / charge dééthaniseur G11-GA-32-01 où le liquide est partiellement vaporisé. Ce fluide constitue l'alimentation principale du dééthaniseur, G11-CE32-01 au niveau du plateau 22 du dééthaniseur. Le gaz sortant du ballon d'alimentation du dééthaniseur G11-VL-32-03 est envoyé dans la colonne au niveau du plateau 30, constituant ainsi l'alimentation secondaire du dééthaniseur.

Le gaz de tête du dééthaniseur est partiellement condensé dans le condenseur du dééthaniseur G11-GA-32-03 par le liquide froid provenant du fond de l'absorbeur, puis envoyé vers le ballon de reflux du dééthaniseur G11-VL-32-02. Le liquide condensé est renvoyé en tête du dééthaniseur (41) par la pompe de reflux du dééthaniseur G11-PA-32-02A/B. En fonctionnement normal, la pression du dééthaniseur est maintenue à 28 barg par la vanne sortie gaz du ballon de désengagement de l'absorbeur G11-VL-32-06. En mode Joule Thomson, un by-pass permet l'évacuation de l'excédent de gaz du ballon de reflux du dééthaniseur G11-VL-32-02 envoyé vers le collecteur de gaz résiduel.

Le liquide du plateau 1 est envoyé vers le rebouilleur G11-GA-32-05 où il est partiellement vaporisé par l'huile chaude. Le débit d'huile chaude est ajusté sous contrôle de température du plateau sensible du dééthaniseur G11-CE-32-01, de manière à éliminer assez d'éthane du produit de fond de colonne pour satisfaire la spécification du GPL en C2. La partie non vaporisée du rebouilleur rejoint le fond du dééthaniseur avant d'être envoyée vers le débutaniseur G11-CB32-01.

Le gaz de tête de l'absorbeur est réchauffé à travers l'échangeur de tête de l'absorbeur G11-GA-32-04 puis à travers les échangeurs G11-GA-32-02 A/B avant d'alimenter le recompresseur de gaz résiduel G11-KA-32-01. À la sortie du recompresseur, le gaz résiduel est refroidi à travers l'aéroréfrigérant G11-GC-32-01 et acheminé vers le pipeline de gaz résiduel. [2]

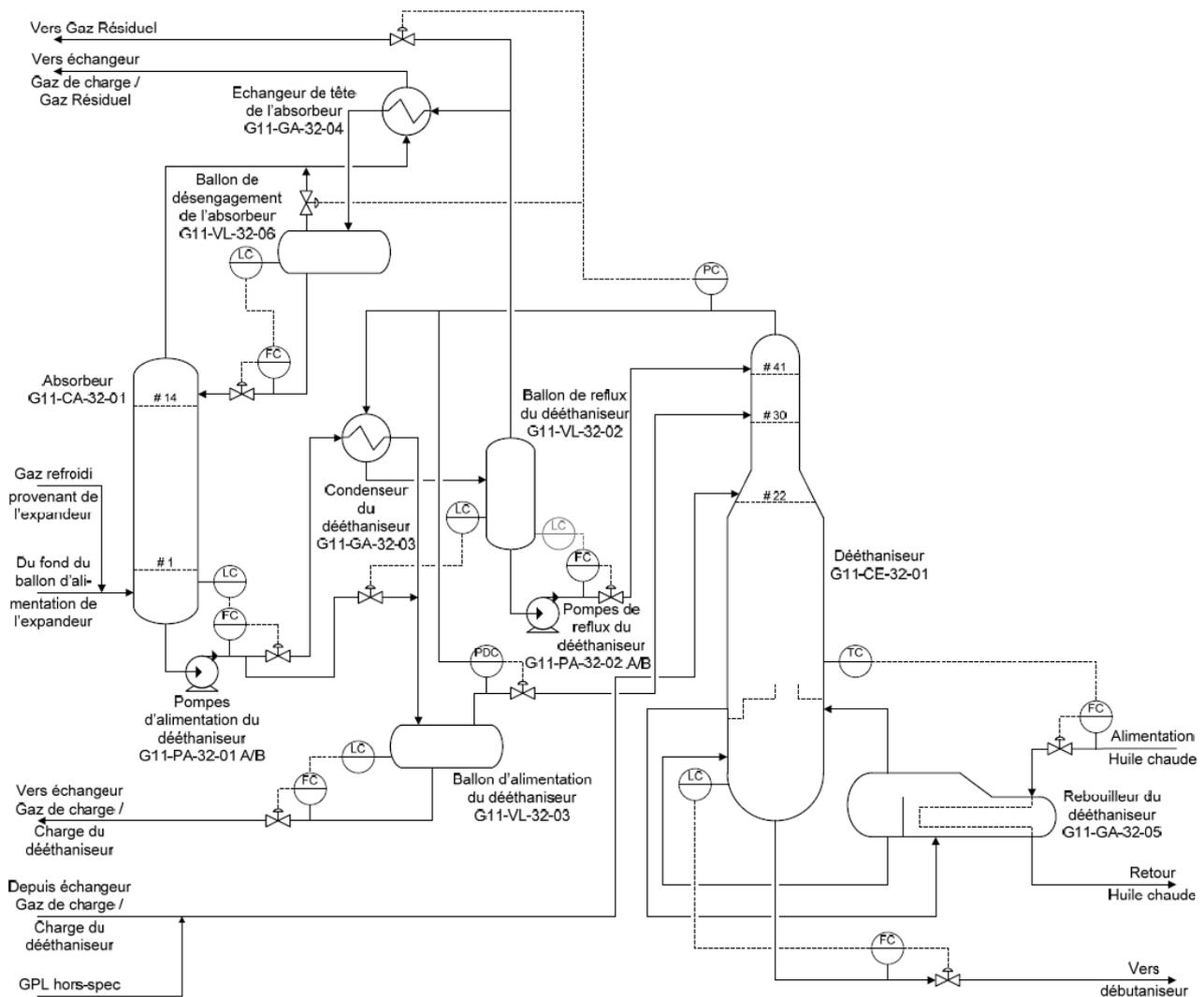


Figure II.6.3. Schéma de section dééthanisation

II.6.4 Section débutanisation (unité 32) :

Le débutaniseur G11-CB-32-01 est une colonne de distillation avec reflux et rebouillage comportant 43 plateaux et deux alimentations. L'alimentation principale entre dans la colonne au niveau du plateau 28. L'iso-pentane provenant du séparateur M4, situé au CPF CINA, est pompé par la nouvelle pompe d'export de condensat de CINA 350-PA-35-05 A/B à travers une nouvelle conduite de 4" pour alimenter les débutaniseurs des quatre trains au niveau du plateau 4.

La pression du débutaniseur est maintenue à 17 barg par la vanne de contrôle de tête de colonne. Le gaz de tête est totalement condensé dans l'aéroréfrigérant G11-GC-32.

Les GPL sont recueillis dans le ballon de reflux du débutaniseur G11-VL-32-05. Une partie du débit est pompée vers le plateau de tête du débutaniseur par la pompe de reflux G11PA32-03 A/B. Le reste du débit de GPL est dirigé vers les sphères de stockage 31-RD-33-01 A/B/C communes aux quatre trains de traitement. [2]

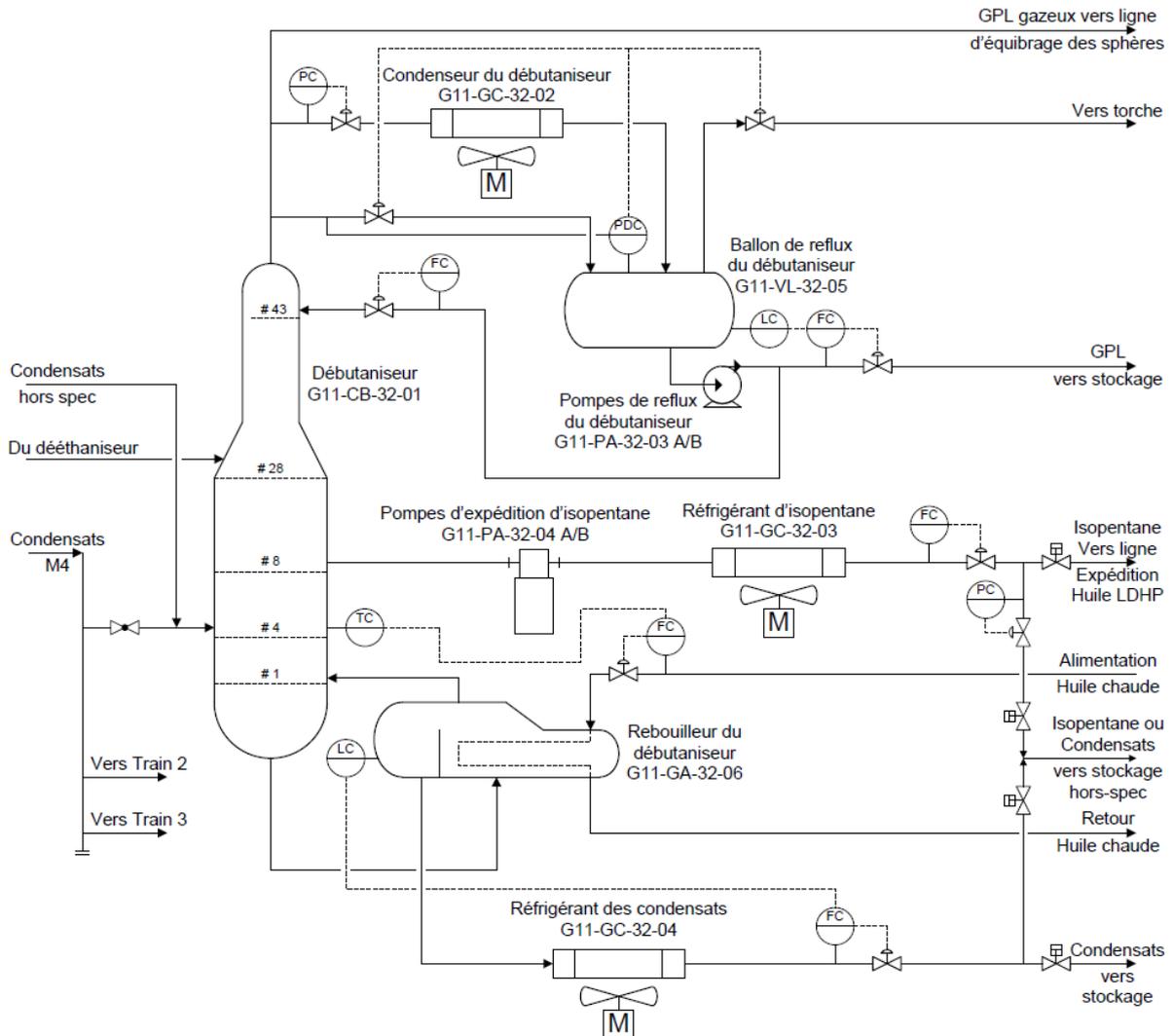


Figure II.6.4. Schéma de section de récupération de GPL

Un flux riche en iso pentane est soutiré du plateau 8 sous contrôle de débit puis envoyé sur la ligne d'expédition d'huile de LDHP par la pompe d'expédition d'iso pentane G11-PA-32-04 A/B, après avoir été refroidi à 50 °C dans le réfrigérant d'iso pentane G11-C32-03.

Le liquide de fond du débutaniseur est partiellement vaporisé dans le rebouilleur par l'huile chaude dont le débit est ajusté sous contrôle de température du plateau sensible du débutaniseur. En fonctionnement normal, une température de 275 °C est maintenue au fond de la colonne de manière à satisfaire la spécification de tension de vapeur du condensat produit.[2]

II.7 Export du gaz résiduel (Unité 34) :

Le gaz résiduel issu de chacun des trains de traitement est rassemblé sur le collecteur commun de gaz résiduel.

Le gaz résiduel est ensuite transféré vers CINA par une nouvelle canalisation de 40". Le gaz est ré-injecté dans la ligne existante de 40" vers le CIS par un piquage proche de celui du gaz de charge. Une vanne de 40" fermée est installée entre les deux piquages.

Un bypasse muni d'une vanne de contrôle et d'un contrôle de pression permet de bypasser directement l'usine GPL ZCINA au niveau de CINA dans le cas où GPL ZCINA ne peut pas traiter la charge gaz (partiellement ou totalement).

II.8 Stockage et export, recyclage du GPL (Unité 33) :

Le GPL produit au niveau du ballon de reflux du débutaniseur G11-VL-32-05 de chaque train alimente la section de stockage via le collecteur commun de GPL aux spécifications et/ou le collecteur commun de GPL hors spécifications.

Le système de stockage de GPL se compose au total de quatre sphères identiques d'un volume de 500 m³. Trois sphères (31 G-RD-33-01 A/B/C) destinées pour le stockage de GPL répondant aux spécifications (GPL on spec). Et la sphère 32G-RD-33-01 est pour le stock du GPL hors-spec, mais elle peut aussi être utilisée comme une sphère « on-spec » si on le désire. En effet, elle est à la fois connectée au collecteur de GPL hors-spec et au collecteur de GPL on-spec. La pression de toutes les sphères est régulée pour être maintenue entre 15 barg et 21 barg. La mise sous pression à 16 barg est assurée par une ligne commune de gaz provenant de la tête des débutaniseurs. Les sphères seront dépressurisées lorsque leur pression est au-delà de 21 barg.

Les pompes d'export de GPL 35G-PA-33-01 A/B (2 x 100%) sont des pompes centrifuges verticales. Elles permettent d'expédier le GPL produit vers une nouvelle station de pompage située à 17 km de ZCINA via un nouveau pipeline enterré de 14" de diamètre. La pression d'arrivée souhaitée à la station de pompage est de 29 barg.

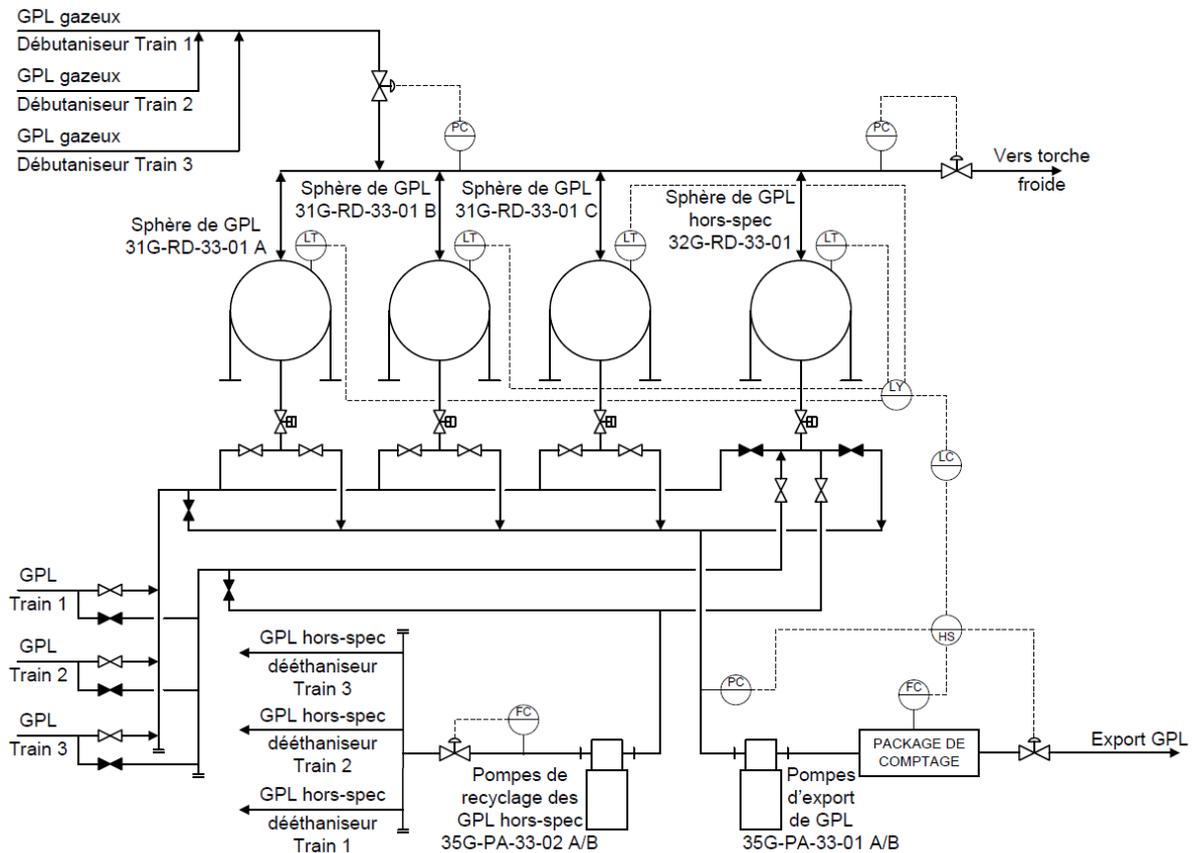


Figure II.8.1. Schéma de stockage et export, recyclage du GPL

II.9 Stockage, export et recyclage des condensats (unité 35) :

Les condensats produits dans les débitaniseurs G11 / G12 / G13-CB-32-01 sont refroidis puis envoyés vers la zone de stockage.

Le système de stockage des condensats se compose au total d'un ballon et de trois bacs. Deux bacs (31C-RA-35-01 A/B) sont des bacs à toit flottant d'une capacité de 1227 m³.

Ils sont dédiés à recevoir des condensats stabilisés répondant aux spécifications et provenant des trains de production via le collecteur de condensats stabilisés. Dans le cas de non-respect des spécifications, les condensats non stabilisés sont acheminés par le collecteur hors-spec vers le bac de stockage hors-spec à toit fixe 32C-RL-35-01 d'une capacité totale de 1000m³ via le ballon de dégazage 32C-VD-35-01 qui élimine le gaz flashé.

Le bac de stockage de condensats hors spec reçoit aussi d'autres flux d'hydrocarbures :

- les liquides des ballons de torche chauds et basse pression.

- Des flux provenant des trains de production et empruntant le collecteur hors spec vers le ballon de dégazage : liquide des ballons de drains fermés et isopentane lorsqu'il n'est pas possible de l'exporter.

Les pompes d'export verticales 35C-PA-35-04 A/B permettent d'expédier les condensats stabilisés de ZCINA vers une ligne de condensats existante de 10" HMD-HEH via un nouveau pipeline de 4" de 5.305 km de longueur avec une pression d'arrivée de 19 barg.[2]

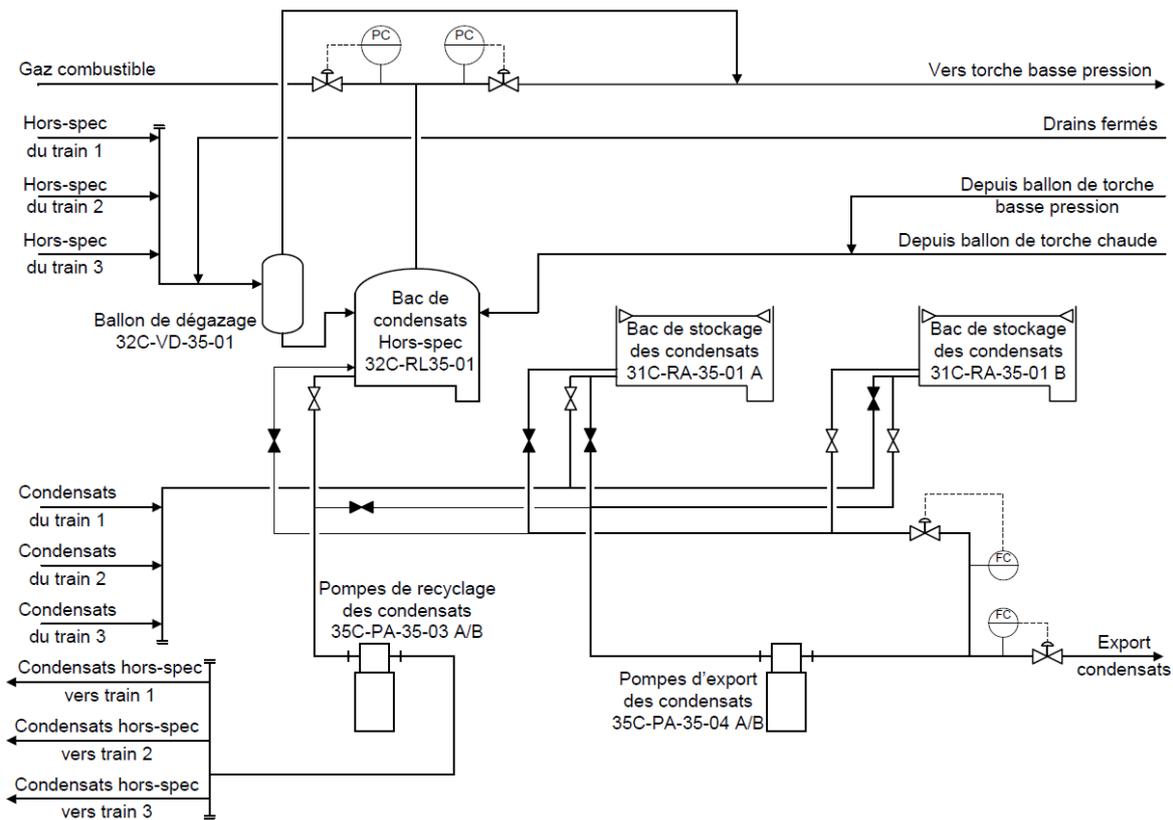


Figure II.9.1. Schéma de stockage, export et recyclage des condensats

II.10 Description du fonctionnement des systèmes utilités :

II.10.1 Système d'huile chaude (unité 41) :

L'unité d'huile chaude permet de fournir l'énergie requise pour le fonctionnement des rebouilleurs du déethaniseur et du débutaniseur par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur. Chaque train est équipé d'une boucle d'huile chaude.[2]

II.10.2 Injection de produits chimiques (unités 42) :

Les produits chimiques sont injectés en différents points du procédé à l'aide des packages d'injection comportant chacun un bac de stockage et une pompe doseuse.

- Package d'injection de produit méthanol 450-UO-42-05.
- Package d'injection d'inhibiteur de corrosion pour pipeline 450-UO-42-04 de gaz de charge.
- Package d'injection d'inhibiteur de corrosion du séparateur d'entrée G01-UO-42-01.
- Package d'injection de biocide 450-UO-42-01.[2]

II.10.3 Les torches (unités 43) :

Les réseaux de torche récupèrent les gaz de dépressurisation, d'échappement des soupapes et des vannes de contrôle de surpression de l'usine GPL ZCINA. Trois types de réseau de torchage ont été définis selon la contrepression et la température engendrée par l'écoulement des fluides dans le réseau. [2]

II.10.4 Traitement des eaux huileuses (unité 44) :

Les eaux huileuses proviennent des eaux de procédé d'une part et du réseau de drains ouverts d'autre part. Les eaux huileuses issues du procédé alimentent un ballon de flash des eaux huileuses 4K0-VD-44-01 qui récupère les différentes eaux provenant du :

- Ballon de séparation du gaz de régénération.
- Filtre coalesceur du sécheur du gaz de charge.
- Ballon de flash des condensats d'entrée.
- Ballon de flash des condensats.

Le traitement des eaux huileuses s'effectue en deux étapes : une première étape de séparation (séparation primaire) en continu pour les eaux de procédé et une séparation par intermittence pour les eaux de drains ouverts, et une seconde étape (séparation secondaire) où les eaux pré-déshuilées de ces deux systèmes alimentent sous pression un second étage de séparation au travers d'une unité de filtration sur résines oléophiles. [2]

II.10.5 Gaz combustible (unité 45) :

Le gaz combustible est divisé en deux types :

- Système de gaz combustible haute pression.
- Système de gaz combustible basse pression.[2]

II.10.6 Eau brute (unité 50) :

L'eau brute a deux fonctions :

- Alimentation en eau Eocène pour le système d'eau potable et d'eau de service.
- Alimentation en eau Albien du système d'eau incendie.[2]

II.10.7 Drains ouverts (unité 56) et Drains fermes (unité 57) :

Le réseau des drains ouverts collecte principalement les eaux de pluie, les eaux d'extinction des feux, les eaux de lavage, les égouttures sur toutes les aires dallées.

Les systèmes de drains fermés collectent les hydrocarbures et les eaux huileuses provenant essentiellement de vidanges et de rinçage des équipements et des lignes. Ils transfèrent gravitairement ces effluents depuis les points de vidange jusqu'aux unités de traitement, dans des conditions optimales pour l'environnement, la santé et la sécurité du personnel intervenant.[2]

II.10.8 Stockage et distribution de diesel (unité 62) :

Le système de stockage et de distribution de diesel est composé d'un bac de stockage de diesel 440-RA-62-01 d'une capacité utile de 67 m³, des pompes de transfert 440-PA-62-01 A/B ainsi qu'un système de filtration (440-MA-62-01 A/B – 02 A/B) et un réseau de distribution. Le diesel est utilisé en tant que combustible de secours : les consommateurs de diesel sont le package diesel de compression d'air 420-UO-63-01, le groupe électrogène de secours 6P0-UO-84-01 et la pompe d'eau incendie 700-PA-71-03. Le système doit assurer la disponibilité immédiate du diesel pour les consommateurs.[2]

II.10.9 Air service et instrument (unité 63) :

L'unité d'air service permet de comprimer de l'air atmosphérique nécessaire pour produire de l'air instrument et de l'azote et alimente aussi le réseau de distribution d'air service alors que l'unité d'air instrument produit de l'air sec.[2]

II.10.10 Azote (unité 64) :

Le système d'azote est constitué de l'azote basse pression (entre 5 barg et 8 barg) et de l'azote haute pression à 40 barg.

L'azote basse pression est utilisé en permanence dans l'usine, alors que l'azote haute pression sert au remplissage de bouteilles d'azote qui fait office de réserve d'azote pour le réseau d'azote basse pression.

L'azote basse pression sert notamment à assurer :

- Le maintien sous atmosphère inerte certaines capacités.
- L'étanchéité secondaire et tertiaire pour les compresseurs de gaz de charge.
- Le balayage des garnitures de certaines pompes.
- L'approvisionnement en gaz d'inertage disponible au niveau des stations utilités (phase de démarrage, phases de maintenant...).[2]

II.10.11 Système d'eau incendie (unité 71) :

L'usine GPL ZCINA dispose d'un système d'eau incendie comprenant une alimentation en eau, deux réservoirs de stockage d'eau incendie, une pomperie d'eau incendie et un réseau de distribution d'eau incendie maillé et enterré.[2]

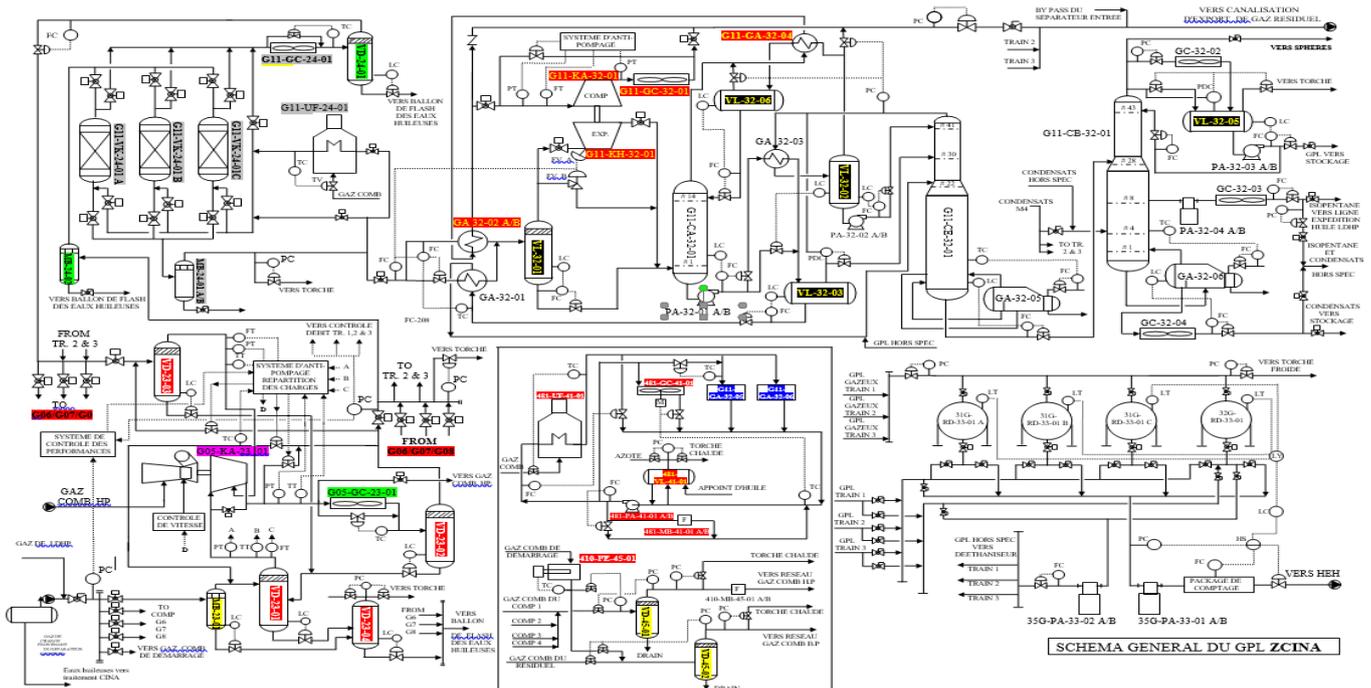


Figure II.10.1. Schéma général de l'unité GPL ZCINA

II.11 Unité de séparation d'huile LDHP :

L'unité de séparation d'huile LDHP est équipée d'un réseau de collecte de l'huile à haute pression (HP), comprenant 15 sous-manifolds (S/MFD), 05 manifolds (MFD), et 05 collecteurs

(trunklines) reliant les MFD à l'entrée de l'unité de séparation ZCINA. Les manifolds sont nommés MFD CINA, OMKZ72, OMO13, OMP53 et OML75.

L'unité comprend également une section de séparation du brut à une pression de 32 bars, constituée de 03 séparateurs tri-phasiques, un ballon dégazeur pour les eaux huileuses, un système de torche, un système d'injection de produits chimiques, deux pipelines d'expédition d'huile et d'eau (de 18" et 6") vers CINA, ainsi qu'une sous-station électrique.[2]

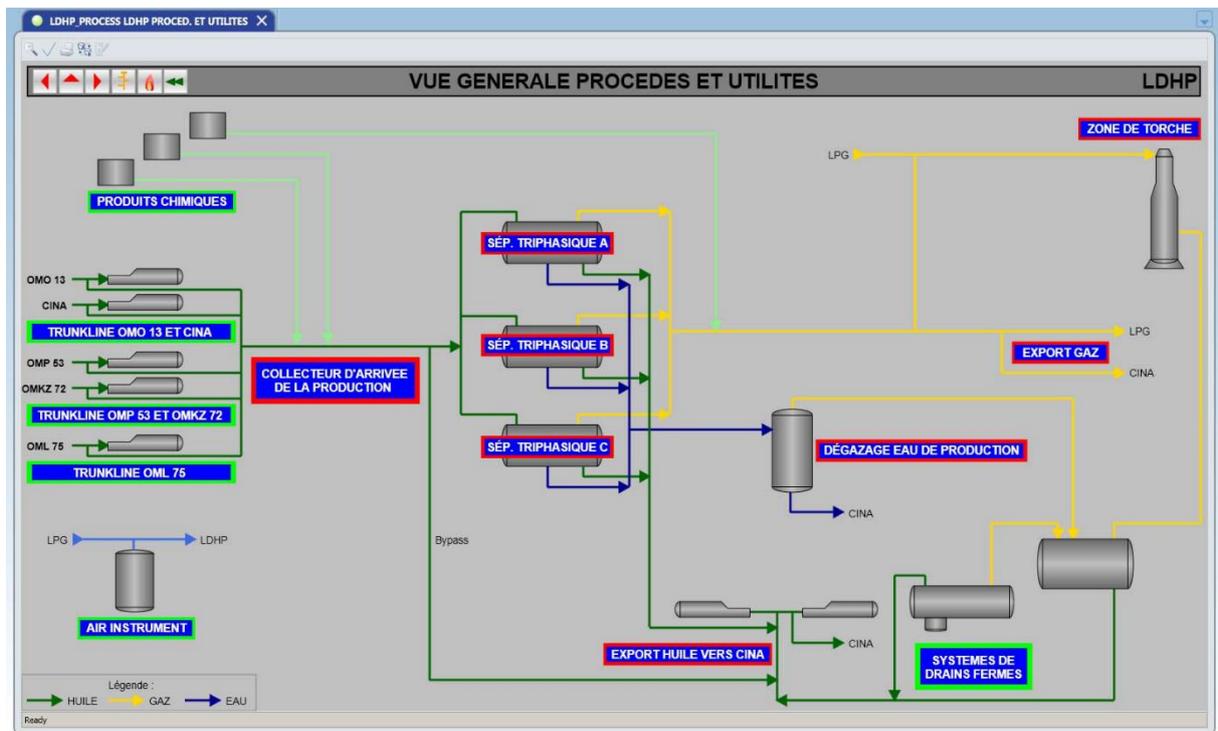


Figure II.11.1. Schéma de vue générale de l'unité LDHP

II.12 Conclusion :

On conclut que de nombreuses unités dédiées de l'usine mettent en œuvre des équipements haute technologie pour rendre les produits de ce processus complexe de traitement de gaz associés conformes aux normes de transport et de commercialisation.

***Chapitre III : Simulation de l'unité de
traitement GPL ZCINA***

III.1 Introduction :

La simulation numérique est un outil essentiel dans de nombreux domaines industriels et scientifiques. Elle permet de modéliser, d'analyser et de prédire le comportement de systèmes complexes avant leur mise en œuvre réelle. Grâce aux progrès de l'informatique, plusieurs logiciels de simulation sophistiqués sont désormais disponibles. Ces logiciels intègrent des modèles mathématiques et physiques représentant fidèlement les processus impliqués. Ils permettent aux ingénieurs et aux chercheurs d'effectuer des simulations numériques, d'étudier l'influence de différents paramètres, d'optimiser les conceptions et de détecter d'éventuels problèmes à un stade précoce.

III.2 Définition de la simulation :

La simulation est un modèle qui imite le fonctionnement d'un système existant ou proposé, fournissant des preuves pour la prise de décision en permettant de tester différents scénarios ou changements de processus. Elle peut être associée à des technologies de réalité virtuelle pour une expérience plus immersive. Les simulations peuvent être utilisées pour ajuster les performances, optimiser un processus, améliorer la sécurité, tester des théories et même former le personnel. La modélisation scientifique des systèmes permet à l'utilisateur de se faire une idée des effets de différentes conditions et actions. Elle peut également être utilisée lorsque le système réel est inaccessible ou trop dangereux pour être évalué, ou lorsqu'un système en est encore au stade de la conception ou de la théorie.[3]

La simulation consiste à utiliser un logiciel de simulation intuitif comme : Aspen Plus, ChemCAD, Hysim, Hysys, Pro-II, très populaires comme soft de simulation, pour créer une maquette visuelle d'un processus. Cette simulation visuelle doit inclure des détails sur les délais, les règles, les ressources et les contraintes, afin de refléter fidèlement le processus réel. Ainsi que, pour évaluer l'effet des changements de processus, des nouvelles procédures et des investissements en matériel. Les ingénieurs peuvent utiliser la simulation pour évaluer les performances d'un système existant ou prévoir les performances d'un système planifié, en comparant des solutions et des conceptions alternatives.[3]

La simulation est utilisée comme une alternative aux tests de théories et de changements dans le monde réel, qui peuvent être coûteux. La simulation peut mesurer des facteurs tels que les temps de cycle du système, le débit sous différentes charges, l'utilisation des ressources, les besoins de stockage, les besoins en personnel, l'efficacité des systèmes d'ordonnancement et de contrôle.[3]

Les simulateurs de procédés sont des outils essentiels pour les techniciens et les ingénieurs des procédés industriels. Ils facilitent l'établissement efficace et précis des bilans de matière et d'énergie pour tous les processus chimiques et opérations unitaires. Grâce à ces outils, il est possible d'effectuer des bilans massifs et énergétiques complets, en tenant compte de tous les flux, réactions chimiques, transferts de chaleur, etc. Cela permet une compréhension approfondie des phénomènes impliqués et l'optimisation des paramètres opérationnels.[3]

Dans notre travail, on a utilisé le simulateur Aspen Hysys.

III.3 Concept et caractéristiques du simulateur Hysys :

Le simulateur Hysys est un ensemble de modèles mathématiques des opérations unitaires (ballon, colonne de distillation, compresseur, vanne...) ; ces opérations sont connectées dans un schéma de procédé PFD par le courant d'information généré dans ces opérations. Donc, le Hysys est un programme informatique pour la simulation des procédés de l'industrie du gaz, des procédés de raffinage et de la pétrochimie à l'état stationnaire et en situation dynamique.[4]

Il peut être utilisé en :

- Engineering.
- Établissement des bilans matière et d'énergie d'un procédé industriel.
- Dimensionnement des équipements.
- Réajustement des paramètres de fonctionnement dans le cas de changement de composition de L'alimentation.
- Détermination des performances des équipements.

Les caractéristiques du logiciel HYSYS sont :

- Facilité d'utilisation et fiabilité des résultats.
- Intégration de toutes les applications nécessaires dans un environnement de simulation commun.
- Possibilité de modélisation en état statique ou dynamique.
- Automatisation de différentes tâches sans recourir à d'autres programmes.
- Combinaison du calcul interactif avec un accès instantané à l'information.
- Calcul instantané et automatique des propriétés thermodynamiques dès qu'une nouvelle information est disponible.

III.4 Le choix du modèle thermodynamique :

Le modèle thermodynamique est un paramètre important pour converger les résultats de simulation aux résultats réels. Chaque modèle dépend des constituants du problème de simulation et des coefficients par binaires sont intégrés dans la base de données.

La réussite de notre simulation est basée sur le choix du modèle thermodynamique, car celui-ci est développé pour une classe de fluides et un domaine de conditions P et T recommandés.

Plusieurs équations d'état usuelles sont utilisées :

- **La méthode de Peng-Robinson** : Le modèle le plus améliorée dans Hysys, avec la plage de T & P la plus élevée, un traitement spécial pour les composants clés, la plus grande base de données d'interactions binaires : une bonne norme pour les hydrocarbures. [5]

- **RSV** : Etend la PR aux systèmes modérément non idéaux et représente mieux les composants et les mélanges médiocres. Ajoute un nouveau paramètre à l'équation. Vitesses de calcul plus lentes que celles de Peng-Robinson. [5]
- **SRK** : Modèle de Redlich Kwong modifié. Précision/utilisation similaires à celles de Peng-Robinson, mais dans Hysys, SRK comporte moins d'améliorations que PR. [5]

Pour notre simulation, on a choisi l'équation de PENG-ROBINSON. Cette équation est considérée adéquate pour le calcul d'équilibre liquide-vapeur des systèmes composés d'Hydrocarbures.

Les améliorations apportées par ASPENTECH à cette équation d'État lui permettent d'être très fiable pour une variété de systèmes sur un large domaine de conditions. Elle résout rigoureusement, tous les systèmes composés d'une seule phase, biphasiques ou un système à trois phases avec haut degré d'efficacité et de précision, et est applicable sur une grande gamme de conditions.

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{v(v + b) + b(v - b)} \quad III.4.1$$

La forme cubique de l'équation PR est la suivante [6] :

$$Z^3 - (1 - B) * Z^2 + (A - 2B - 3b^2) * Z - (AB - B^2 - B^3) = 0 \quad III.4.2$$

Avec :

$$b = \sum_{i=1}^N x_i b_i$$

$$b_i = \Omega_b R T_{ci} / P_{ci}; \quad \Omega_b = 0.077796$$

$$a = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j (a_i a_j)^{0.5} (1 - k_{ij})$$

$$a_i = \Omega_a R^2 T_{ci}^2 \alpha / P_{ci}; \quad \Omega_a = 0.457235$$

$$\alpha(T_r) = [1 + m_i(1 - T_r^{0.5})]^2$$

$$m_i = M_0 + M_1\omega_i + M_2\omega_i^2$$

$$\omega_i > 0.49$$

$$A = aP / (RT)^2$$

$$B = bP / RT$$

P: Pression

T: Température

V: Volume

R : Constante des gaz parfait

Z : Facteur de compressibilité

a, b : Termes d'attraction

ω_i : Facteur acentrique

$\Omega_a, \Omega_b, M_0, M_1$: Paramètres numériques

$$M_0 = 0.37464$$

$$M_1 = 1.54226$$

$$M_2 = -0.26992$$

III.5 Objectif de simulation :

Dans chaque simulation, un objectif spécifique guide son exécution. Dans notre cas, notre simulation vise à identifier les équipements critiques et sensibles au sein de notre processus, ainsi qu'à évaluer les paramètres thermodynamiques tels que la pression, la température, la densité et le débit, les aspects chimiques incluant la composition des fluides entrant et sortant du processus, ainsi que les caractéristiques mécaniques des équipements, comme leurs dimensions, qui influencent la performance globale du système.

Cette analyse nous permet d'obtenir une vision initiale de la fiabilité, de la disponibilité et de la maintenabilité de notre processus. En évaluant ces éléments critiques et paramètres cruciaux, nous sommes en mesure de déterminer les probabilités de défaillance, d'analyser leurs causes et de formuler des recommandations pour atténuer leur impact sur le fonctionnement du système.

III.6 Simulation et résultats :

Notre simulation englobe les quatre trains de traitement de gaz de l'usine GPL ZCINA ainsi que la ligne d'expédition du gaz résiduel utilisé dans la réinjection, reliant GPL ZCINA à CIS. Étant donné que les trains de traitement sont identiques, l'étude qui suit portera sur un seul train, mais s'appliquera également à chacun d'entre eux (G11, G12, G13, G14).

Les données utilisées dans la simulation sont celles du gaz riche de l'été 2010. Pour valider notre simulation, nous procéderons à une comparaison entre les données simulées et les données réelles fournies par l'usine dans le bilan matière et Chaleur du gaz riche pour l'été 2010.

Cette comparaison portera sur les données thermodynamiques, la composition chimique, ou les deux, en fonction de la fonction des équipements critiques ou des sections entières du processus.

L'erreur relative des résultats de la simulation comparé au données de gaz riche été 2010 est calculée comme suit :

$$e = \left| \frac{R - S}{R} \right| \times 100\% \quad \text{III.6.1}$$

Avec :

R : Données cas gaz riche été 2010.

S : Résultats de simulation.

L'étude est divisée en cinq sections distinctes : la section de déshydratation, la section de refroidissement, la section de dééthanisation, la section de débutanisation, ainsi que la ligne d'export du gaz résiduel. Chacune de ces sections sera analysée en détail pour évaluer la performance du système dans son ensemble.

Tout d'abord, voici notre simulation complète, intégrant les quatre trains ainsi que la ligne d'expédition de gaz résiduel, avec une présentation détaillée de la composition chimique et des paramètres initiaux entrés :

Cas riche 2010	
Constituants	Composition molaire (%)
N₂	2,51
CO₂	1,78
C₁	66,26
C₂	17,45
C₃	7,85
i-C₄	0,71
n-C₄	2,06
i-C₅	0,38
n-C₅	0,50
n-C₆	0,22
n-C₇	0,06
n-C₈	0
H₂O	0,23
Total	100
Paramètres	Valeurs
T (°C)	55
P(barg)	95,01
Débit massique (Kg/h)	1558706,93
Densité (kg/m³)	109,82
Débit molaire (Kgmole/h)	66728
Poids moléculaire	23,36

Tableau III.6.1.1.Les paramètres d'entrées

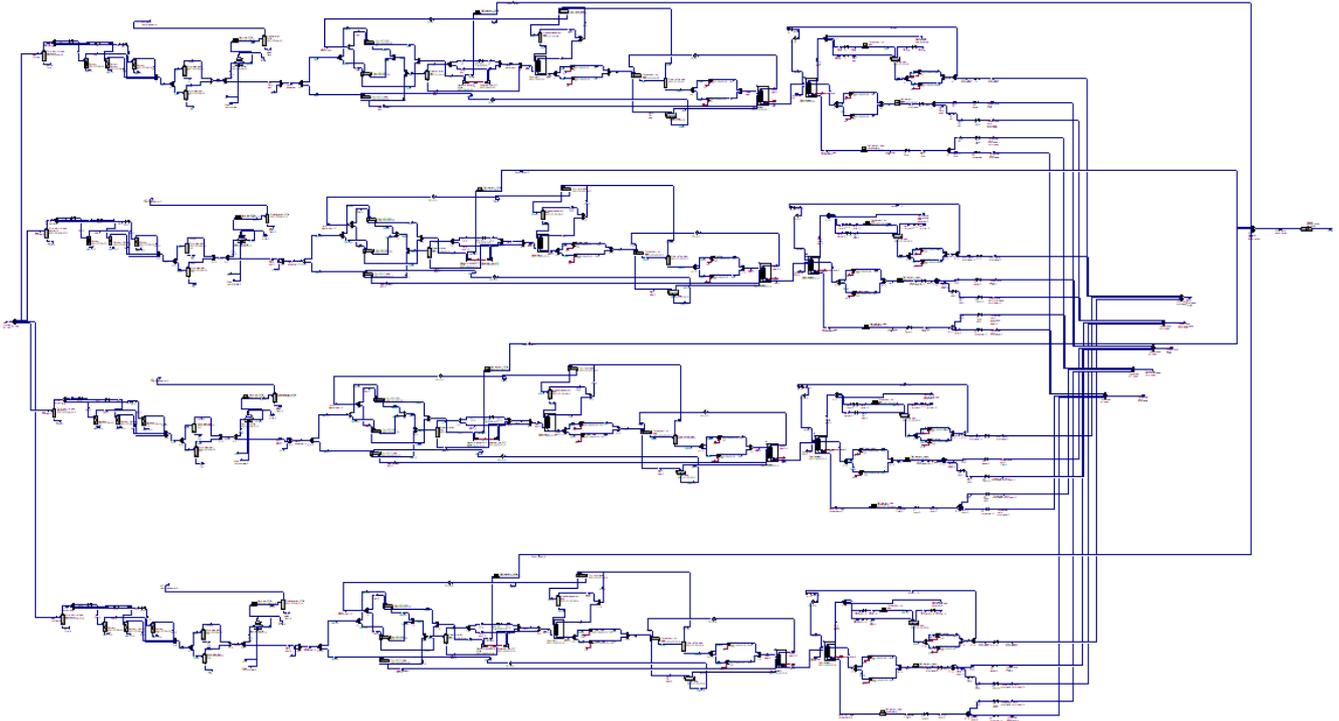


Figure III.6.1. PFD de la simulation complète

Voici également la simulation dédiée d'un seul train de traitement de gaz :

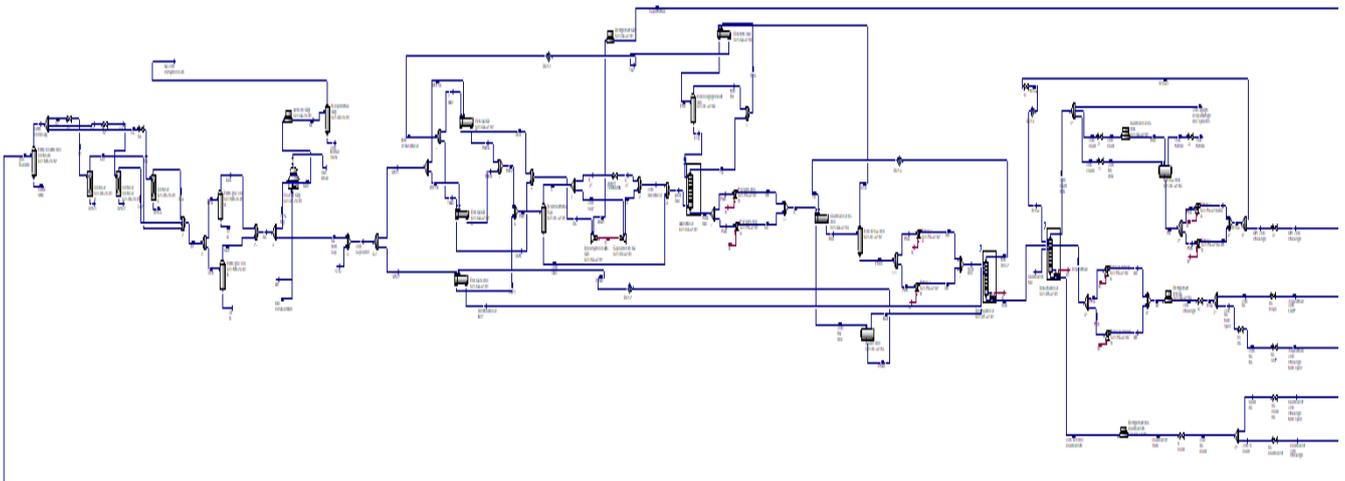


Figure III.6.2. PFD d'un seul train de traitement de gaz

III.6.1 Simulation de la Section Déshydratation :

La figure ci-dessous représente la simulation de la section déshydratation :

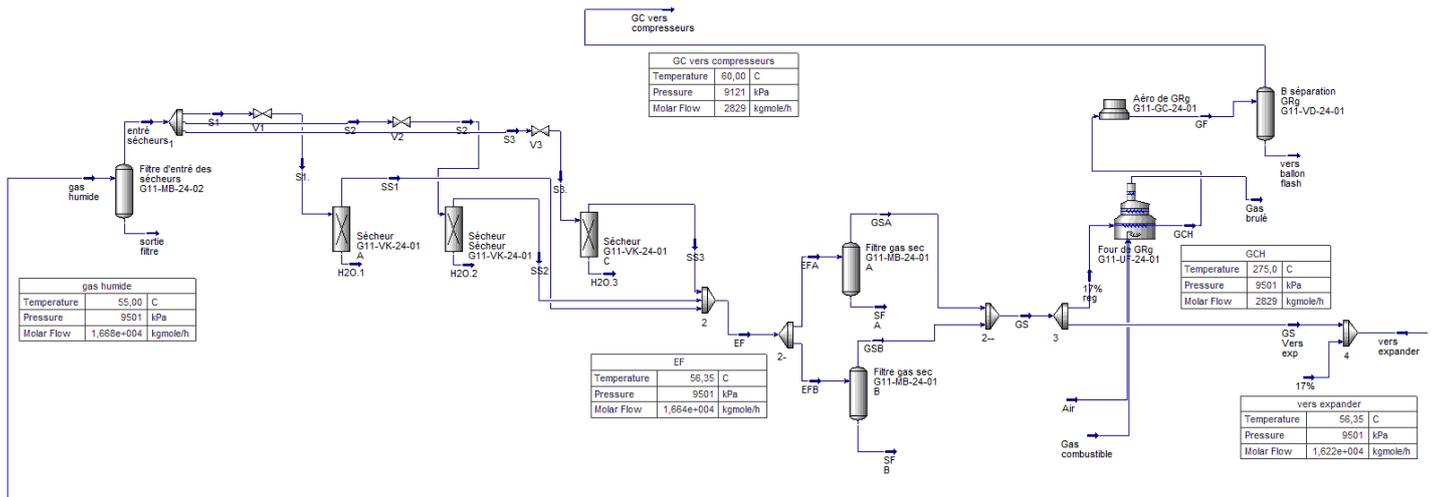


Figure III.6.1.1.PFD de la simulation de Section Déshydratation

La figure suivante offre une représentation détaillée d'un sécheur, mettant en évidence l'importance cruciale de cet équipement dans l'extraction d'eau au sein de la section désignée.

Component Splitter: Sécheur G11-VK-24-01 A

Worksheet	S1.	SS1	H2O.1	
Conditions	Nitrogen	0,0251	0,0252	0,0000
Properties	CO2	0,0178	0,0178	0,0000
Composition	Methane	0,6625	0,6641	0,0000
PF Specs	Ethane	0,1745	0,1749	0,0000
	Propane	0,0785	0,0787	0,0000
	i-Butane	0,0071	0,0071	0,0000
	n-Butane	0,0206	0,0206	0,0000
	i-Pentane	0,0038	0,0038	0,0000
	n-Pentane	0,0050	0,0050	0,0000
	n-Hexane	0,0022	0,0022	0,0000
	n-Heptane	0,0006	0,0006	0,0000
	n-Octane	0,0000	0,0000	0,0000
	n-Nonane	0,0000	0,0000	0,0000
	H2O	0,0023	0,0000	1,0000
	Oxygen	0,0000	0,0000	0,0000
	CO	0,0000	0,0000	0,0000

Figure III.6.1.2.La composition chimique à l'entrée et les sorties d'un Sécheur

III.6.1.i Comparaison et interprétation des résultats :

Nous allons présenter un tableau comparatif de la composition chimique entre la sortie de la section de déshydratation et la section de refroidissement, ainsi qu'une comparaison des paramètres thermodynamiques à la sortie du four de régénération des gaz.

Constituants	Sortie Sécheur		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
Composition molaire (%)			
N ₂	2,52	2,52	0
CO ₂	1,78	1,78	0
C ₁	66,41	66,41	0
C ₂	17,49	17,49	0
C ₃	7,87	7,87	0
i-C ₄	0,71	0,71	0
n-C ₄	2,06	2,06	0
i-C ₅	0,38	0,38	0
n-C ₅	0,5	0,5	0
n-C ₆	0,22	0,22	0
n-C ₇	0,06	0,06	0
n-C ₈	0	0	0
H ₂ O	0	0	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.1.1. Comparaison Sortie Sécheur

Paramètres	Sortie Four de Régénération		
	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)
T (°C)	275	275	0,00
P(barg)	92,4	95,01	2,82
Débit massique (kg/h)	66849	66127,55	1,08

Tableau III.6.1.2. Comparaison Sortie Four de régénération

Interprétation :

On constate que l'erreur dans le tableau de comparaison de la sortie du sécheur est **nulle**, ce qui indique une élimination totale de l'eau, validant ainsi notre simulation de cette section. En ce qui concerne le tableau comparatif des paramètres thermodynamiques du four de régénération, une légère erreur inférieure à **3 %** par rapport au cas réel a été observée, ce qui confirme également la validité de notre simulation.

Après avoir étudié divers scénarios dans la simulation, on a tiré les conclusions suivantes :

- Les éléments que nous avons choisis pour mener une étude comparative, à savoir le four de régénération et les sécheurs, sont les éléments les plus critiques de cette section, car leur arrêt aurait un impact significatif sur la fiabilité et la disponibilité de l'ensemble du système.
- L'emplacement des filtres de gaz sec offre une réponse plus efficace en cas d'arrêt de l'un des deux.
- Le mode d'installation des sécheurs signifie qu'un arrêt de l'un des trois n'entraîne pas l'arrêt complet de la section, mais réduit leur rendement global.

III.6.2 Simulation de la Section Refroidissement :

La figure ci-dessous représente la simulation de la section refroidissement :

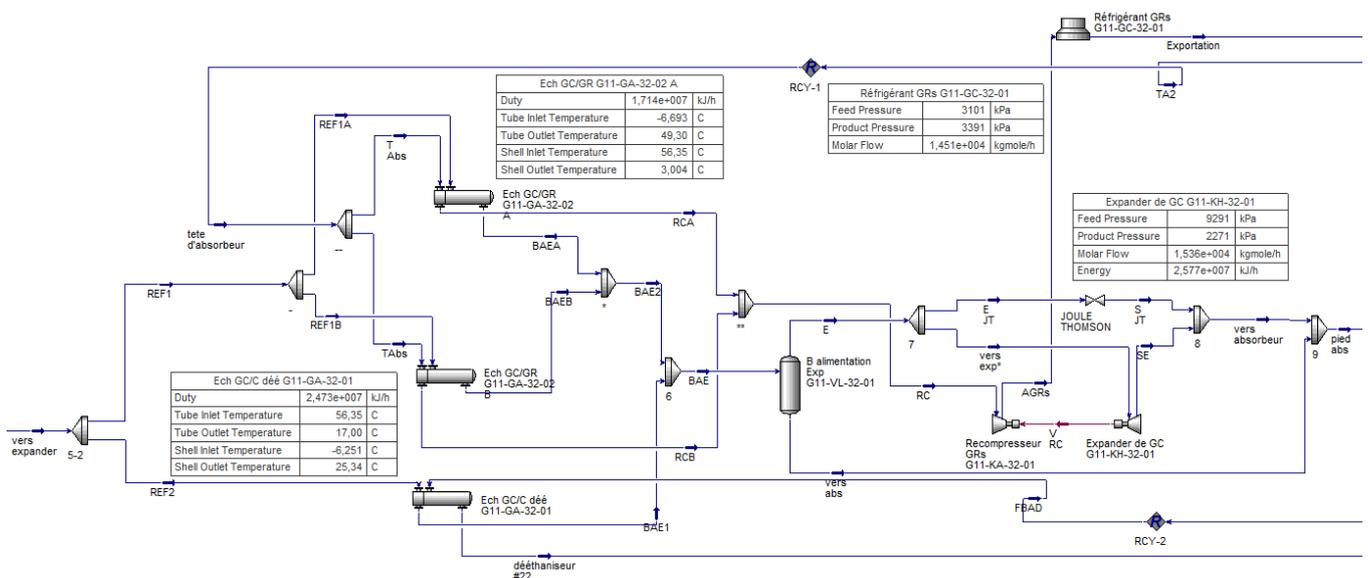


Figure III.6.2.1.PFD de la simulation de Section refroidissement

III.6.2.i Comparaison et interprétation des résultats :

Nous allons présenter un tableau comparatif des paramètres thermodynamiques à la sortie des échangeurs de chaleur de cette section ainsi que celles d'expander :

Paramètres	Sortie Tube		
	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)
T (°C)	49,3	49,3	0,00
P(barg)	20,7	21,71	4,88
Densité (kg/m ³)	17,05	17,07	0,14

Tableau III.6.2.1.Comparaison Sortie Tube de l'échangeur GC/GR

Paramètres	Sortie Calandre		
	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)
T (°C)	26,2	25,34	3,28
P(barg)	28,6	30,01	4,93
Densité (kg/m ³)	139,85	137	2,04

Tableau III.6.2.2.Comparaison Sortie Calandre de l'échangeur GC/C déé

Paramètres	Sortie Expander		
	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)
T (°C)	-41,1	-43,31	5,37
P(barg)	21,7	22,71	4,65
Densité (kg/m ³)	37,99	38,81	2,15

Tableau III.6.2.3.Comparaison Sortie Expander

Interprétation :

En examinant de près les tableaux comparatifs des paramètres thermodynamiques entre l'état réel et la simulation des échangeurs "GC/GR" (côté tube) ainsi que de l'échangeur "GC/C déé" (côté calandre), on constate une erreur négligeable, inférieure à 5 %. De même, les éléments thermodynamiques de l'expander affichent une erreur inférieure à 6 %. Ces résultats confirment la fiabilité de notre simulation pour cette section.

Après avoir effectué plusieurs tentatives avec notre simulation, nous avons remarqué ce qui suit :

- Les équipements critiques de la section de refroidissement comprennent les échangeurs de chaleur (GC/GR et GC/C déé), l'expander qui a un impact significatif sur la section, ainsi que le compresseur et l'aéroréfrigérant, qui influent à leur tour sur la ligne d'expédition de gaz résiduel.
- Nos échangeurs sont disposés en parallèle et fonctionnent simultanément, ce qui répartit efficacement la charge entre les trois. Ainsi, l'arrêt d'un d'entre eux n'entraîne pas l'arrêt de la section, mais affecte tout de même son rendement.

- Quant à l'expander, il s'avère être un équipement particulièrement sensible pour cette section. Bien qu'il puisse être remplacé dans son rôle de détente au sein de la section cryogénique par une vanne Joule-Thomson, son importance pour l'ensemble du train (notamment en alimentant le recompresseur de gaz résiduel) reste irremplaçable.

III.6.3 Simulation de la section de dééthanisation :

La figure ci-dessous représente la simulation de la section dééthanisation :

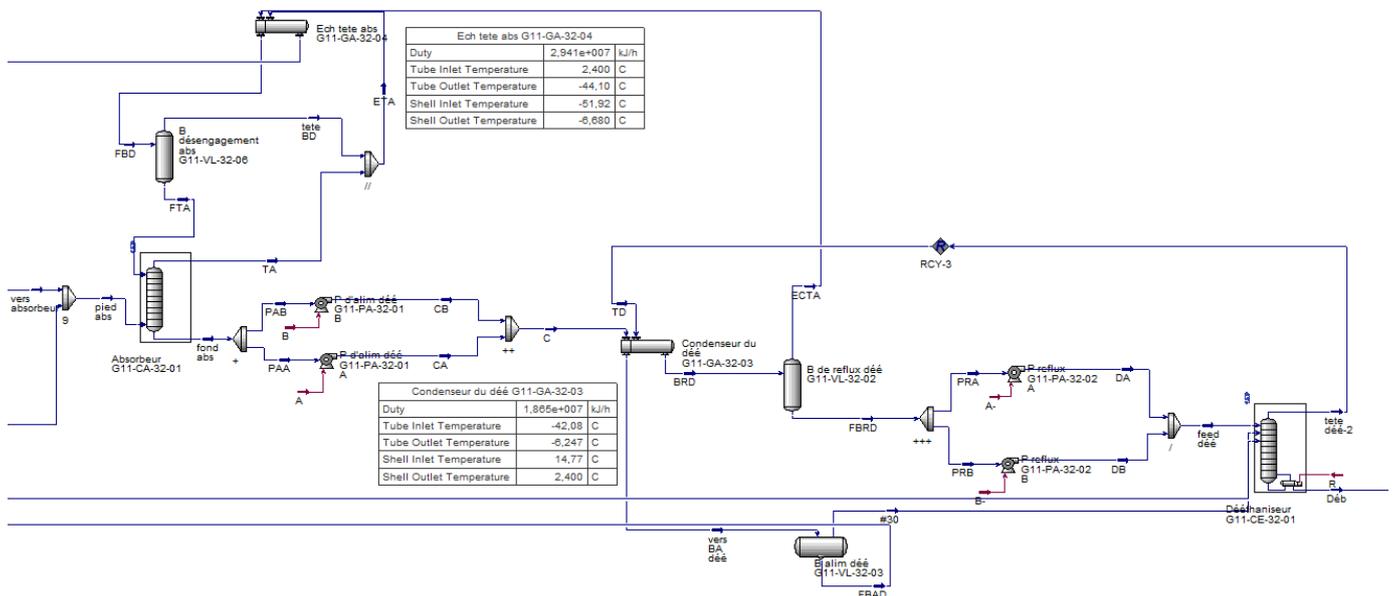


Figure III.6.3.1. PFD de la simulation de Section Dééthanisation

III.6.3.i Comparaison et interprétation des résultats :

Nous allons présenter des tableaux comparatifs des paramètres thermodynamiques ainsi que les compositions chimiques des entrées et sorties de l'absorbeur :

Constituants	Entrée Absorbeur Tête		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	0,09	0,0826	8,22
CO ₂	2,67	2,49	6,74
C ₁	21,28	20,25	4,84
C ₂	62,64	63,87	1,96
C ₃	13,32	13,3	0,15
i-C ₄	0	0	0
n-C ₄	0	0	0
i-C ₅	0	0	0
n-C ₅	0	0	0
n-C ₆	0	0	0
n-C ₇	0	0	0
n-C ₈	0	0	0
H ₂ O	0	0	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.3.1. Comparaison Entrée Tête Absorbeur

Constituants	Entrée Absorbeur Fond		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	2,52	2,57	1,98
CO ₂	1,78	1,82	2,25
C ₁	66,41	66,49	0,12
C ₂	17,49	17,99	2,86
C ₃	7,87	7,4	5,97
i-C ₄	0,71	0,67	5,63
n-C ₄	2,06	1,96	4,85
i-C ₅	0,38	0,36	5,26
n-C ₅	0,5	0,47	6,00
n-C ₆	0,22	0,21	4,55
n-C ₇	0,06	0,06	0
n-C ₈	0	0	0
H ₂ O	0	0	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.3.2. Comparaison Entrée Fond Absorbeur

Constituants	Sortie Tête Absorbeur		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	2,93	2,98	1,71
CO ₂	1,99	2,00	0,50
C ₁	74,86	74,73	0,17
C ₂	19,34	19,46	0,62
C ₃	0,88	0,83	5,68
i-C ₄	0	0,00	0
n-C ₅	0	0,00	0
i-C ₅	0	0,00	0
n-C ₆	0	0,00	0
n-C ₇	0	0,00	0
n-C ₈	0	0,00	0
H ₂ O	0	0,00	0
Total	100	100,00	-

Tableau III.6.3.3. Comparaison Sortie Tête Absorbeur

Constituants	Sortie Fond Absorbeur		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	0,21	0,2	4,76
CO ₂	1,73	1,64	5,20
C ₁	20,1	20,71	3,03
C ₂	33,6	35,67	6,16
C ₃	31	29,14	6,00
i-C ₄	2,38	2,29	3,78
n-C ₅	7,1	6,67	6,06
i-C ₅	1,29	1,2	6,98
n-C ₆	1,65	1,59	3,64
n-C ₇	0,76	0,72	5,26
n-C ₈	0,18	0,17	5,56
H ₂ O	0	0	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.3.4. Comparaison Sortie Fond Absorbeur

Paramètres	Entrée Absorbteur Tête			Entrée Absorbteur Fond		
	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)
T (°C)	-44,2	-44,10	0,23	-41,1	-41,93	2,02
P(barg)	21,5	22,71	5,63	21,7	22,71	4,65
Densité (kg/m³)	455,8	471,80	3,51	37,99	39,72	4,55

Tableau III.6.3.5.Comparaison Entrées Absorbteur

Paramètres	Sortie Tête Absorbteur			Sortie Fond Absorbteur		
	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)
T (°C)	-52	-52,3	0,53	-45,53	-43,15	5,23
P(barg)	21,5	22,8	6,05	22	23,02	4,64
Densité (kg/m³)	29,93	30,52	1,98	520,4	527,1	1,29

Tableau III.6.3.6.Comparaison Sorties Absorbteur

Maintenant, nous allons présenter des tableaux comparatifs des paramètres thermodynamiques ainsi que les compositions chimiques des entrées et sorties du dééthaniseur :

Constituants	Entrée Dééthaniseur plateau 22		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	0,098	0,104	6,12
CO ₂	1,48	1,53	3,38
C ₁	15,24	16,3	6,96
C ₂	34,65	36,58	5,57
C ₃	34,12	31,5	7,68
i-C ₄	2,43	2,51	3,29
n-C ₄	7,84	7,35	6,25
i-C ₅	1,41	1,33	5,67
n-C ₅	1,84	1,76	4,35
n-C ₆	0,74	0,789	6,62
n-C ₇	0,18	0,193	7,22
n-C ₈	0	0	0
H ₂ O	0	0	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.3.7.Comparaison Dééthaniseur Plateau 22

Constituants	Entrée Dééthaniseur plateau 30		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	1,17	1,11	5,13
CO ₂	2,59	2,6	0,39
C ₁	57,19	60,74	6,21
C ₂	30,11	27,41	8,97
C ₃	8,01	7,27	9,24
i-C ₄	0,27	0,25	7,41
n-C ₄	0,58	0,53	8,62
i-C ₅	0,046	0,042	8,70
n-C ₅	0,045	0,042	6,67
n-C ₆	0,007	0,006	9,09
n-C ₇	0	0	0
n-C ₈	0	0	0
H ₂ O	0	0	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.3.8.Comparaison Dééthaniseur Plateau 30

Constituants	Entrée Dééthaniseur plateau 41		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	0,03	0,03	0,00
CO ₂	1,27	1,29	1,57
C ₁	8,52	8,42	1,17
C ₂	57,13	58,63	2,63
C ₃	33,04	31,62	4,30
i-C ₄	0	0	0
n-C ₄	0	0	0
i-C ₅	0	0	0
n-C ₅	0	0	0
n-C ₆	0	0	0
n-C ₇	0	0	0
n-C ₈	0	0	0
H ₂ O	0	0	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.3.9.Comparaison Dééthaniseur Plateau 41

Paramètres	Entrée Dééthaneur plateau 22			Entrée Dééthaneur plateau 30			Entrée Dééthaneur plateau 41		
	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)
T (°C)	26,5	25,34	4,39	-6,1	-6,25	2,41	2,6	2,8	7,69
P(barg)	28,6	30,01	4,93	30,2	32,41	7,32	29,8	32,01	7,42
Densité (kg/m ³)	125,3	136,96	9,31	40,76	43,08	5,68	436,8	434	0,64

Tableau III.6.3.10.Comparaison Entrées Dééthaneur

Paramètres	Sortie Tête Dééthaneur			Sortie Fond Dééthaneur		
	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)
T (°C)	14,21	14,68	3,31	94,6	94,6	0,00
P(barg)	28	29,01	3,61	28,3	29,31	3,57
Densité (kg/m ³)	48,65	49,71	2,18	407,4	407,25	0,04

Tableau III.6.3.11.Comparaison Sorties Dééthaneur

Interprétation :

Les éléments choisis pour mener une étude comparative de la section de dééthanisation sont l'absorbeur (entrées et sorties), et le dééthaneur (comprenant les entrées des différents plateaux : 22, 30 et 41 ainsi que ses sorties), en tenant compte de la composition chimique et des paramètres thermodynamiques tels que la température, la pression et la densité. Nous avons remarqué que l'erreur reste inférieure à 10 %, ce qui confirme la validité de notre simulation et rend nos résultats acceptables.

Après avoir examiné plusieurs scénarios, nous avons conclu que :

- Selon les résultats, il est évident que l'absorbeur et le dééthaneur jouent un rôle essentiel dans notre section. Leur performance est directement influencée par les conditions de température et de pression à leur entrée. De plus, leur conception, qu'il s'agisse du type, du nombre, des diamètres des plateaux, voire même de la hauteur de la colonne, rend leur sensibilité extrême. Tout arrêt ou dysfonctionnement de ces équipements peut avoir un impact significatif sur l'ensemble du système.

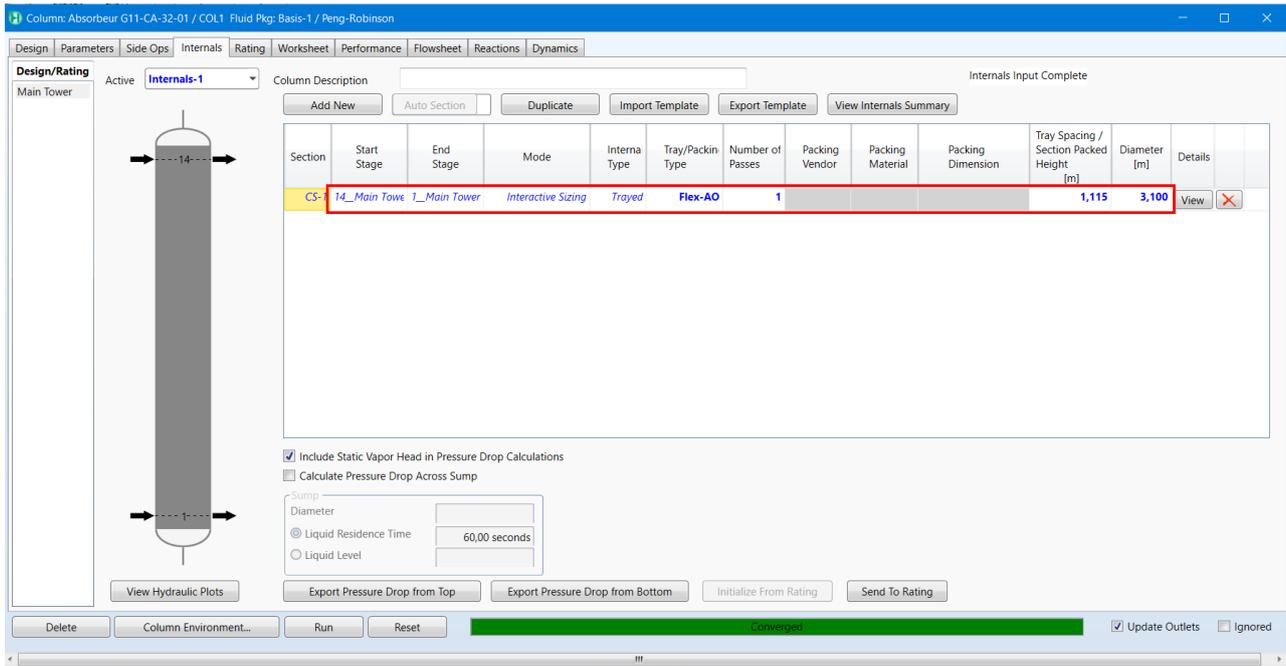


Figure III.6.3.2. Les Dimensions de l'Absorbeur

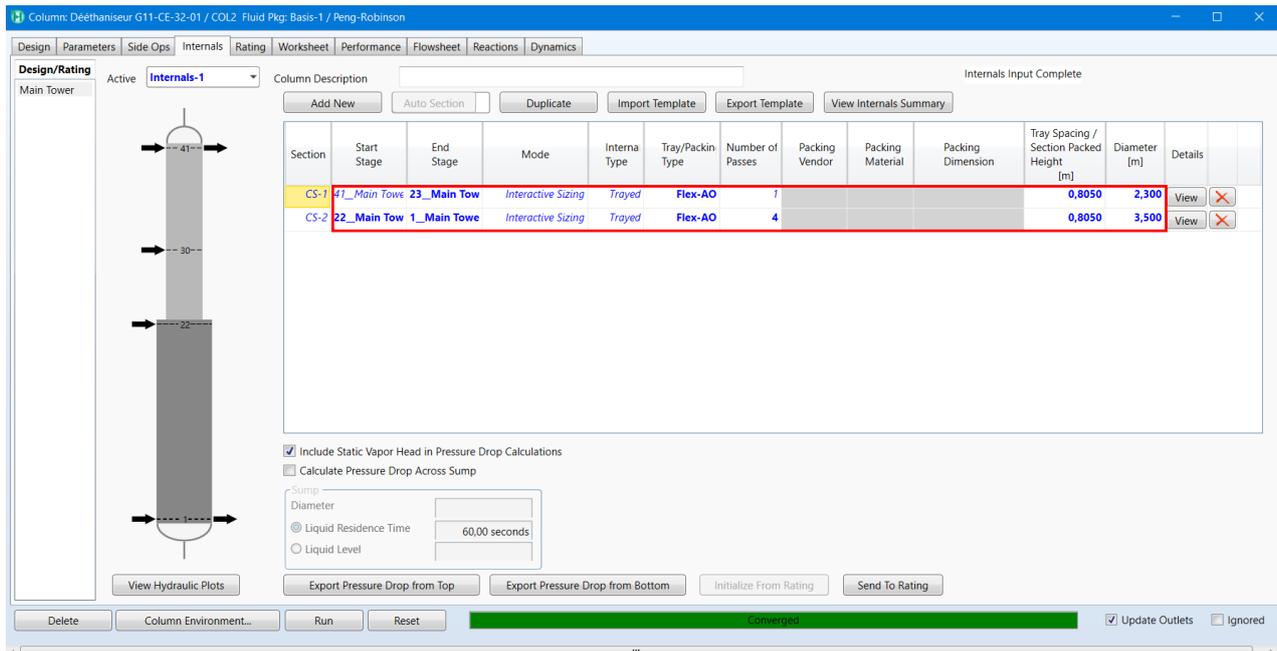


Figure III.6.3.3. Les Dimensions du Dééthaneur

- Outre cela, le reste des équipements, y compris l'échangeur de tête de l'absorbeur, le condenseur et même les ballons (ballon d'alimentation et ballon de reflux du dééthaneur, ainsi que le ballon de désengagement de l'absorbeur), revêt une importance essentielle pour l'unité et le bon fonctionnement de notre usine. L'arrêt de l'un d'eux entraîne le dysfonctionnement de tout le système.
- De même, les pompes, qu'il s'agisse des pompes d'alimentation du dééthaneur ou des pompes de reflux, sont installées en parallèle pour renforcer l'assurance du

fonctionnement du système, car elles jouent un rôle indispensable dans l'accomplissement de la mission de la dééthanisation et dans le fonctionnement général de l'usine.

III.6.4 Simulation de la section de débutanisation :

La figure ci-dessous représente la simulation de la section de débutanisation :

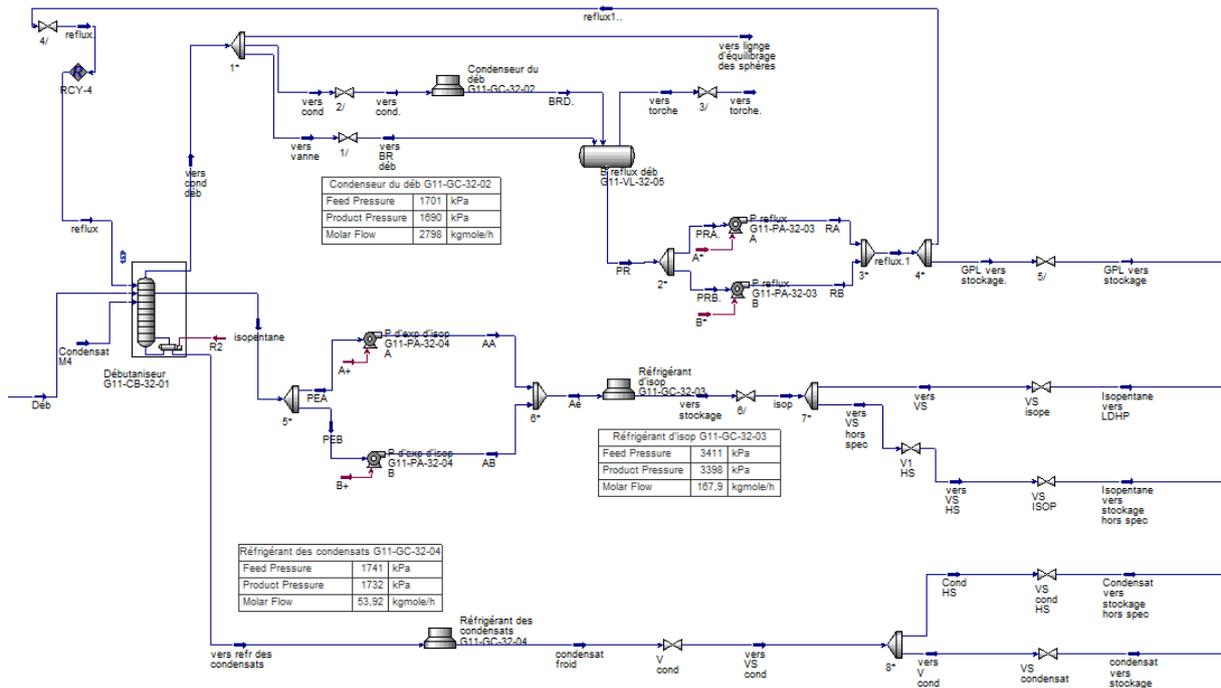


Figure III.6.4.1. PFD de la simulation de Section Débutanisation

III.6.4.i Comparaison et interprétation des résultats :

Nous allons présenter des tableaux comparatifs des paramètres thermodynamiques ainsi que les compositions chimiques des entrées et sorties de débutaniseur :

Constituants	Entrée Débutaniseur plateau 43		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	0	0	0
CO ₂	0	0	0
C ₁	0	0	0
C ₂	1,43	1,3	9,09
C ₃	63,5	60,96	4,00
i-C ₄	8,42	8,92	5,94
n-C ₄	26,2	28,64	9,31
i-C ₅	0,17	0,16	5,88
n-C ₅	0	0	0
n-C ₆	0	0	0
n-C ₇	0	0	0
n-C ₈	0	0	0
H ₂ O	0	0	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.4.1. Comparaison Débutaniseur Plateau 43

Constituants	Entrée Débutaniseur plateau 28		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	0	0	0
CO ₂	0	0	0
C ₁	0	0	0
C ₂	2,6	2,5	3,85
C ₃	62,45	62,52	0,11
i-C ₄	6,31	6,33	0,32
n-C ₄	18,32	18,44	0,66
i-C ₅	3,38	3,32	1,78
n-C ₅	4,45	4,41	0,90
n-C ₆	1,960	1,99	1,53
n-C ₇	0,53	0,48	9,43
n-C ₈	0	0	0
H ₂ O	0	0	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.4.2. Comparaison Débutaniseur Plateau 28

Constituants	Entrée Débutaniseur plateau 4		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	0	0	0
CO ₂	0	0	0
C ₁	0	0	0
C ₂	0	0	0
C ₃	0	0	0
i-C ₄	0	0	0
n-C ₄	0	0	0
i-C ₅	21,71	21,71	0
n-C ₅	41,44	41,44	0
n-C ₆	26,8	26,8	0
n-C ₇	7,45	7,45	0
n-C ₈	2,38	2,38	0
H ₂ O	0,22	0,22	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.4.3. Comparaison Débutaniseur Plateau 04

Constituants	Sortie Tête Débutaniseur		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	0	0	0
CO ₂	0	0	0
C ₁	0	0	0
C ₂	2,32	2,12	8,62
C ₃	66,5	65,79	1,07
i-C ₄	7,68	7,89	2,73
n-C ₄	22,93	24,04	4,84
i-C ₅	0,13	0,12	7,69
n-C ₅	0,03	0,029	3,33
n-C ₆	0	0	0
n-C ₇	0	0	0
n-C ₈	0	0	0
H ₂ O	0,01	0,01	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.4.4. Comparaison Sortie Tête Débutaniseur

Constituants	Sortie Débutaniseur plateau 8		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	0	0	0
CO ₂	0	0	0
C ₁	0	0	0
C ₂	0	0	0
C ₃	0	0	0
i-C ₄	0,03	0,029	3,33
n-C ₄	2,1	2,2	4,76
i-C ₅	38,87	36,9	5,07
n-C ₅	48,06	50,9	5,91
n-C ₆	9,91	9,34	5,75
n-C ₇	0,75	0,69	8,00
n-C ₈	0	0	0
H ₂ O	0	0	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.4.5. Comparaison Sortie débutaniseur plateau 8

Constituants	Sortie Fond Débutaniseur		
	Cas riche 2010	Simulé	Erreur (%)
	Composition molaire (%)		
N ₂	0	0	0
CO ₂	0	0	0
C ₁	0	0	0
C ₂	0	0	0
C ₃	0	0	0
i-C ₄	0	0	0
n-C ₄	0,02	0,02	4,76
i-C ₅	6,56	6,36	3,05
n-C ₅	15,44	15,9	2,98
n-C ₆	55,27	56,4	2,04
n-C ₇	20,62	19,3	6,40
n-C ₈	2,06	1,94	5,83
H ₂ O	0	0	0
Total	100	100	-

Tableau III.6.4.6. Comparaison Sortie Fond Débutaniseur

Paramètres	Entrée Débutaniseur plateau 43			Entrée Débutaniseur plateau 28			Entrée Débutaniseur plateau 4		
	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)
T (°C)	61,6	64,36	4,48	94,6	94,60	0,00	60	60	0,00
P(barg)	20,9	21,41	2,44	28,3	29,31	3,57	18,3	19,31	5,52
Densité (kg/m ³)	455,5	464,57	1,99	407,4	407,25	0,04	607,5	606,27	0,20

Tableau III.6.4.7. Comparaison Entrées Débutaniseur

Paramètres	Sortie Tête Débutaniseur			Sortie Débutaniseur plateau 8			Sortie Fond Débutaniseur		
	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)	Cas 2010	Simulé	Erreur (%)
T (°C)	61,6	64,36	4,48	155	153,72	0,82	186	193,27	3,91
P(barg)	20,8	21,41	2,93	17,1	17,34	1,40	16,4	17,41	6,16
Densité (kg/m ³)	455,5	464,57	1,99	443,25	452,33	2,05	437,23	447,86	2,43

Tableau III.6.4.8. Comparaison Sortie Débutaniseur

Maintenant, nous allons présenter des tableaux comparatifs des spécification thermodynamiques des produit finaux :

Propriétés	Condensat		
	Spécification usine	Simulé	Erreur (%)
Température (°C)	60	60	0,00
Poids moléculaire	87,39	86,3	1,25
Densité (kg/m ³)	628,1	624,7	0,54
Débit (kgmol/h)	59,87	53,92	9,93

Tableau III.6.4.9. Comparaison des Spécifications de Condensat

Propriétés	GPL		
	Spécification usine	Simulé	Erreur (%)
Température (°C)	61,6	64,39	4,53
Poids moléculaire	47,61	49,23	3,40
Densité (kg/m ³)	455,5	464,5	1,98
Débit (kgmol/h)	626.94	564.2	10,00

Tableau III.6.4.10. Comparaison des Spécifications de GPL

Propriétés	Isopentane		
	Spécification usine	Simulé	Erreur (%)
Température (°C)	60	60	0,00
Poids moléculaire	74,61	73,34	1,70
Densité (kg/m ³)	598,1	591,4	1,12
Débit (kgmol/h)	170	167.9	1,23

Tableau III.6.4.11. Comparaison des Spécifications de Isopentane

Interprétation :

Selon l'analyse de la section de débutanisation, notre comparaison s'est concentrée sur les entrées des différents plateaux (43, 28 et 8), ainsi que sur les sorties du débutaniseur. Nous avons pris en compte la composition chimique, les paramètres thermodynamiques tels que la pression, la température, la densité et le débit, ainsi que les spécifications des produits finaux (GPL, condensat et isopentane). Un taux d'erreur acceptable, ne dépassant pas 8 %, confirme la validité de notre simulation.

Après avoir examiné plusieurs scénarios, nous avons conclu que :

- Notre élément critique dans la section Débutanisation est sans conteste le débutaniseur. Il est extrêmement sensible et est influencé par une multitude de paramètres, tels que les dimensions des plateaux (avec des diamètres de 2.2 m et 3.2 m), leur type (plateau flexible à clapet) et leur nombre, ainsi que la hauteur de la colonne (35.35 m). Tout arrêt de cet équipement entraînera un dysfonctionnement de toute l'unité de traitement ZCINA, affectant sa production de GPL, de condensat et d'isopentane. La disponibilité de cet équipement est donc cruciale non seulement pour la section, mais pour l'ensemble de l'usine.

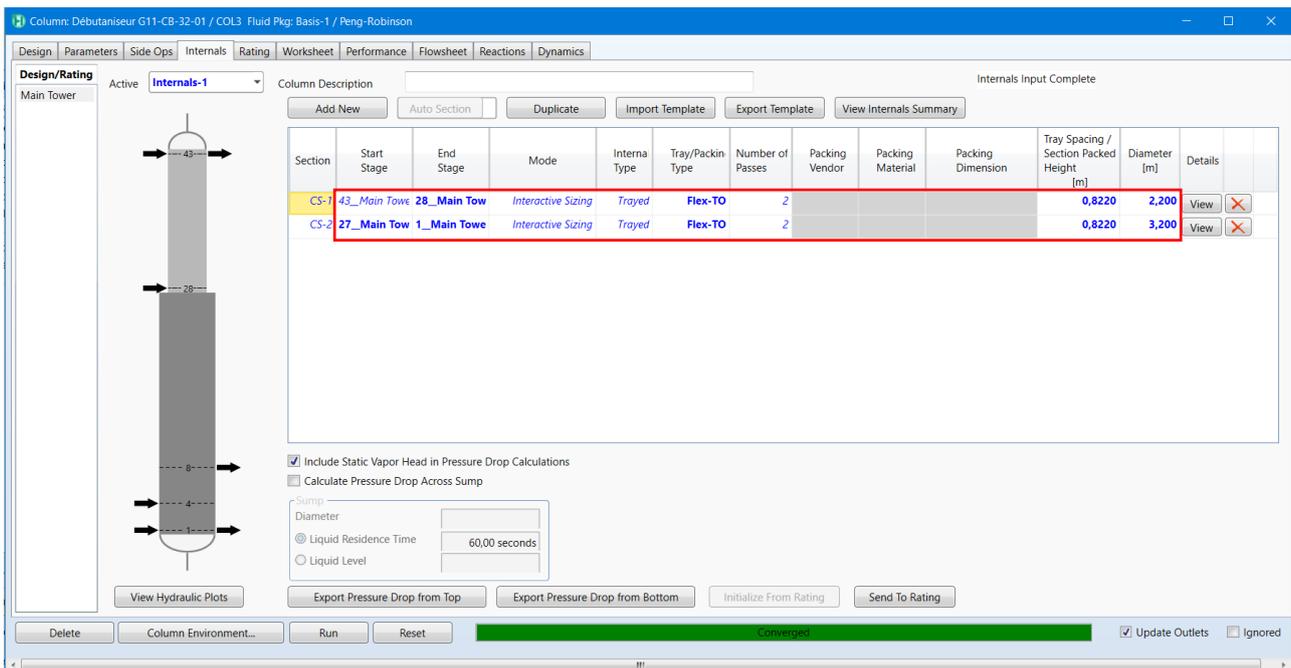


Figure III.6.4.2. Les Dimensions du Débutaniseur

- Tout le reste des équipements de l'unité de débutanisation est soigneusement installé pour maximiser la valeur de nos produits et répondre aux spécifications économiques et commerciales. Cela inclut le ballon de reflux du débutaniseur, les pompes installées en parallèle pour améliorer la fiabilité de la section (pompes de reflux, pompes d'expédition d'isopentane), ainsi que les aéroréfrigérants et les vannes : tous jouent un rôle essentiel dans la stabilisation de ces produits en vue de leur stockage, renforçant ainsi la fiabilité du processus de travail et l'adaptabilité aux exigences spécifiques mentionnées.

III.6.5 Simulation de la ligne d'export du gaz résiduel :

La figure ci-dessous représente la simulation de la ligne d'export du gaz résiduel :

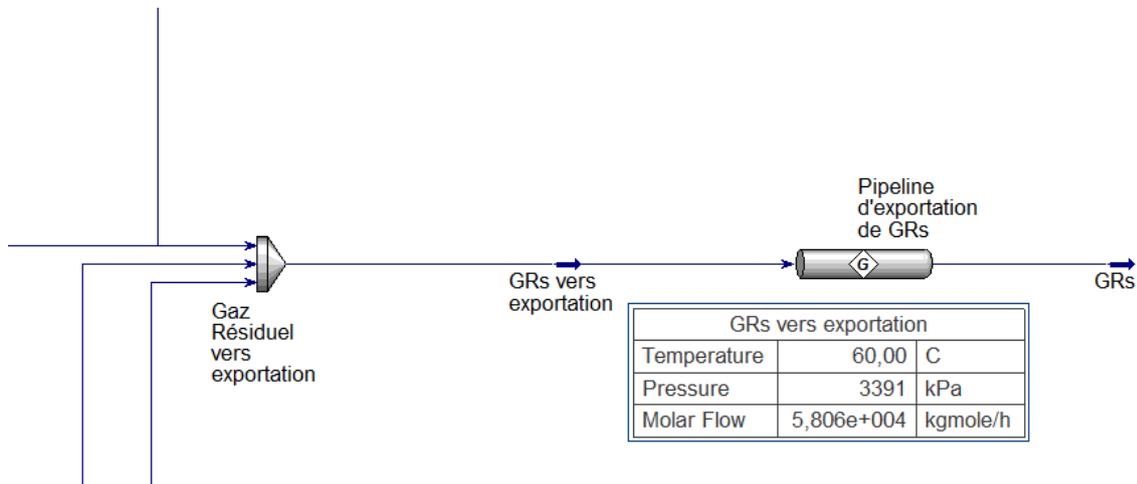


Figure III.6.5.1. Simulation de la Ligne d'Export du Gaz Résiduel

III.6.5.i Comparaison et interprétation des résultats :

Nous allons présenter un tableau comparatif des paramètres thermodynamiques du gaz résiduel transporté qui est considéré comme un produit fini :

Propriétés	Gas résiduel		
	Spécification usine	Simulé	Erreur (%)
Température (°C)	59,8	60	0,33
Poids moléculaire	19,93	19,99	0,30
Densité (kg/m³)	25,31	26,33	4,03
Débit (kgmol/h)	59036,29	58059,28	1,65

Tableau III.6.5.1. Comparaison des Spécifications de Gaz Résiduel

L'objectif de cette section est d'aborder l'aspect du transport et de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques telles que la présence d'eau, le condensat et les formations d'hydrates. Ces aspects seront illustrés dans les courbes suivantes :

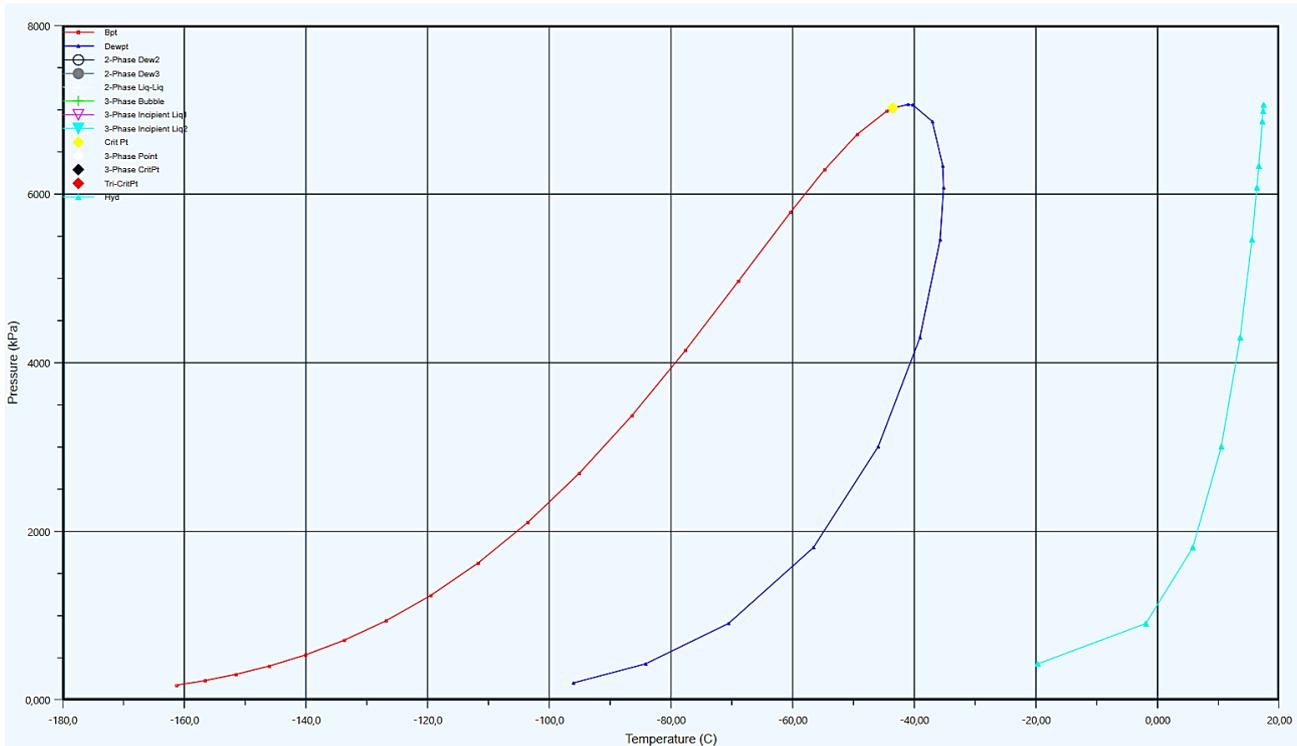


Figure III.6.5.2. Enveloppe de Phase et Courbe de Formation d'Hydrates

Interprétation :

Pour cette partie de la ligne d'export de gaz résiduel, notre tableau comparatif se concentre sur les paramètres thermodynamiques tels que la pression, la température, la densité et le débit. Il est remarquable que notre marge d'erreur soit inférieure à 5 %, ce qui est considéré comme acceptable, et confirme ainsi la validité des résultats de notre simulation.

Selon les courbes présentées ci-dessus, nous pouvons observer ce qui suit :

- Nos courbes sont tracées en fonction de la pression et de la température, représentant l'enveloppe de phase de notre gaz résiduel (principalement composé de C1 à 74,35 % et de C2). De plus, une courbe d'hydrate est présente, mais elle est notablement éloignée de notre enveloppe de phase, comme la plage de pressions et de températures du gaz dans la conduite est à droite de cette courbe cela indique qu'il n'y a pas de risque de formation d'hydrate. De plus, la présence d'eau est négligeable, vu la bonne fonction de déshydratation lors du traitement de notre gaz d'alimentation.
- Notre point de fonctionnement ($T = 60$, $P = 33,90$ bar) se situe dans la phase vapeur à droite de l'enveloppe de phase, ce qui confirme l'absence de condensat. Cela signifie qu'il y a eu une bonne extraction de liquide dans l'unité de débutanisation et un bon dégazolinage dans l'unité de dééthanisation, ce qui donne comme résultat des produits conformes aux spécifications commerciales.

III.7 Conclusion :

L'ensemble des résultats de notre simulation nous a permis de comprendre en détail le fonctionnement et les performances de chaque section de notre usine de traitement GPL ZCINA, avec une erreur inférieure à 10 % pour toutes les unités, confirmant ainsi la validité de la simulation. Cette étude approfondie de chaque processus et d'équipement a mis en évidence leur rôle crucial dans la production de produits finaux conformes aux spécifications commerciales. Nous avons identifié les éléments critiques de chaque section, tels que le débutaniseur, l'absorbeur, le dééthaniseur et les équipements associés, dont le bon fonctionnement est essentiel pour assurer la fiabilité et la disponibilité de l'ensemble de l'usine GPL ZCINA, ce qui constituera une base solide pour notre étude RAM dans le prochain chapitre.

De plus, notre analyse détaillée des paramètres thermodynamiques, de la composition chimique et des courbes de phase a révélé une absence de formation d'hydrate et de présence d'eau, ainsi qu'une absence de condensat dans notre gaz résiduel. Cela témoigne de l'efficacité de nos processus de déshydratation, de dééthanisation et de débutanisation.

En conclusion, notre simulation a validé la performance de notre usine de traitement de gaz, démontrant sa capacité à produire des produits finaux de haute qualité tout en respectant les normes et les spécifications requises.

***Chapitre IV : Analyse RAM : Fiabilité,
Disponibilité et Maintenabilité des
Systèmes***

IV.1 Introduction :

L'analyse de la performance de toute usine nécessite une étude approfondie de tous les équipements afin de garantir la qualité, d'aider à la prise de décision en matière de sécurité et d'assurer la sûreté de fonctionnement. Cette évaluation est réalisée grâce à l'analyse RAM, qui se traduit par fiabilité, disponibilité et maintenabilité. Dans ce chapitre, nous examinerons chacun de ces aspects en détail, jusqu'à ce que nous atteignons l'objectif final de cette analyse.

IV.2 Approche globale de l'analyse RAM :

La compréhension fondamentale des concepts de fiabilité, de disponibilité et de maintenabilité (et, dans une large mesure, la compréhension empirique de la sécurité) a principalement porté sur des techniques statistiques pour la mesure et/ou l'estimation de divers paramètres liés à chacun de ces concepts, sur la base de données obtenues. Ces données peuvent être obtenues à partir d'observations actuelles ou d'expériences passées, et peuvent être complètes, incomplètes ou censurées. Les données censurées proviennent de l'arrêt des observations expérimentales avant la conclusion finale des résultats. Ces techniques statistiques s'appuient essentiellement sur la théorie des probabilités.[7]

La signification habituelle du terme "fiabilité" est la suivante : "la probabilité du bon fonctionnement". Pour évaluer la fiabilité, l'approche est basée sur les données d'essai disponibles concernant les succès ou les échecs, ou les observations sur le terrain relatives aux performances dans des conditions réelles ou simulées. Comme ces résultats peuvent varier, la fiabilité estimée peut-être différente d'un ensemble de données à l'autre, même s'il n'y a pas de changements substantiels dans les caractéristiques physiques de l'élément évalué. Ainsi, l'estimation de la fiabilité s'accompagne également d'une mesure de l'importance ou de la précision de l'estimation, appelée "niveau de certitude".[7]

Cette mesure dépend de la quantité de données disponibles et/ou des résultats observés. Les données sont normalement régies par une certaine distribution de probabilité paramétrique. Cela signifie que les données peuvent être interprétées par l'une ou l'autre formule mathématique représentant une distribution de probabilité statistique spécifique qui appartient à une famille de distributions ne différant les unes des autres que par les valeurs de leurs paramètres. [7]

Cette famille de distributions peut être regroupée de la manière suivante :

- Distribution bêta
- Distribution binomiale
- Distribution log-normale
- Distribution exponentielle (Poisson)
- Distribution de Weibull.

Les techniques d'estimation permettant de déterminer le niveau de certitude lié à une évaluation de la fiabilité basée sur ces distributions de probabilités sont les méthodes du maximum de vraisemblance et de l'estimation bayésienne.

Contrairement à la fiabilité, qui est généralement évaluée pour les systèmes non réparables, c'est-à-dire sans tenir compte du fait qu'un système peut ou non être réparé et remis en service après une défaillance, la disponibilité et la maintenabilité sont principalement évaluées pour les systèmes réparables. La disponibilité et la maintenabilité ont toutes deux les dimensions d'une distribution de probabilité comprise entre zéro et un, et sont basées sur des phénomènes dépendant du temps. La différence entre les deux est que la disponibilité est une mesure de l'efficacité totale des performances, généralement des systèmes, tandis que la maintenabilité est une mesure de l'efficacité des performances pendant la période de remise en service, généralement des équipements.

IV.3 Le but d'une analyse RAM :

Chaque recherche, quelle que soit sa discipline, vise des objectifs précis et cherche à résoudre des problèmes spécifiques. Dans le cadre de notre étude RAM (Reliability, Availability, Maintainability) menée dans le domaine de l'ingénierie et plus particulièrement dans l'industrie des processus [GPL ZCINA], nous avons accompli plusieurs objectifs majeurs.

Tout d'abord, notre priorité était d'évaluer les risques potentiels associés au fonctionnement de nos équipements et de prédire les éventuelles pannes. Cette analyse approfondie nous permet de mieux appréhender les facteurs pouvant compromettre la disponibilité de nos unités de production.

En parallèle, notre objectif était d'améliorer la disponibilité opérationnelle de nos équipements en anticipant toute dégradation éventuelle. Cela inclut notamment la gestion des phénomènes tels que l'usure, la dégradation des matériaux et le vieillissement des composants. En adoptant une approche anticipative, nous pouvons prévenir les pannes et garantir un fonctionnement optimal de nos installations.

Enfin, l'intégration de l'analyse RAM avec la gestion des risques et le retour d'expérience renforce notre capacité à anticiper et à gérer les problèmes potentiels de manière préventive. En apprenant des incidents passés et en identifiant les zones à risque, nous sommes en mesure de prendre des mesures préventives pour minimiser les impacts négatifs sur nos opérations.

Donc, une étude RAM est un outil essentiel pour assurer la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité de nos équipements, tout en optimisant les coûts opérationnels et en renforçant notre capacité à gérer les risques de manière anticipative.

IV.4 Fiabilité :

« Aptitudes d'un bien à accomplir une **fonction requise**, dans des **conditions d'utilisation** données, durant un **intervalle de temps** donné ».

$$R(t) = P\{S \text{ non défaillant sue l'intervalle}[0, t]\}$$

C'est la probabilité qu'un système S fonctionne sans subir de panne sur l'intervalle [0, t].

- **Fonction requise** : ou accomplir une mission ou rendre le service attendu. La définition de la fonction requise implique un seuil d'admissibilité en deçà duquel la fonction n'est plus remplie.
- **Conditions d'utilisation** : définition des conditions d'usage, c'est-à-dire l'environnement et ses variations, les contraintes mécaniques, chimiques, physiques, etc. Il est évident que le même matériel placé dans 2 contextes de fonctionnement différents n'aura pas la même fiabilité.
- **Période de temps donnée** : définition de la durée de mission T en unités d'usage. [8]

Fonction de densité de probabilité :

$$f(t, MTBF) = \frac{1}{MTBF} e^{-\frac{t}{MTBF}} \quad IV.4.1$$

Fiabilité :

$$R(t, MTBF) = e^{-\frac{t}{MTBF}} \quad IV.4.2$$

Ou, si elle est exprimée en termes de taux de défaillance, λ :

$$f(t, \lambda) = \lambda e^{-\lambda t} \quad IV.4.3$$

$$R(t, \lambda) = e^{-\lambda t} \quad IV.4.4$$

Avec :

$f(t, \lambda)$: fonction de densité de probabilité du processus de Poisson en termes de temps t et de taux de défaillance λ .

$R(t, \lambda)$: fiabilité du processus de Poisson.

t : durée de fonctionnement dans la "période de vie utile".

$MTBF$: temps moyen entre les défaillances.

$\lambda = \frac{1}{MTBF}$: le taux de défaillance du composant.

Cette équation est applicable pour déterminer la fiabilité d'un équipement, tant que celui-ci se trouve dans sa "période de vie utile".

Remarque :

« Le temps de bon fonctionnement MTBF reflète la fiabilité », revient à dire qu'améliorer la fiabilité, c'est augmenter le temps de bon fonctionnement, c'est-à-dire diminuer le taux de panne $\lambda(t)$.

Généralement, améliorer la fiabilité, c'est faire une bonne maintenance préventive. [8]

IV.4.1 Taux de défaillance λ :

La fonction de taux de hasard est une représentation du modèle de taux de défaillance du rapport entre une fonction de densité de probabilité particulière et sa fonction de distribution cumulative ou sa fonction de fiabilité. [7]

Pour les variables aléatoires continues, la fonction de distribution cumulative est définie par :

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(x) dx \quad IV.4.5$$

$f(x)$: fonction de densité de probabilité de la distribution de la valeur x sur l'intervalle $-\infty$ à t .

Dans le cas où $t \rightarrow \infty$, la fonction de distribution cumulative est l'unité :

$$F(\infty) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx \quad IV.4.6$$

La fonction de fiabilité sur une période de temps t est la différence entre la fonction de distribution cumulative où $t \rightarrow \infty$ et la fonction de distribution cumulative sur la période de temps t ou, alternativement, la soustraction de la fonction de distribution cumulative de défaillance sur une période de temps t à l'unité.

$$R(t) = 1 - F(t) \quad IV.4.7$$

La fonction de taux de hasard est alors définie par :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad IV.4.8$$

Ou bien :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad \text{IV.4.9}$$

Ainsi, la fonction de taux de hasard peut être utilisée pour représenter la courbe en baignoire de plusieurs fonctions de densité de probabilité, en particulier la fonction exponentielle ou de Poisson. [7]

Une courbe en baignoire est divisée en trois régions (région I, région II et région III) :

- **La région I** est connue sous le nom de région de rodage, région de débogage, région de jeunesse ou région de rodage. Au cours de cette période ou région, le taux de défaillance de l'article diminue en raison des défaillances qui se produisent.
- **La région II** est appelée "période de vie utile", au cours de laquelle le taux de défaillance de l'équipement reste constant.
- **La région III** est connue sous le nom de "période d'usure" ou "vieillesse", au cours de laquelle le taux de risque de défaillance augmente en raison des défaillances qui se manifestent dans cette période de vie. [9]

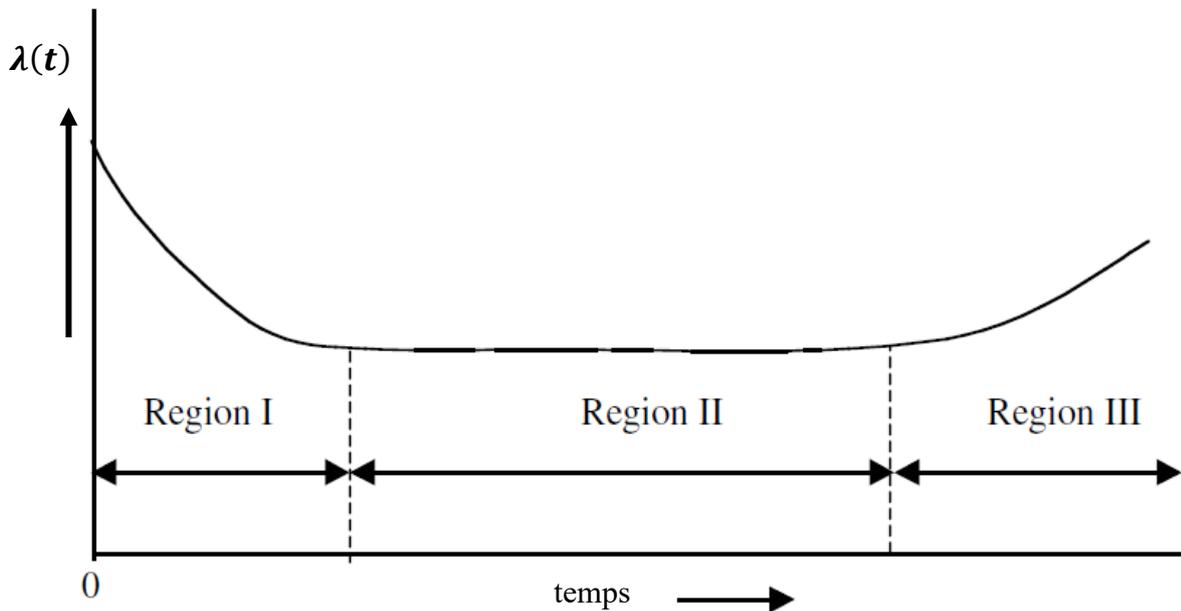


Figure IV.4.1.1. Courbe en baignoire

Ci-dessous est un tableau qui présente les raisons des défaillances qui se manifestent dans chaque période de vie d'un équipement : [9]

Période de vie	Jeunesse	Vie utile	Vieillessement
Raisons de défaillance	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaises méthodes de fabrication. • Mauvais processus. • Mauvais contrôle de la qualité. • Mauvais débogage. • Erreur humaine. • Matériaux et exécution de qualité inférieure. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faibles facteurs de sécurité. • Défauts indétectables. • Erreurs humaines. • Abus. • Stress aléatoire plus élevé que prévu. • Défaillances naturelles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Usure par frottement. • Mauvais entretien. • Pratiques de révision incorrectes. • Corrosion et fluage. • Durée de vie courte. • Usure causée par le vieillissement.

Tableau IV.4.1.1. Raisons de l'apparition de défaillances dans les trois régions de la courbe en baignoires

IV.4.2 Diagramme de fiabilité (RBD : Reliability block Diagram) :

La fiabilité d'un système et la détermination de la fiabilité se compliquent encore lorsque l'on considère la fiabilité d'un système plutôt que celle d'un équipement. Un système est constitué de plusieurs composants dont un ou plusieurs doivent fonctionner pour que le système fonctionne. Les composants d'un système peuvent être connectés en série ou en parallèle. [7]

IV.4.2.i Configuration d'un systèmes en série :

La fiabilité du système dans une configuration en série est inférieure à la fiabilité de chaque composant. Cette fiabilité du système fait appel à une loi de probabilité, appelée loi de multiplication. Cette loi stipule que : [7]

- Si deux éléments ou plus sont indépendants, la probabilité que tous les éléments se produisent est donnée par le produit de leurs probabilités respectives de survenance individuelle.

$$R_{série} = \prod_{i=1}^n R_{component\ i} \quad \forall_i = 1, \dots, n \quad IV.4.10$$

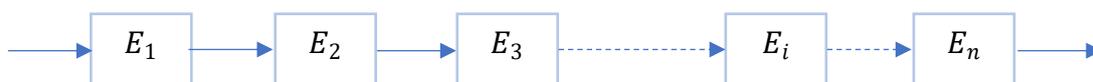


Figure IV.4.2.1. Diagramme de Configuration d'un système en série

- Cas général pour n composants montés en séries :

$$R_S = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n \quad IV.4.11$$

- Si les composants sont identiques avec la même fiabilité R alors :

$$R_S = R^n \quad IV.4.12$$

- Si les taux de défaillances sont constants $\lambda_A, \lambda_B, \dots, \lambda_n$ alors la fiabilité :

$$R_S = (e^{-\lambda_1 t}) \times (e^{-\lambda_2 t}) \times \dots \times (e^{-\lambda_n t}) \quad IV.4.13$$

$$MTBF_S = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n} \quad IV.4.14$$

- Si les n composants sont identiques $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n$:

$$R_S = (e^{-n \lambda_1 t}) \quad IV.4.15$$

$$MTBF_S = \frac{1}{n \lambda_1} \quad IV.4.16$$

IV.4.2.ii Systèmes à configuration en parallèle :

La fiabilité du système d'une configuration parallèle est supérieure à celle de chaque composant individuel. La fiabilité de ce système fait appel à une loi de probabilité, appelée loi générale d'addition. Cette loi stipule que : [7]

- Si deux événements peuvent se produire simultanément (c'est-à-dire en parallèle), la probabilité que l'un ou l'autre ou les deux se produisent est donnée par la somme des probabilités individuelles d'occurrence moins le produit des probabilités individuelles.

$$R_{\text{parallèle}} = \sum_{i=1}^2 R_i - \prod_{i=1}^2 R_i \quad IV.4.17$$

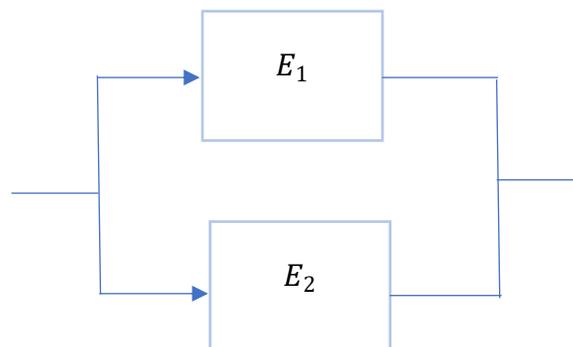


Figure IV.4.2.2. Diagramme de Configuration d'un système en parallèle

- Cas général pour n composants montés en parallèle :

$$R_S = 1 - (1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n) \quad IV.4.18$$

- Cas de n composants identiques en parallèle $R_1 = R_2 = \dots = R_n$:

$$R_S = 1 - (1 - R_1)^n \quad IV.4.19$$

Le système est fonctionnel tant que l'un des composants ou les deux fonctionnent. Un point important illustré est le fait que la configuration du système peut avoir un impact majeur sur la fiabilité globale du système.

Ainsi, dans les installations techniques comportant des intégrations complexes de configurations de systèmes, l'impact global sur la fiabilité est une préoccupation essentielle dans la conception technique. Les configurations de systèmes parallèles (ou redondants) sont souvent utilisées lorsqu'une fiabilité élevée est requise, car le résultat global de la fiabilité est supérieur à la fiabilité de chaque composant individuel. L'un des concepts de base de l'analyse de fiabilité est le fait que tous les systèmes, quelle que soit leur complexité, peuvent être ramenés à un simple système en série.[7]

IV.4.2.iii Configuration de systèmes combinés :

La configuration combinée de systèmes, comprenant à la fois des systèmes en série et en parallèle avec deux composants chacun, est conçue pour réduire les coûts de production et améliorer la qualité des produits. Cependant, malgré ces avantages, il est important de noter que la fiabilité globale de ces systèmes combinés est inférieure à celle de chaque composant pris individuellement, ainsi qu'à celle de chacun des systèmes de configuration à deux composants qui le composent.

En général, plus les systèmes deviennent complexes dans leur configuration de composants individuels, plus leur fiabilité diminue. De même, à mesure que l'intégration des systèmes devient plus complexe, la probabilité de manque de fiabilité augmente. [7]

La fiabilité des systèmes combinés peut être calculée comme suit :

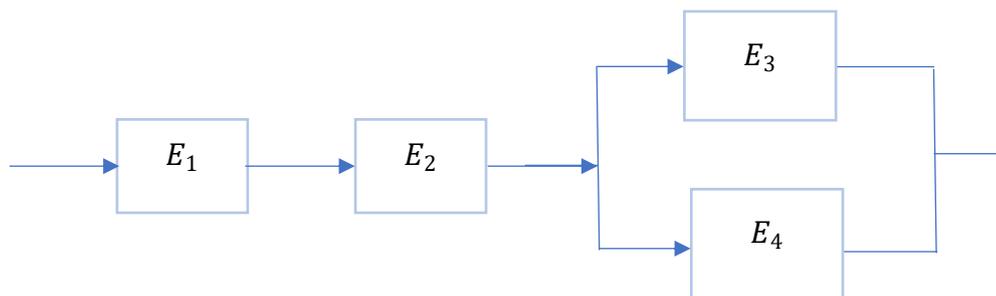


Figure IV.4.2.3. Diagramme de Configuration d'un système complexe

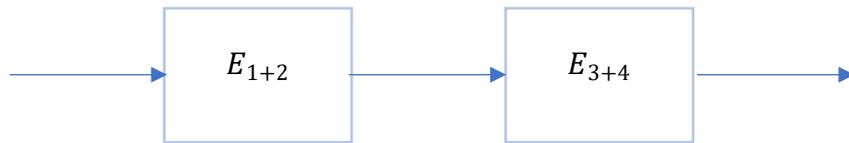


Figure IV.4.2.4. Diagramme de Configuration du système combiné

Avec :

$$E_{1+2} = E_A \quad E_{3+4} = E_B$$

$$R_{\text{combiné}} = \prod_{i=A}^n R_i \quad \text{IV.4.20}$$

La fiabilité d'un seul composant se réfère à la probabilité que ce composant fonctionne correctement pendant une période spécifique dans des conditions données. En revanche, la fiabilité d'un système prend en compte la probabilité que l'ensemble du système fonctionne correctement pendant cette même période et dans ces mêmes conditions.

Dans le cas où les composants sont disposés en série, cela signifie que chaque composant doit fonctionner correctement pour que le système fonctionne dans son ensemble. En revanche, dans une configuration en parallèle, un seul composant opérationnel peut suffire à garantir le bon fonctionnement du système.

La fiabilité du système dépend donc de la configuration des composants et de la manière dont ils interagissent les uns avec les autres. Les lois de probabilité sont utilisées pour calculer la fiabilité du système, en prenant en compte les fiabilités individuelles de chaque composant et leur disposition dans le système. Ces calculs nécessitent une connaissance préalable des taux de défaillance des composants, obtenus à partir de tests ou de l'historique des défaillances similaires.

IV.5 Maintenabilité :

Dans des conditions données d'utilisation, les aptitudes d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

$$M(t) = P \{S \text{ est réparé sur l'intervalle } [0, t]\}$$

C'est la probabilité que la maintenance d'un système S, accomplie dans des conditions données, soit effectuée sur l'intervalle $[0, t]$ sachant qu'il est défaillant à l'instant t . [8]

L'immaintenabilité correspond à la probabilité contraire, soit :

$$\overline{M}(t) = 1 - M(t) = 1 - P(S \text{ non réparé sur la durée } [0, t])$$

Remarque :

« Le temps moyen de réparation MTTR reflète la maintenabilité », revient à dire qu'améliorer la maintenabilité, c'est minimiser les temps de réparations et par suite le taux de réparation $\mu(t)$.

IV.5.1 Taux de réparation μ :

Le taux de réparation est une mesure qui quantifie la fréquence à laquelle un équipement ou un système est soumis à des réparations ou à des interventions de maintenance pour le remettre en état de fonctionnement après une défaillance.

Un taux de réparation élevé peut indiquer une faible fiabilité ou une maintenance insuffisante, tandis qu'un taux plus faible peut suggérer une meilleure fiabilité ou des procédures de maintenance efficaces. il est défini par :

$$\mu(t) = \frac{g(t)}{1 - M(t)} \quad IV.5.1$$

Par hypothèse il est souvent considéré comme constant (cas des études de disponibilité). Dans ce cas, la répartition des temps de réparation est exponentielle, ce qui donne :

- Distribution de probabilité :

$$g(t) = \mu e^{-\mu t} \quad IV.5.2$$

- La maintenabilité :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad IV.5.3$$

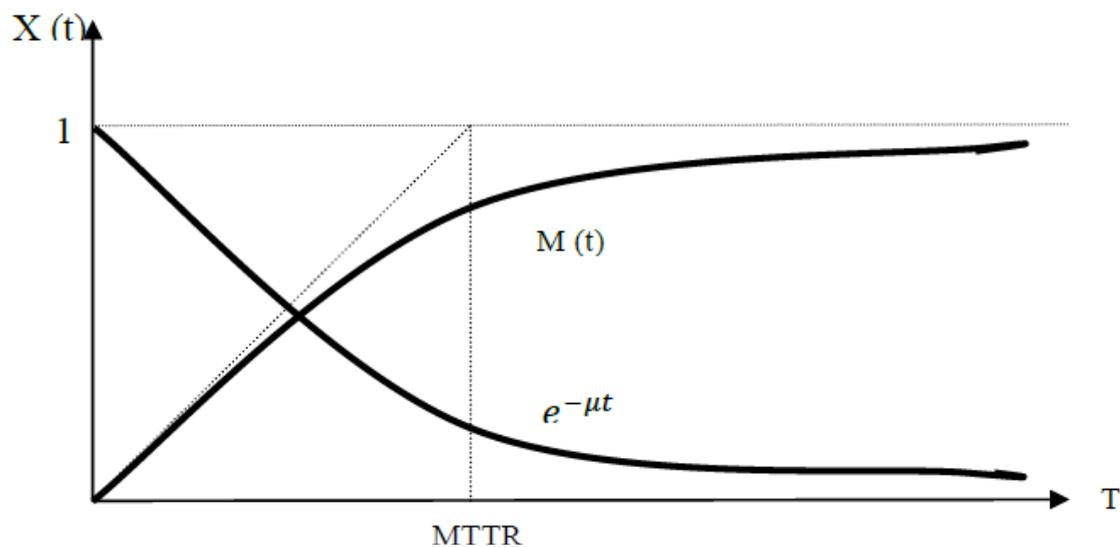


Figure IV.5.1.1. courbe de maintenabilité

Ci-dessus est un graphe qui représente le développement de la maintenabilité ainsi que sa probabilité contraire :

IV.5.2 La différence entre la maintenance et la maintenabilité :

La **maintenabilité** et la **maintenabilité** sont deux concepts étroitement liés mais distincts dans le domaine de la gestion des systèmes et équipements.

La **maintenabilité** fait référence aux actions effectuées pour conserver ou rétablir un équipement dans un état où il peut accomplir sa fonction requise. Cela inclut les réparations, les remplacements, les services et les inspections.

La **maintenabilité**, quant à elle, est une caractéristique d'un système qui décrit la facilité et la rapidité avec lesquelles il peut être maintenu ou réparé. Elle est souvent mesurée par la durée active du dépannage, c'est-à-dire le temps nécessaire pour effectuer les réparations sans compter les délais non liés à la conception du système, comme l'attente des pièces de rechange ou la disponibilité des techniciens.

En résumé, la **maintenabilité** concerne les actions pratiques de soin et de réparation, tandis que la **maintenabilité** est une propriété intrinsèque du système qui influence l'efficacité et la rapidité de ces actions de maintenance. Une bonne maintenabilité permet de réduire la durée et le coût des pannes. [10]

IV.6 La disponibilité :

Aptitudes d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise, dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens externes est assurée. [8]

$$A(t) = P \{S \text{ non défaillant sur l'instant } t\}$$

C'est la probabilité qu'un système S soit non défaillant à tout instant, lors du démarrage et durant l'intervalle [0, t], c'est pourquoi on peut conclure que la disponibilité regroupe la fiabilité et la maintenabilité et dépend de ces deux facteurs suivant cette relation :

$$A(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad IV.6.1$$

L'aptitude contraire est appelée indisponibilité et est définie par :

$$\bar{A}(t) = 1 - A(t) \quad IV.6.2$$

Remarque :

« Améliorer la disponibilité revient à dire améliorer la fiabilité et la maintenabilité », revient à dire d'augmenter le MTBF (**réduire $\lambda(t)$**) et réduire le MTTR (**réduire $\mu(t)$**).

En résumé :

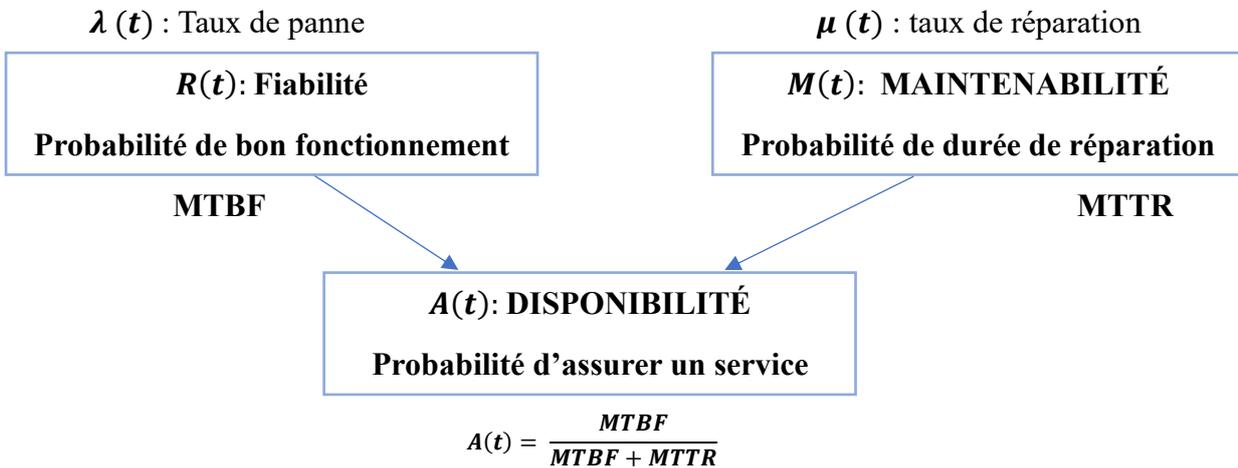


Figure IV.5.2.1. Schéma de la relations entre RAM

IV.6.1 Temps caractéristiques de la sûreté de fonctionnement :

Il est important de clarifier les termes liés aux temps caractéristiques de la sûreté de fonctionnement, tels que le **MTTF**, **MTBF**, le **MUT**, le **MDT** et le **MTTR**, car ils sont souvent mal interprétés ou confondus. Distinguer ces termes est donc essentiel pour une compréhension précise de la performance et de la disponibilité des systèmes. [8]

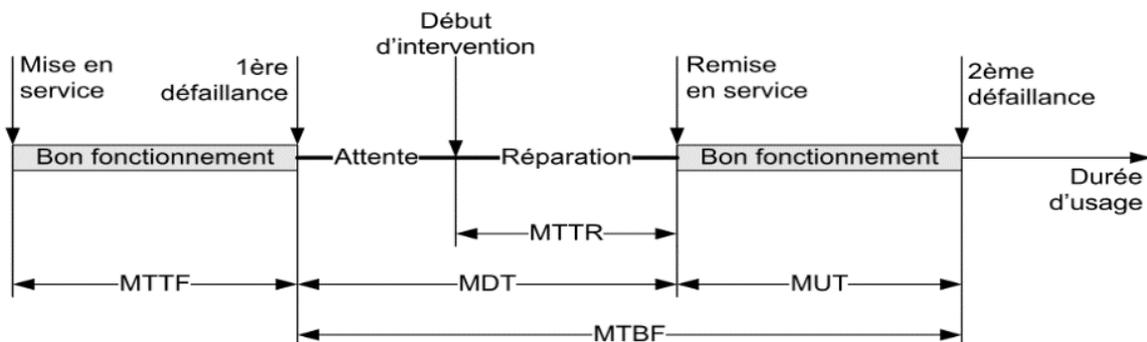


Figure IV.6.1.1. Schéma explicatif des temps caractéristiques

Les indicateurs opérationnels sont :

MTTF : (Mean Time To Failure) Durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la Première défaillance.

MTTR : (Mean Time To Repair) Durée moyenne de réparation.

MUT : (Mean Up Time) Durée moyenne de fonctionnement après réparation.

MDT : (Mean Down Time) Durée moyenne d'indisponibilité. Cette durée correspond aux phases, suivantes : la détection de la panne, la réparation de la panne et la remise en Service.

MTBF : (Mean Time Between Failure) Durée moyenne entre deux défaillances consécutives D'une entité réparée.

Remarque :

La **MTTF** est utilisée dans les systèmes **non réparables**. Dans ce cas : $MTTF = MTBF$
 Dans les systèmes **réparables**, **MTTF** est un **indicateur de qualité**. Le premier **TTF** est à Intégrer à la collecte des **TBF** (temps de bon fonctionnement).

IV.6.2 Analyse de la disponibilité des systèmes simples réparables :

IV.6.2.i Configuration en série :

La défaillance d'un élément entraîne la défaillance de l'ensemble du système et qui est calculée par le produit de la disponibilité des différents éléments : [8]

$$A_s = \prod_{i=1}^n A_i \quad IV.6.3$$

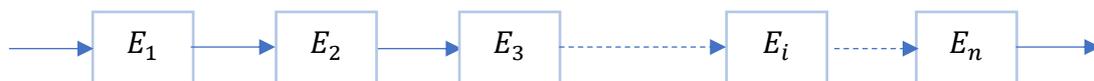


Figure IV.6.2.1. Diagramme de Configuration d'un système en série

Dans le cas où λ_i et μ_i sont **constants**, on obtient :

$$A_s = \prod_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\mu_i + \lambda_i} \quad IV.6.4$$

IV.6.2.ii Configuration en parallèle :

La disponibilité d'un système peut être augmentée en plaçant les composants en parallèle et on le calcule comme suivant : [8]

$$A_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i) \quad IV.6.5$$

$$A_s = 1 - \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i + \lambda_i} \quad IV.6.6$$

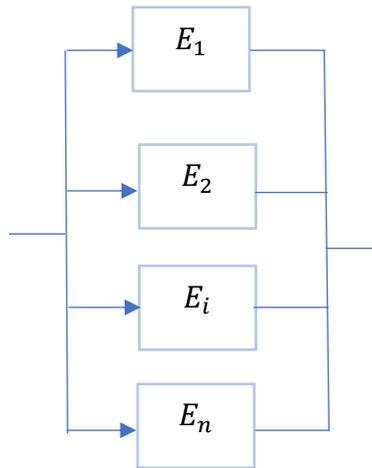


Figure IV.6.2.2. Diagramme de Configuration d'un système en parallèle

IV.6.2.iii Configuration en redondance :

On dit qu'il y a redondance lorsqu'une fonction peut être assurée par deux ou plusieurs moyens.

- **Redondance active :** Tous les éléments fonctionnent simultanément (en même temps) ; ou le système fonctionne si au moins r éléments parmi les n fonctionnent. [8]

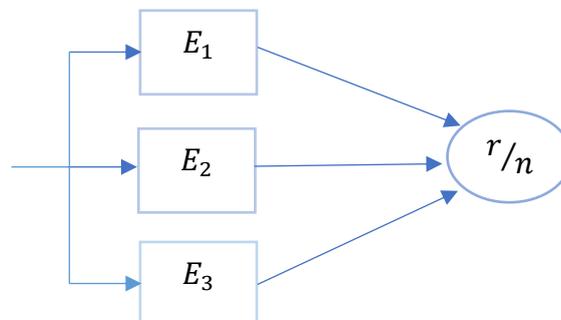


Figure IV.6.2.3. Diagramme de Configuration d'un système en Redondance active

Cette dernière est calculée suivant **la loi binomiale** des paramètres n et $q(t)$:

$$A(t) = \sum_{k=r}^n C_n^k q(t)^k (1 - q(t))^{n-k} \quad IV.6.7$$

$$A_s = \sum_{k=r}^n C_n^k A^k (1 - A)^{n-k} \quad IV.6.8$$

$$A_s = \sum_{k=r}^n \frac{C_n^k \mu^k \lambda^{n-k}}{(\lambda + \mu)^n} \quad IV.6.9$$

- **Redondance passive** : Dans cette configuration, un seul élément est opérationnel, tandis que les autres sont en attente. Cela présente l'avantage de réduire ou d'éliminer le vieillissement des éléments inactifs. Cependant, cela nécessite la mise en place d'un système de détection de panne et de commutation, ce qui peut être considéré comme un inconvénient. [8]

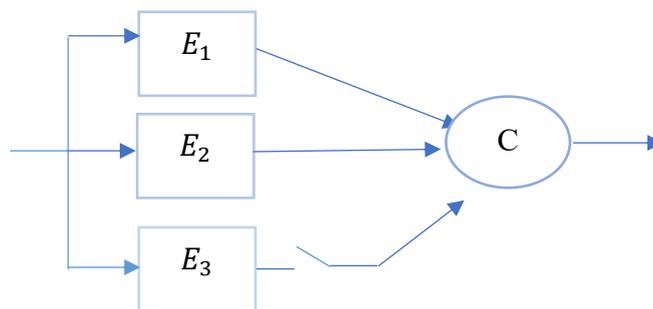


Figure IV.6.2.4. Diagramme de Configuration d'un système en Redondance passive

La redondance passive peut être :

- Redondance passive majoritaire : Certains éléments sont au repos, et qu'ils sont sollicités en cas de défaillances.
- Redondance passive k/n : La fonction est assurée si au moins k sur les n éléments sont en état de fonctionner.

Ces deux derniers peuvent être calculés selon le modèle de **YACIN** ou le graphe de **Markov**.

IV.6.3 Le modèle de YACIN :

Pour calculer les différentes situations de panne et leur probabilité plus exactement :

- Probabilité que les m éléments principaux et les l éléments de réserve soient tous disponibles :

$$\pi_0 = 1 / \left[\sum_{k=0}^1 m^k \frac{\gamma^k}{K!} + m^1 \sum_{k=l+1}^{m+1} \frac{\gamma^k}{K!} \prod_{s=0}^{k-l-1} (m-s) \right] \quad IV.6.10$$

avec : $\gamma = \frac{\lambda}{\mu}$

- Probabilité que parmi les $m + 1$ éléments, il y ait k éléments défectueux :

$$\pi_k = \begin{cases} m^k \frac{\gamma^k}{k!} \pi_0 \rightarrow k \leq 1 \\ m^1 \frac{\gamma^k}{K!} \prod_{s=0}^{k-l-1} (m-s) \pi_0 \rightarrow k > 1 \end{cases} \quad IV.6.11$$

- Probabilité d'avoir m éléments disponibles :

$$P_0 = \sum m^k \frac{\gamma^k}{K!} \pi_0 \quad IV.6.12$$

- Probabilité d'avoir $m - j$ éléments disponibles :

$$P_j = m^1 \frac{\gamma^k}{K!} \prod_{s=0}^{k-l-1} (m-s) \pi_0 \quad IV.6.13$$

Pour un système $(m + l)$ on utilise les graphes de Markov pour déterminer la fiabilité en rendant l'état de panne absorbant.

IV.6.4 Graphe des états-graphe de Markov :

La modélisation markovienne est adaptée à la représentation d'assemblages présentant des modes de défaillance et de réparation dépendants. Elle permet également de modéliser des systèmes multi-états et des défaillances de cause commune sans difficulté conceptuelle.

Pour formuler un ensemble d'équations de Markov, les règles associées aux probabilités de transition sont les suivantes :

- La probabilité de plus d'une transition dans l'intervalle de temps Δt d'un état à l'état suivant est négligeable.
- La probabilité de transition d'un état de fonctionnement à un état de défaillance (**de l'état 0 à l'état 1**) dans l'intervalle de temps Δt est donnée par $\lambda \Delta t$, où λ est le taux de défaillance constant associé aux états de Markov.
- Les cas sont indépendants les uns des autres.

Un diagramme fonctionnel de l'espace d'état du système pour sa fiabilité est représenté dans la figure ci-dessous. « Le diagramme fonctionnel représente **l'état transitoire** d'un système, avec une transition du système **de l'état 0 à l'état 1**. Un état est transitoire s'il existe une probabilité absolue qu'un système ne revienne pas à cet état. »

- La probabilité de transition de l'état de défaillance du système à l'état de fonctionnement du système (**de l'état 1 à l'état 0**) est donnée par $\mu \Delta t$, où Δt est un intervalle de temps fini et μ est le taux de réparation constant ou le taux de transition. [7]

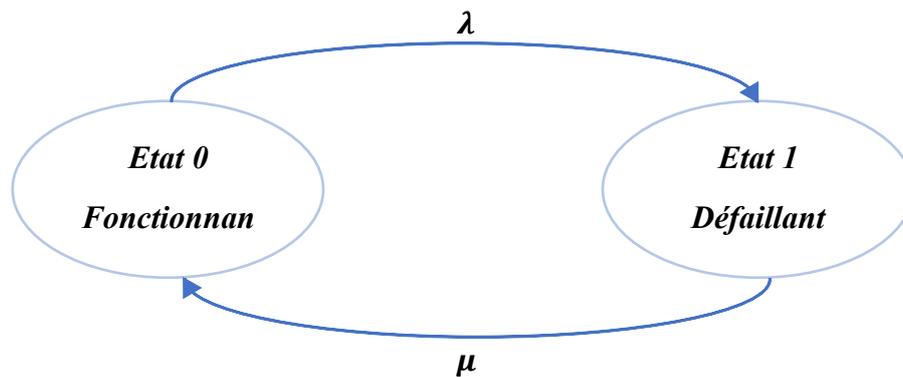


Figure IV.6.4.1. Diagramme de l'état transitoire d'un système

Lorsque les taux de passage d'un état à un autre demeurent constants, le système est considéré comme markovien, et le schéma représentant les différents états est généralement désigné sous le nom de graphe de Markov.

En plus des taux de transition entre les états, une boucle est ajoutée à chaque sommet pour indiquer la probabilité de demeurer dans cet état pendant un intervalle de temps fini Δt .

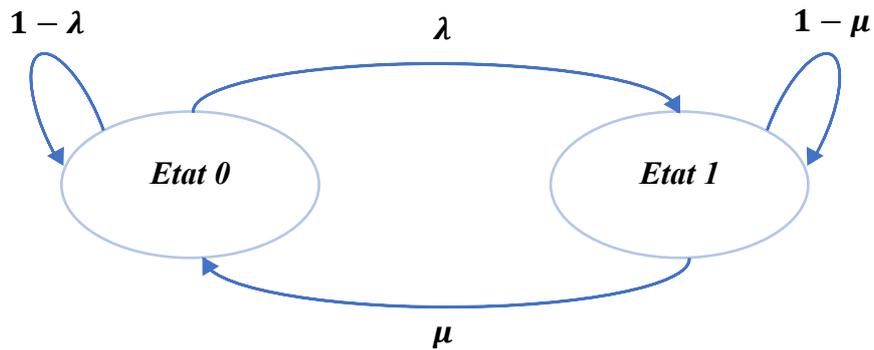


Figure IV.6.4.2. Diagramme de l'état transitoire d'un système

Le graphe de Markov est une représentation du système qui peut être exprimée par une matrice appelée matrice des taux de transition. Cette matrice offre la possibilité de formuler un système d'équations différentielles, lequel peut être résolu efficacement grâce à diverses méthodes disponibles.

IV.7 Conclusion :

En conclusion, la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité représentent des aspects essentiels de la performance d'un système. La fiabilité mesure la probabilité de bon fonctionnement sur une période déterminée, la maintenabilité évalue l'efficacité des réparations, tandis que la disponibilité combine ces deux aspects en reflétant la capacité du système à être opérationnel à tout moment.

Une analyse RAM, basée sur des modèles mathématiques, s'avère indispensable pour évaluer et optimiser les performances de tout système. Ces modèles nous permettent de quantifier la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité dans diverses configurations telles que série, parallèle ou avec redondance. Grâce à une approche systémique, cela nous offre une vision complète de la performance du système, ce qui est le but de notre analyse.

Chapitre V : Modélisation de la disponibilité et de la fiabilité

V.1 Introduction :

La modélisation de l'usine de traitement du gaz implique d'abord l'établissement de son diagramme de fiabilité, suivi de la subdivision de ses composants en sections et de l'établissement de leurs propres diagrammes respectifs. Ainsi, en utilisant des modèles mathématiques, nous pouvons définir la disponibilité et la fiabilité des sous-systèmes, puis remonter à l'ensemble de l'usine selon une approche ascendante.

V.2 Approche systémique de la modélisation fonctionnelle :

L'analyse systémique d'un processus complexe comme le traitement de gaz nécessite une approche méthodique, utilisant la Structure de Décomposition du Système (SBS) et le Diagramme Fonctionnel (FBD). La SBS hiérarchise le système en sous-systèmes, assemblages et composants, qui interagissent pour assurer le fonctionnement global. En parallèle, le FBD décrit les relations fonctionnelles entre ces composants, offrant une vision claire des opérations et des interactions. Combinés au niveau le plus bas de la SBS, ils forment la Structure Fonctionnelle de Répartition des Systèmes (FSBS), synthétisant les fonctions opérationnelles et physiques ainsi que les relations fonctionnelles. Dans le contexte du traitement de gaz, la FSBS identifie les composants essentiels à chaque niveau, permettant une modélisation efficace du système. Cette approche systémique, basée sur la SBS et le FBD, permet une analyse précise et structurée des systèmes complexes.[7]

Dans l'unité GPL ZCINA, la multiplicité des sections et équipements constitue un système complexe nécessitant une analyse approfondie. Pour faciliter cette analyse, l'usine est divisée en quatre trains, chacun subdivisé en sections et, au besoin, en sous-systèmes.

V.3 Modélisation de la Disponibilité et la Fiabilité de l'usine GPL

ZCINA :

L'usine GPL ZCINA est composée de quatre trains identiques fonctionnant en parallèle, ainsi que d'autres sections illustrées dans la figure ci-dessous. Notre étude se focalise exclusivement sur ces trains, considérés comme des unités de traitement principales dans le processus global.

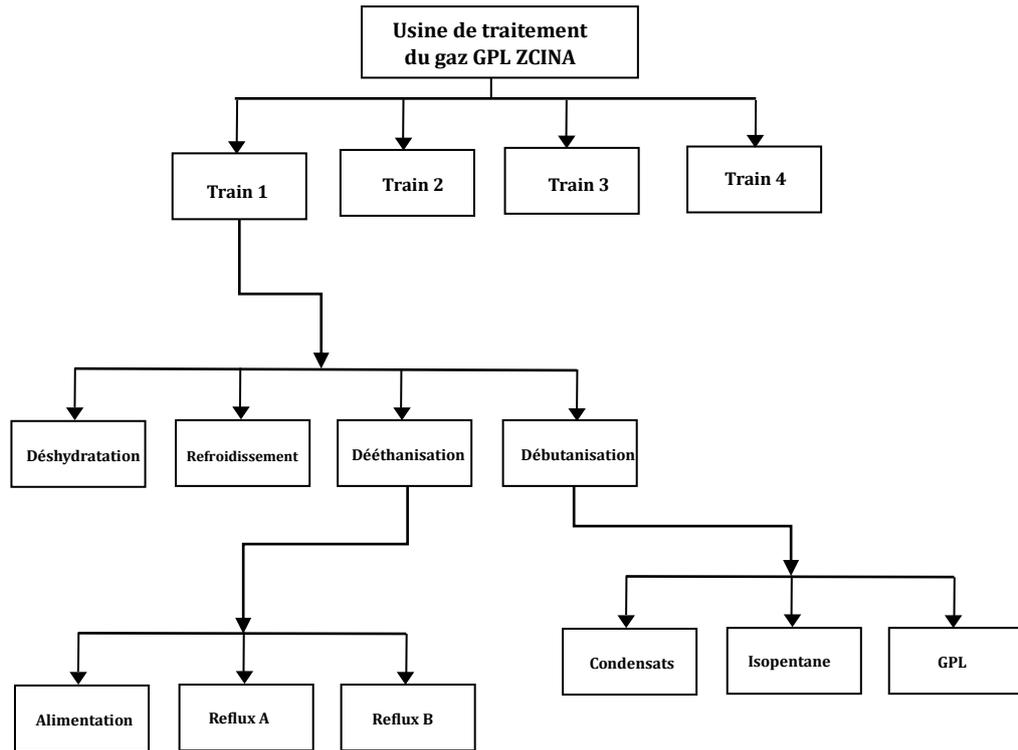


Figure V.3.2. Décomposition systématique de GPL ZCINA

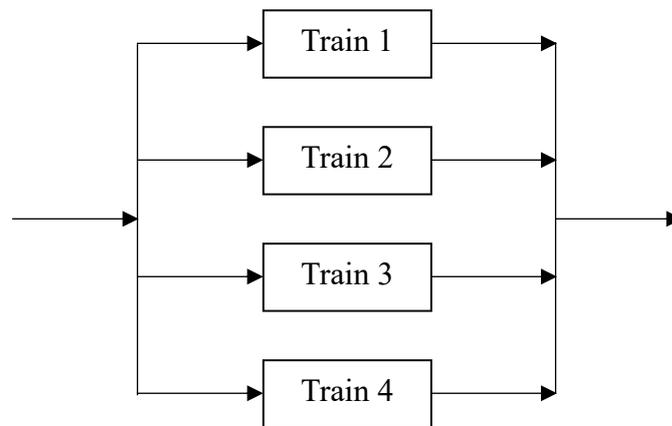


Figure V.3.1. Figure V.6.1.3. Diagramme de fiabilité des trains

D'après le diagramme, on déduit que la disponibilité de l'usine est conditionnée par la disponibilité d'au moins un train de traitement. Donc :

$$A_{usine} = 1 - \prod_{i=1}^4 (1 - A_i) = 1 - (1 - A_{train})^4 \quad V.3.1$$

$$R_{usine} = 1 - \prod_{i=1}^4 (1 - R_i) = 1 - (1 - R_{train})^4 \quad V.3.2$$

$$R_{usine} = 1 - (1 - e^{-\lambda_{train}T})^4$$

Alors :

$$\lambda_{usine} = \frac{1}{\int_0^{+\infty} R_{usine}(t).dt} = \frac{1}{\int_0^{+\infty} (1 - (1 - e^{-\lambda_{train}T})^4).dt}$$

Après intégration on trouve :

$$\lambda_{usine} = \frac{12. \lambda_{train}}{25} \quad V.3.3$$

En prenant en compte que le train est structuré en quatre sections, dont deux sont ensuite subdivisées en trois sous-systèmes chacune, on constate que le train comprend huit sous-systèmes en série.

$$A_{train} = \prod_{i=1}^8 A_i \quad V.3.4$$

$$R_{train} = \prod_{i=1}^8 R_i \quad V.3.5$$

$$\lambda_{train} = \sum_{i=1}^8 \lambda_i \quad V.3.6$$

Avec A_i, R_i, λ_i sont respectivement la disponibilité, la fiabilité et le taux de défaillance du sous-système i (**1** : Déshydratation ; **2** : Refroidissement ; **3** : Alimentation ; **4** : Reflux A ; **5** : Reflux B ; **6** : Condensats ; **7** : Isopentane ; **8** : GPL).

V.4 Modélisation de la Disponibilité et la Fiabilité de la section déshydratation :

Les équipements de la section déshydratation sont marqués comme suit :

- Filtre d'entrée des sécheurs G11-MB-24-02 ; **F₁**
- Sécheurs G11-VK-24-01 A/B/C ; **S₁ / S₂ / S₃**
- Filtres de gaz sec G11-MB-24-01 A/B ; **F_{2A} / F_{2B}**
- Four de gaz de régénération G11-UF-24-01 ; **F_r**
- Aéroréfrigérant du gaz de régénération G11-GC-24-01 ; **A**
- Ballon de séparation du gaz de régénération G11-VD-24-01 ; **B**

- Vannes ; V

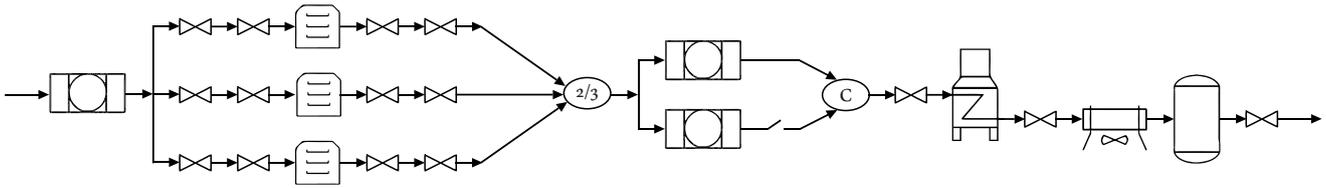


Figure V.4.1. Schéma simplifié de la Section Déshydratation

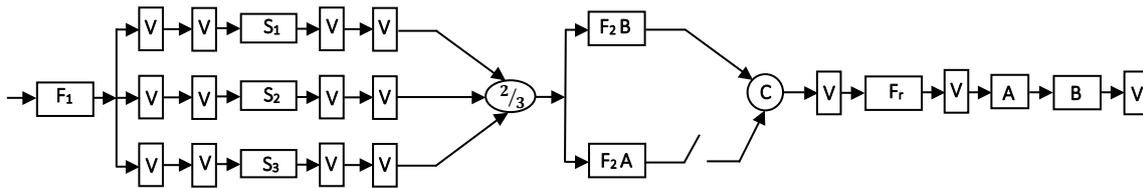


Figure V.4.2. Diagramme de fiabilité de la Section Déshydratation

La disponibilité :

$$A_S = A_{F1} \times A_{S'} \times A_{F2} \times A_V \times A_{Fr} \times A_A \times A_B \quad V.4.1$$

Avec :

$$A_V = (A_{Vanne})^3 = \left(\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V} \right)^3$$

$$A_{F1} = \frac{\mu_{F1}}{\mu_{F1} + \lambda_{F1}} \quad A_{Fr} = \frac{\mu_{Fr}}{\mu_{Fr} + \lambda_{Fr}}$$

$$A_A = \frac{\mu_A}{\mu_A + \lambda_A} \quad A_B = \frac{\mu_B}{\mu_B + \lambda_B}$$

La disponibilité d'un sécheur et ses vannes :

$$A_{S1} = A_{S2} = A_{S3} = \frac{\mu_{S1}}{\mu_{S1} + \lambda_{S1}} \cdot \left(\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V} \right)^4$$

Pour calculer la disponibilité de la redondance majoritaire (les sécheurs et leurs vannes), on utilise la loi binomiale :

$$A_{S'} = \sum_{k=2}^3 C_3^k \cdot A_{S1}^k \cdot (1 - A_{S1})^{3-k}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S'} &= C_3^2 \cdot A_{S1}^2 \cdot (1 - A_{S1}) + C_3^3 \cdot A_{S1}^3 \\
 A_{S'} &= 3A_{S1}^2 - 2A_{S1}^3 \\
 A_{S'} &= 3 \left(\frac{\mu_{S1}}{\mu_{S1} + \lambda_{S1}} \cdot \left(\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V} \right)^4 \right)^2 - 2 \left(\frac{\mu_{S1}}{\mu_{S1} + \lambda_{S1}} \cdot \left(\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V} \right)^4 \right)^3
 \end{aligned} \tag{V.4.2}$$

la disponibilité des filtres de gaz sec (F_2) est calculée à l'aide de modèle de YACIN :

- Probabilité que les deux filtres soient disponibles :

$$\pi_0 = \frac{1}{1 + \gamma + \frac{\gamma^2}{2}} = \frac{2}{1 + \gamma + \gamma^2}$$

- Probabilité qu'un seul filtre est défaillants :

$$\pi_1 = \gamma \cdot \pi_0 = \frac{2\gamma}{1 + \gamma + \gamma^2}$$

Donc la disponibilité est :

$$A_{F2} = \pi_0 + \pi_1 = \frac{2 + 2\gamma}{1 + \gamma + \gamma^2} \tag{V.4.3}$$

Avec :

$$\gamma = \frac{\lambda_{F2A}}{\mu_{F2A}}$$

La fiabilité :

$$R_S = R_{F1} \times R_{S'} \times R_{F2} \times R_V^3 \times R_{Fr} \times R_A \times R_B \tag{V.4.4}$$

Avec :

$$\begin{aligned}
 R_{F1} &= e^{-\lambda_{F1}t} & R_{Fr} &= e^{-\lambda_{Fr}t} & R_V &= e^{-\lambda_V t} \\
 R_A &= e^{-\lambda_A t} & R_B &= e^{-\lambda_B t}
 \end{aligned}$$

Pour calculer la fiabilité de la redondance majoritaire (les sècheurs et leurs vannes), on utilise l'analyse Markovienne :

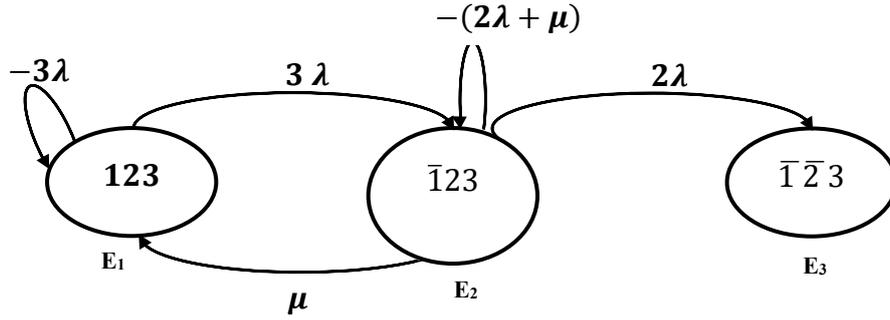


Figure V.4.3..Grphe de Markov des sècheurs et leurs vannes

$$S = \begin{bmatrix} -3\lambda & \mu & 0 \\ 3\lambda & -(2\lambda + \mu) & 0 \\ 0 & 2\lambda & 0 \end{bmatrix} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -3\lambda P_1(t) + \mu P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = 3\lambda P_1(t) - (2\lambda + \mu)P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = 2\lambda P_2(t) \end{array} \right. \quad V.4.5$$

Avec les conditions initiales : $P_1(0) = 1$; $P_2(0) = 0$; $P_3(0) = 0$

Avec :

$$\lambda = 4\lambda_V + \lambda_{S1} \quad V.4.6$$

μ est calculé à partir de la disponibilité comme suit :

$$A_{S'} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \rightarrow \mu = \frac{A_{S'} \cdot \lambda}{1 - A_{S'}}$$

$$\mu = \frac{A_{S'} \cdot (4\lambda_V + \lambda_{S1})}{1 - A_{S'}} \quad V.4.7$$

On trouve $\lambda_{S'}$, qui est le taux de défaillance de la redondance majoritaire à partir des équations différentielles :

$$\lambda_{S'} = \frac{6\lambda^2}{5\lambda + \mu} \quad V.4.8$$

La fiabilité :

$$R_{S'} = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) \quad V.4.9$$

Pour calculer la fiabilité de la redondance passive (les filtres de gaz sec F_2), on utilise l'analyse Markovienne :

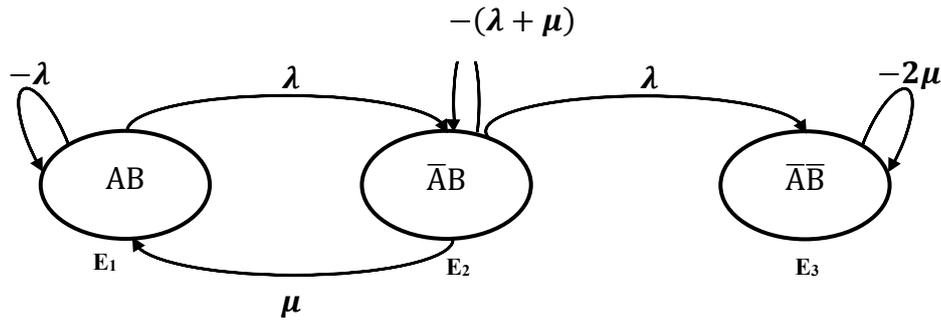


Figure V.4.4. Graphe de Markov des filtres de gaz sec

$$A = \begin{bmatrix} -\lambda & \mu & 0 \\ \lambda & -(\lambda + \mu) & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \end{bmatrix} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda P_1(t) - (\lambda + \mu) P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda P_2(t) \end{array} \right. \quad V.4.10$$

Avec :

$$\lambda = \lambda_{F2A} = \lambda_{F2B} \quad \mu = \mu_{F2A} = \mu_{F2B}$$

Le taux de défaillance de la redondance passive λ_{F2} est :

$$\lambda_{F2} = \frac{\lambda^2}{2\lambda + \mu} \quad V.4.11$$

La fiabilité :

$$R_{F2} = P_1(t) + P_2(t) \quad V.4.12$$

Le taux de défaillance de la section déshydratation est :

$$\lambda_S = \lambda_{F1} + \lambda_{Fr} + 3\lambda_V + \lambda_A + \lambda_B + \lambda_{S'} + \lambda_{F2} \quad V.4.13$$

V.5 Modélisation de la Disponibilité et la Fiabilité de la section refroidissement :

Les équipements de la section refroidissement sont marqués comme suit :

- Echangeur gaz de charge /charge du dééthaniseur G1X-GA-32-01 ; **E1**
- Echangeurs gaz de charges / gaz résiduel G1X-GA-32-02 A/B ; **E2A / E2B**

- Ballon d'alimentation de l'expandeur G1X-VL-32-01 ; **B**
- Vanne Joule-Thomson 32-FV-0X036 ; **JT**
- Expandeur de gaz de charge G1X-KH-32-01 ; **Exp**
- Compresseur de gaz résiduel G11-KA-32-01 ; **RC**
- Réfrigérant du gaz résiduel G11-GC-32-01 ; **R**
- Vannes ; **V**

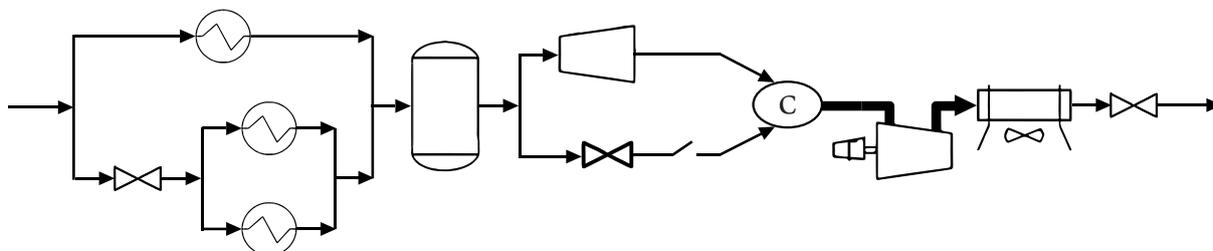


Figure V.5.1. Schéma simplifié de la Section Refroidissement

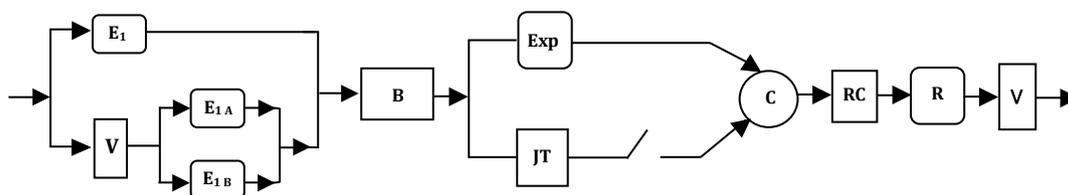


Figure V.5.2. Diagramme de fiabilité de la Section Refroidissement

La disponibilité :

$$A_{Ref} = A_E \times A_B \times A_{Det} \times A_{RC} \times A_R \times A_V \quad V.5.1$$

Avec :

$$A_V = \frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V} \quad A_R = \frac{\mu_R}{\mu_R + \lambda_R}$$

$$A_{RC} = \frac{\mu_{RC}}{\mu_{RC} + \lambda_{RC}} \quad A_B = \frac{\mu_B}{\mu_B + \lambda_B}$$

$$A_{E2} = (1 - (1 - A_{E2A})(1 - A_{E2B})). A_V$$

Comme :

$$A_{E2A} = A_{E2B} = \frac{\mu_{E2B}}{\mu_{E2B} + \lambda_{E2B}}$$

Donc :

$$A_{E2} = (1 - (1 - A_{E2A})^2). A_V \quad V.5.2$$

Et on a $A_{E1} = \frac{\mu_{E1}}{\mu_{E1} + \lambda_{E1}}$, alors :

$$A_E = 1 - (1 - A_{E2})(1 - A_{E1}) \quad V.5.3$$

On obtient A_{Det} à partir de l'analyse Markovienne :

1 : expander 2 : Joule Thomson

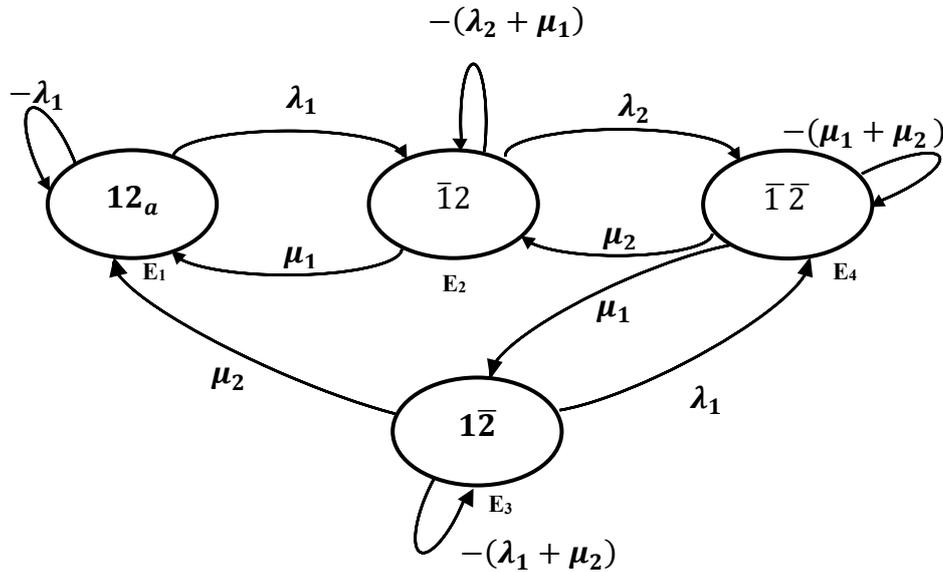


Figure V.5.3..Graphe de Markov de l'Expander & Joule Thomson

$$E = \begin{bmatrix} -\lambda_1 & \mu_1 & \mu_2 & 0 \\ \lambda_1 & -(\lambda_2 + \mu_1) & 0 & \mu_2 \\ 0 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) & \mu_1 \\ 0 & \lambda_2 & \lambda_1 & -(\mu_1 + \mu_2) \end{bmatrix}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda_1 P_1(t) + \mu_1 P_2(t) + \mu_2 P_3(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_1 P_1(t) - (\lambda_2 + \mu_1) P_2(t) + \mu_2 P_4(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \mu_2) P_3(t) + \mu_1 P_4(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_2 P_2(t) + \lambda_1 P_3(t) - (\mu_1 + \mu_2) P_4(t) \end{array} \right. \quad V.5.4$$

La disponibilité :

$$A_{Det} = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) \quad V.5.5$$

La fiabilité :

$$R_{Ref} = R_E \times R_{Det} \times R_{RC} \times R_R \times R_V \times R_B \quad V.5.6$$

Avec :

$$R_{RC} = e^{-\lambda_{RC}t} \quad R_R = e^{-\lambda_R t} \quad R_V = e^{-\lambda_V t}$$

$$R_{E1} = e^{-\lambda_{E1}t} \quad R_{E2B} = R_{E2A} = e^{-\lambda_{E2A}t} \quad R_B = e^{-\lambda_B t}$$

$$R_{E2} = R_V \cdot (1 - (1 - R_{E2A})^2) \quad V.5.7$$

$$R_E = 1 - (1 - R_{E1})(1 - R_{E2}) \quad V.5.8$$

On obtient R_{Det} à partir de l'analyse Markovienne :

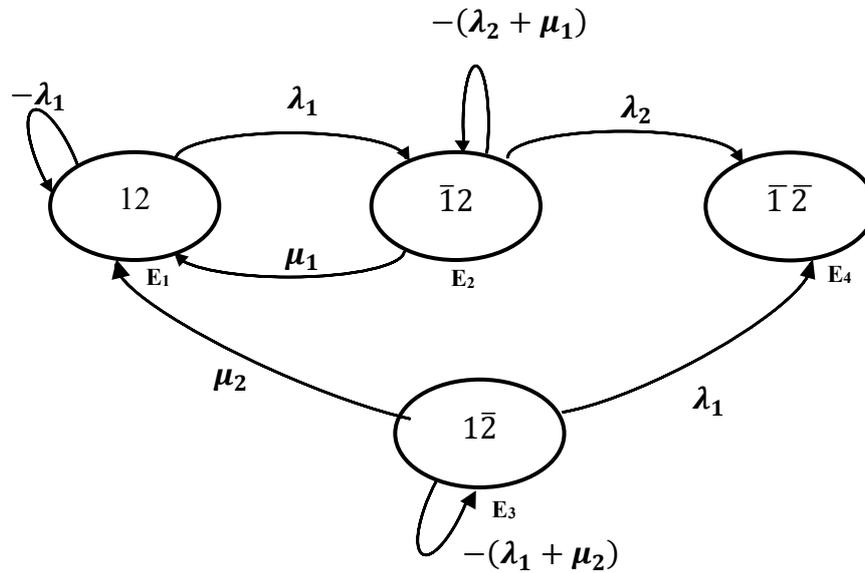


Figure V.5.4. Graphe de Markov de l'Expander & Joule Thomson (fiabilité)

$$E = \begin{bmatrix} -\lambda_1 & \mu_1 & \mu_2 & 0 \\ \lambda_1 & -(\lambda_2 + \mu_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda_1 P_1(t) + \mu_1 P_2(t) + \mu_2 P_3(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_1 P_1(t) + (\lambda_2 + \mu_1) P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \mu_2) P_3(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_2 P_2(t) + \lambda_1 P_3(t) \end{array} \right. \quad V.5.9$$

Avec :

$$\lambda_1 = \lambda_{Exp} \quad \lambda_2 = \lambda_{JT} \quad \mu_1 = \mu_{Exp} \quad \mu_2 = \mu_{JT}$$

Le taux de défaillance de la redondance passive λ_{Det} est :

$$\lambda_{Det} = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1} \quad V.5.10$$

La fiabilité :

$$R_{Det} = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) \quad V.5.11$$

Le taux de défaillance de la section refroidissement est :

$$\lambda_{Ref} = \lambda_E + \lambda_B + \lambda_V + \lambda_{Det} + \lambda_{RC} + \lambda_R \quad V.5.12$$

$$\lambda_E = \frac{1}{\int_0^{+\infty} R_E(t) \cdot dt} = \frac{1}{\int_0^{+\infty} (1 - (1 - R_{E1})(1 - R_{E2})) \cdot dt} \quad V.5.13$$

V.6 Modélisation de la Disponibilité et la Fiabilité de la section dééthanisation :

Les équipements de la section dééthanisation sont marqués comme suit :

- Absorbeur G1X-CA-32-01 ; **Abs**
- Dééthaniseur G1X-CE-32-01 ; **D1**
- Ballon de désengagement de l'absorbeur G1X-VL-32-06 ; **BD**
- Ballon d'alimentation du dééthaniseur G1X-VL-32-03 ; **BA**
- Ballon de reflux du dééthaniseur G1X-VL-32-02 ; **BR**
- Pompes d'alimentation du dééthaniseur G1X-PA-32-01 A/B ; **PA / PB**
- Pompes de reflux du dééthaniseur G1X-PA-32-02 A/B ; **P1 / P2**
- Echangeur de tête de l'absorbeur G1X-GA-32-04 ; **E**
- Condenseur du dééthaniseur G1X-GA-32-03 ; **Cond**

- Rebouilleur du dééthaniseur G1X-GA-32-05 ; **Reb**

V.6.1 Sous-système alimentation :

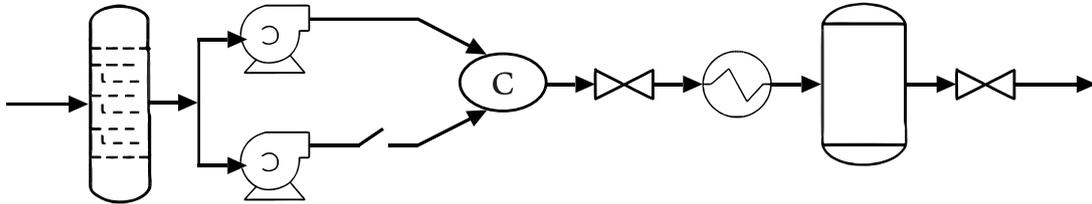


Figure V.6.1. Schéma simplifié de Sous-Systeme Alimentation

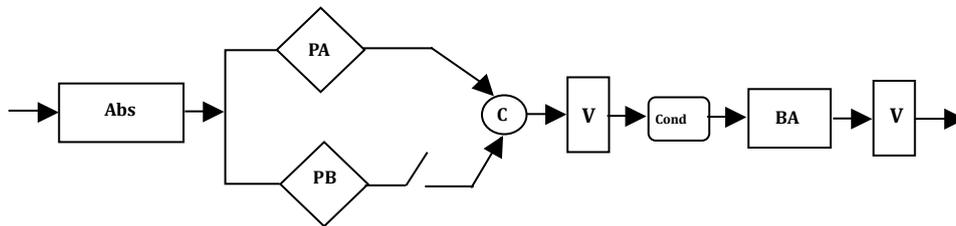


Figure V.6.2. Diagramme de fiabilité de Sous-Systeme Alimentation

La disponibilité :

$$A_{Ali} = A_{Abs} \times A_{PA/B} \times A_{Cond} \times A_{BA} \times A_V \quad V.6.1$$

Avec :

$$A_V = \left(\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V} \right)^2 \quad A_{Abs} = \frac{\mu_{Abs}}{\mu_{Abs} + \lambda_{Abs}}$$

$$A_{BA} = \frac{\mu_{BA}}{\mu_{BA} + \lambda_{BA}} \quad A_{Cond} = \frac{\mu_{Cond}}{\mu_{Cond} + \lambda_{Cond}}$$

D'après le modèle de YACIN :

$$A_{PA/B} = \frac{2 + 2\gamma}{2 + 2\gamma + \gamma^2} \quad V.6.2$$

$$\gamma = \frac{\lambda_{PA}}{\mu_{PA}}$$

La fiabilité :

$$R_{Ali} = R_{Abs} \times R_{PA/B} \times R_{Cond} \times R_{BA} \times R_V^2 \quad V.6.3$$

Avec :

$$R_{Abs} = e^{-\lambda_{Abs}t} \quad R_{Cond} = e^{-\lambda_{Cond}t} \quad R_{BA} = e^{-\lambda_{BA}t} \quad R_V = e^{-\lambda_Vt}$$

$R_{PA/B}$ est obtenu par graphe de Markov (similaire à celui des filtres de gaz sec).

Le taux de défaillance de sous-système alimentation est :

$$\lambda_{Ali} = \lambda_{Abs} + \lambda_{PA/B} + 2\lambda_V + \lambda_{Cond} + \lambda_{BA} \quad V.6.4$$

$$\lambda_{PA/B} = \frac{\lambda_{PA}^2}{2\lambda_{PA} + \mu_{PA}} \quad V.6.5$$

V.6.2 Sous-système reflux A :

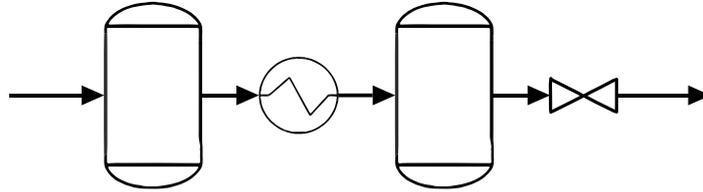


Figure V.6.3. Schéma simplifié de Sous-Système Reflux A

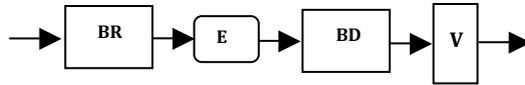


Figure V.6.4. Diagramme de fiabilité de Sous-Système Reflux A

La disponibilité :

$$A_{RA} = A_{BR} \times A_E \times A_{BD} \times A_V \quad V.6.6$$

Avec :

$$A_V = \frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V} \quad A_E = \frac{\mu_E}{\mu_E + \lambda_E}$$

$$A_{BD} = \frac{\mu_{BD}}{\mu_{BD} + \lambda_{BD}} \quad A_{BR} = \frac{\mu_{BR}}{\mu_{BR} + \lambda_{BR}}$$

La fiabilité :

$$R_{RA} = R_{BR} \times R_E \times R_{BD} \times R_V \quad V.6.7$$

Avec :

$$R_{BR} = e^{-\lambda_{BR}t} \quad R_E = e^{-\lambda_Et} \quad R_{BD} = e^{-\lambda_{BD}t} \quad R_V = e^{-\lambda_Vt}$$

Le taux de défaillance de sous-système reflux A est :

$$\lambda_{RA} = \lambda_{BR} + \lambda_E + \lambda_{BD} + \lambda_V \quad V.6.8$$

V.6.3 Sous-système reflux B :

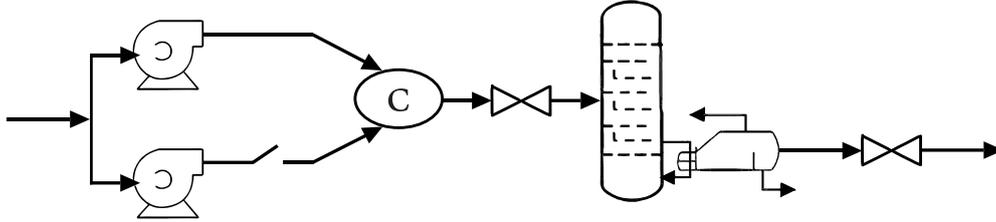


Figure V.6.6.Schéma simplifié de Sous-Systeme Reflux B

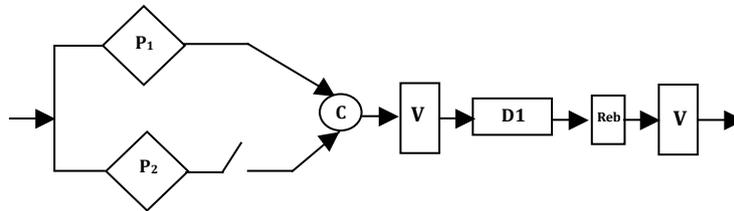


Figure V.6.5.Diagramme de fiabilité de Sous-Systeme Reflux B

La disponibilité :

$$A_{RB} = A_{P1/2} \times A_{D1} \times A_{Reb} \times A_V \quad V.6.9$$

Avec :

$$A_V = \left(\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V} \right)^2 \quad A_{D1} = \frac{\mu_{D1}}{\mu_{D1} + \lambda_{D1}}$$

$$A_{Reb} = \frac{\mu_{Reb}}{\mu_{Reb} + \lambda_{Reb}}$$

D'après le modèle de YACIN :

$$A_{P1/2} = \frac{2 + 2\gamma}{2 + 2\gamma + \gamma^2} \quad V.6.10$$

$$\gamma = \frac{\lambda_{P1}}{\mu_{P1}}$$

La fiabilité :

$$R_{RB} = R_{P1/2} \times R_{D1} \times R_{Reb} \times R_V^2 \quad V.6.11$$

Avec :

$$R_{D1} = e^{-\lambda_{D1}t} \quad R_{Reb} = e^{-\lambda_{Reb}t} \quad R_V = e^{-\lambda_V t}$$

$R_{P1/2}$ est obtenu par graphe de Markov (similaire à celui des filtres de gaz sec).

Le taux de défaillance de sous-système reflux B est :

$$\lambda_{RB} = \lambda_{P1/2} + 2\lambda_V + \lambda_{D1} + \lambda_{Reb} \quad V.6.12$$

$$\lambda_{P1/2} = \frac{\lambda_{P1}^2}{2\lambda_{P1} + \mu_{P1}} \quad V.6.13$$

Section complète :

La disponibilité et la fiabilité de la section dééthanisation sont :



Figure V.6.7. Diagramme de fiabilité de la Section Dééthanisation

$$A_{D\acute{e}e} = A_{Ali} \times A_{RA} \times A_{RB} \quad V.6.14$$

$$R_{D\acute{e}e} = R_{Ali} \times R_{RA} \times R_{RB} \quad V.6.15$$

$$\lambda_{D\acute{e}e} = \lambda_{Ali} + \lambda_{RA} + \lambda_{RB} \quad V.6.16$$

V.7 Modélisation de la Disponibilité et la Fiabilité de la section débutanisation :

Les équipements de la section débutanisation sont marqués comme suit :

- Débutaniseur G1X-CB-32-01 ; **D2**
- Rebouilleur du débutaniseur G1X-GA-32-06 ; **Reb**
- Condenseur du débutaniseur G1X-GC-32-02 ; **Cond**
- Pompe de reflux du débutaniseur G1X-PA-32-03 A/B ; **P1/ P2**
- Pompes d'expédition de l'isopentane G1X-PA-32-04 A/B ; **PA/ PB**
- Aéroréfrigérant d'isopentane G1X-GC-32-03 ; **R2**
- Aéroréfrigérant de condensat G1X-GC-32-04 ; **R1**
- Ballon de reflux du débutaniseur G11-VL-32-05 ; **BR**
- Vannes ; **V**

V.7.1 Sous-système condensats :

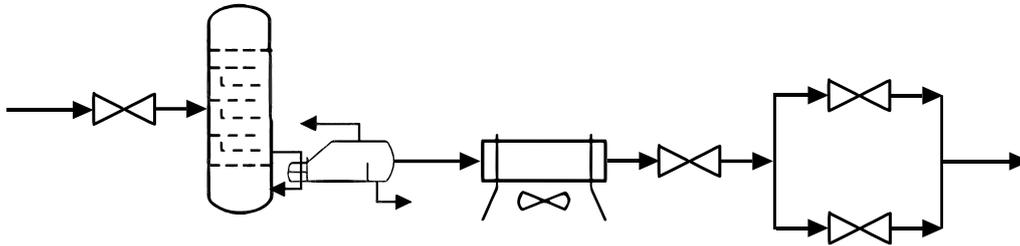


Figure V.7.1. Schéma simplifié de Sous-Système Condensats

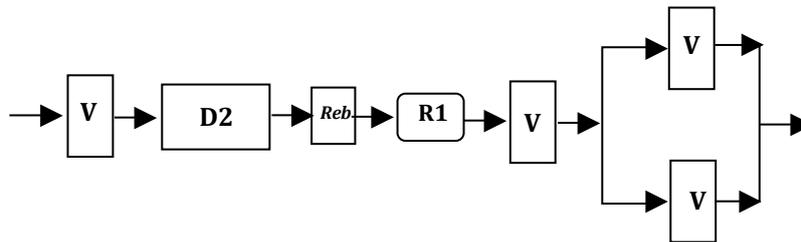


Figure V.7.2. Diagramme de fiabilité de Sous-Système Condensats

La disponibilité :

$$A_C = A_{R1} \times A_{D2} \times A_{Reb} \times A_V^2 \times A_{V'} \quad V.7.1$$

Avec :

$$A_V = \frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V} \quad A_{D2} = \frac{\mu_{D2}}{\mu_{D2} + \lambda_{D2}}$$

$$A_{Reb} = \frac{\mu_{Reb}}{\mu_{Reb} + \lambda_{Reb}} \quad A_{R1} = \frac{\mu_{R1}}{\mu_{R1} + \lambda_{R1}}$$

$$A_{V'} = 1 - (1 - A_V)^2 \quad V.7.2$$

La fiabilité :

$$R_C = R_{R1} \times R_{D2} \times R_{Reb} \times R_V^2 \times R_{V'} \quad V.7.3$$

Avec :

$$R_{D2} = e^{-\lambda_{D2}t} \quad R_{Reb} = e^{-\lambda_{Reb}t}$$

$$R_V = e^{-\lambda_V t} \quad R_{R1} = e^{-\lambda_{R1}t}$$

$$R_{V'} = 1 - (1 - R_V)^2 \quad V.7.4$$

Le taux de défaillance de sous-système condensats est :

$$\lambda_C = \lambda_{R1} + 2\lambda_V + \lambda_{D2} + \lambda_{Reb} + \lambda_{V'} \quad V.7.5$$

$$\lambda_{V'} = \frac{1}{\int_0^{+\infty} R_{V'}(t). dt} = \frac{1}{\int_0^{+\infty} (1 - (1 - R_V)^2). dt}$$

Après intégration, on trouve :

$$\lambda_{V'} = \frac{2\lambda_V}{3} \quad V.7.6$$

V.7.2 Sous-système isopentane :

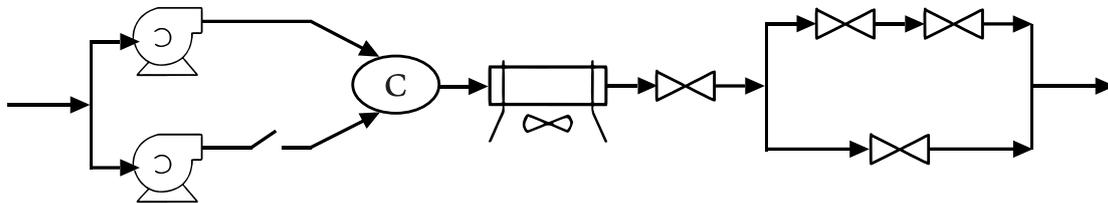


Figure V.7.3.Schéma simplifié de Sous-Système Isopentane

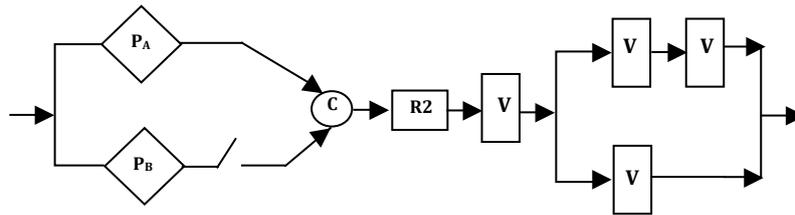


Figure V.7.4..Diagramme de fiabilité de Sous-Système Isopentane

La disponibilité :

$$A_I = A_{R2} \times A_{PA/B} \times A_V \times A_{V'} \quad V.7.7$$

Avec :

$$A_V = \frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V} \quad A_{R2} = \frac{\mu_{R2}}{\mu_{R2} + \lambda_{R2}}$$

$$A_{V'} = 1 - (1 - A_V^2)(1 - A_V)$$

$$A_{V'} = A_V + A_V^2 - A_V^3 \quad V.7.8$$

D'après le modèle de YACIN :

$$A_{PA/B} = \frac{2 + 2\gamma}{2 + 2\gamma + \gamma^2} \quad V.7.9$$

$$\gamma = \frac{\lambda_{PA}}{\mu_{PA}}$$

La fiabilité :

$$R_I = R_{R2} \times R_{PA/B} \times R_V \times R_{V'} \quad V.7.10$$

Avec :

$$R_V = e^{-\lambda_V t} \quad R_{R2} = e^{-\lambda_{R2} t}$$

$$R_{V'} = 1 - (1 - R_V^2)(1 - R_V)$$

$$R_{V'} = R_V + R_V^2 - R_V^3 \quad V.7.11$$

$R_{PA/B}$ est obtenu par graphe de Markov (similaire à celui des filtres de gaz sec).

Le taux de défaillance de sous-système isopentane est :

$$\lambda_I = \lambda_{R2} + \lambda_V + \lambda_{PA/B} + \lambda_{V'} \quad V.7.12$$

$$\lambda_{PA/B} = \frac{\lambda_{PA}^2}{2\lambda_{PA} + \mu_{PA}} \quad V.7.13$$

$$\lambda_{V'} = \frac{1}{\int_0^{+\infty} R_{V'}(t). dt} = \frac{1}{\int_0^{+\infty} (R_V + R_V^2 - R_V^3). dt}$$

Après intégration, on trouve :

$$\lambda_{V'} = \frac{6\lambda_V}{7} \quad V.7.14$$

V.7.3 Sous-système GPL :

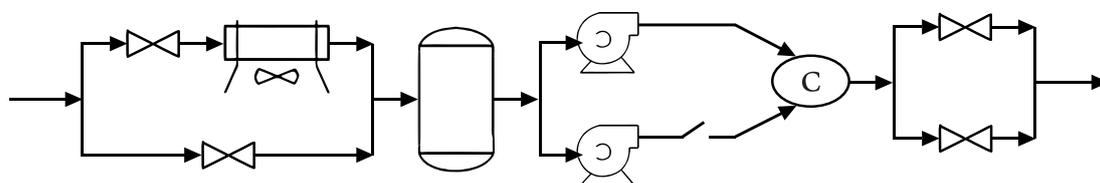


Figure V.7.5. Schéma simplifié de Sous-Système GPL

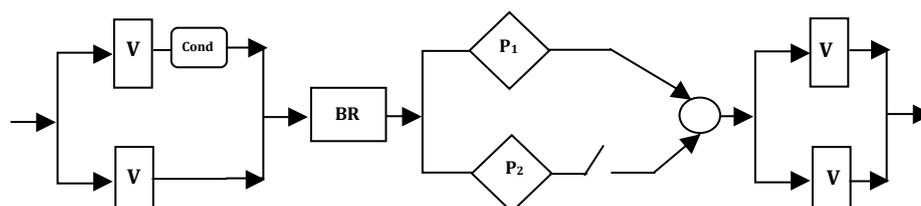


Figure V.7.6. Diagramme de fiabilité de Sous-Système GPL

La disponibilité :

$$A_G = A_{Cond'} \times A_{P1/2} \times A_{BR} \times A_{V'} \quad V.7.15$$

Avec :

$$A_V = \frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V} \quad A_{Cond} = \frac{\mu_{Cond}}{\mu_{Cond} + \lambda_{Cond}} \quad A_{BR} = \frac{\mu_{BR}}{\mu_{BR} + \lambda_{BR}}$$

$$A_{V'} = 1 - (1 - A_V)^2 \quad V.7.16$$

$$A_{Cond'} = 1 - (1 - A_V)(1 - A_V \cdot A_{Cond}) \quad V.7.17$$

D'après le modèle de YACIN :

$$A_{P1/2} = \frac{2 + 2\gamma}{2 + 2\gamma + \gamma^2} \quad V.7.18$$

$$\gamma = \frac{\lambda_{P1}}{\mu_{P1}}$$

La fiabilité :

$$R_G = R_{Cond'} \times R_{P1/2} \times R_{BR} \times R_{V'} \quad V.7.19$$

Avec :

$$R_V = e^{-\lambda_V t} \quad R_{Cond} = e^{-\lambda_{Cond} t} \quad R_{BR} = e^{-\lambda_{BR} t}$$

$$R_{V'} = 1 - (1 - R_V)^2 \quad V.7.20$$

$$R_{Cond'} = 1 - (1 - R_V)(1 - R_V \cdot R_{Cond}) \quad V.7.21$$

$R_{P1/2}$ est obtenu par graphe de Markov (similaire à celui des filtres de gaz sec).

Le taux de défaillance de sous-système GPL est :

$$\lambda_G = \lambda_{Cond'} + \lambda_{P1/2} + \lambda_{BR} + \lambda_{V'} \quad V.7.22$$

$$\lambda_{P1/2} = \frac{\lambda_{P1}^2}{2\lambda_{P1} + \mu_{P1}} \quad V.7.23$$

$$\lambda_{V'} = \frac{1}{\int_0^{+\infty} R_{V'}(t) \cdot dt} = \frac{1}{\int_0^{+\infty} (1 - (1 - R_V)^2) \cdot dt}$$

Après intégration, on trouve :

$$\lambda_{V'} = \frac{2\lambda_V}{3} \quad V.7.24$$

$$\lambda_{Cond'} = \frac{1}{\int_0^{+\infty} R_{Cond'}(t). dt} = \frac{1}{\int_0^{+\infty} (1 - (1 - R_V)(1 - R_V \cdot R_{Cond})). dt}$$

$$\lambda_{Cond'} = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_V + \lambda_{Cond}} + \frac{1}{\lambda_V} - \frac{1}{2\lambda_V + \lambda_{Cond}}} \quad V.7.25$$

Section complète :

La disponibilité et la fiabilité de la section débutanisation sont :



Figure V.7.7. Diagramme de fiabilité de la Section Débutanisation

$$A_{Déb} = A_C \times A_I \times A_G \quad V.7.26$$

$$R_{Déb} = R_C \times R_I \times R_G \quad V.7.27$$

$$\lambda_{Déb} = \lambda_C + \lambda_I + \lambda_G \quad V.7.28$$

V.8 Conclusion :

Globalement, la méthode systémique utilisée avec les diagrammes de base propose une approche robuste pour représenter la fiabilité et la disponibilité des unités de traitement des gaz. Cette approche permet d'intégrer les interactions complexes entre les différents sous-systèmes, ce qui revêt une importance capitale pour évaluer la fiabilité globale du système. La modélisation des sous-systèmes et leur connexion permettent d'obtenir le diagramme bloc total, puis l'application de modèles de fiabilité des systèmes permet d'obtenir une analyse approfondie. Cela permet d'identifier les points faibles potentiels et de concevoir des stratégies d'amélioration de la fiabilité, de la maintenabilité et de la disponibilité des procédés de traitement de gaz.

***Chapitre VI : Calcul de la disponibilité et
la fiabilité de l'unité GPL ZCINA***

VI.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous procéderons à l'analyse détaillée de chaque section et sous-système présents dans notre unité de traitement de gaz GPL ZCINA. Ces calculs sont le fruit des modèles mathématiques que nous avons présentés dans les chapitres précédents. Pour mener à bien cette tâche, nous avons extrait les paramètres de fiabilité de la base de données OREDA. Cette source nous a permis d'obtenir les taux de défaillance et de réparation de chaque équipement de l'unité, dans le but d'évaluer la fiabilité et la disponibilité du système dans son ensemble.

OREDA, acronyme pour Offshore Reliability Data, est une base de données collaborative internationale spécialisée dans la fiabilité. Elle compile et analyse des informations sur les performances et les défaillances des équipements utilisés dans l'industrie pétrolière et gazière.

VI.2 Algorithme de Runge Kutta :

Lorsqu'il s'agit de résoudre des systèmes d'équations différentielles, notamment ceux engendrés par les processus dynamiques de type Markov, la distribution initiale joue un rôle crucial dans la détermination de la solution. Pour aborder cette résolution, la méthode de Runge-Kutta se présente comme une approche primordiale en analyse numérique. Cette méthode itérative permet d'approcher efficacement les solutions numériques en subdivisant le problème en étapes successives. Son adoption est justifiée notamment par la complexité et la taille souvent considérables des systèmes d'équations différentielles impliqués. De plus, des outils comme la fonction `ode45`, exploitant l'algorithme de Runge-Kutta, offrent une implémentation pratique pour résoudre ces systèmes avec précision et efficacité.

Voici un exemple d'utilisation de la fonction `ode45` sur MATLAB pour les filtres de gaz sec :

```
% Conditions initiales
P0 = [1, 0, 0] ;

% Utilisation de ode45 pour résoudre le système
[t, P] = ode45(@fun, [0, 100000], P0) ;

% Affichage des résultats
format long g
display(P)
```

La fonction 'fun' représente les systèmes d'équation différentielle introduit sous forme de fonction.

- [0-100000] représente l'intervalle de temps choisi.
- P0 = [1,0,0] représente la distribution initiale.

La fonction s'exprimera comme suit :

```
function dP = fun (t, P)
% Initialisation du vecteur de sortie comme vecteur colonne
dP = zeros (3, 1) ;
lamda=0.00000299 ;
mu= 0.051813472;
dP (1) = - lamda * P (1) + mu * P (2) ;
dP (2) = lamda * P (1) - (lamda + mu) * P (2) ;
dP (3) = lamda * P (2) ;
end
```

Le résultat vers lequel la solution converge est la probabilité de chaque état :

$P_1 = 0.999925096722375$, $P_2 = 5.76543513995846e-05$,
 $P_3 = 1.72489262256128e-05$

VI.3 Calcul de la disponibilité et la fiabilité de la section déshydratation :

Équipement	λ (/h)	μ (/h)
Filtre d'entrée des sécheurs G11-MB-24-02	0,00000299	0,051813472
Sécheur G11-VK-24-01 A/B/C	0,00000969	0,027027027
Filtres de gaz sec G11-MB-24-01 A/B	0,00000299	0,051813472
Four de gaz de régénération G11-UF-24-01	0,00001392	0,045454545
Aéroréfrigérant du gaz de régénération G11-GC-24-01	0,00000342	0,071428571
Ballon de séparation du gaz de régénération G11-VD-24-01	0,00000497	0,051546392
Vannes	0,0000018	0,055555556

Tableau VI.3.1. Paramètres de fiabilité des équipements de la Section Déshydratation

Disponibilité	Modèle mathématique	Application numérique
A_V	$\left(\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V}\right)^3$	0,999902806
A_{F1}	$\frac{\mu_{F1}}{\mu_{F1} + \lambda_{F1}}$	0,999942296
A_{Fr}	$\frac{\mu_{Fr}}{\mu_{Fr} + \lambda_{Fr}}$	0,999693854
A_A	$\frac{\mu_A}{\mu_A + \lambda_A}$	0,999952122
A_B	$\frac{\mu_B}{\mu_B + \lambda_B}$	0,999903591
$A_{S1} = A_{S2} = A_{S3}$	$\frac{\mu_{S1}}{\mu_{S1} + \lambda_{S1}} \cdot \left(\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V}\right)^4$	0,999512055
$A_{S'}$	$3 \left(\frac{\mu_{S1}}{\mu_{S1} + \lambda_{S1}} \cdot \left(\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V}\right)^4\right)^2 - 2 \left(\frac{\mu_{S1}}{\mu_{S1} + \lambda_{S1}} \cdot \left(\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V}\right)^4\right)^3$	0,999999286
A_{F2}	$\frac{2 + 2\gamma}{1 + \gamma + \gamma^2}$	0,999999998

Tableau VI.3.2. Disponibilité des Sous-Systèmes de la Section Déshydratation

Section déshydratation	Modèle mathématique	Application numérique
A_s	$A_{F1} \times A_{S'} \times A_{F2} \times A_V \times A_{Fr} \times A_A \times A_B$	0,999394079
μ_s	$\frac{A_s \cdot \lambda_s}{1 - A_s}$	0,050647566
λ_s	$\lambda_{F1} + \lambda_{Fr} + 3\lambda_V + \lambda_A + \lambda_B + \lambda_{S'} + \lambda_{F2}$	3,0707E-05

Tableau VI.3.3. Les paramètres et la disponibilité de la Section Déshydratation

VI.4 Calcul de la disponibilité et la fiabilité de la section refroidissement :

Equipements	λ (/h)	μ (/h)
Echangeur gaz de charge /charge du dééthaniseur G1X-GA-32-01	0,00000602	0,01270648
Echangeurs gaz de charges / gaz résiduel G1X-GA-32-02 A/B	0,00000602	0,01270648
Ballon d'alimentation de l'expandeur G1X-VL-32-01	0,00000497	0,051546392
Vanne Joule-Thomson 32-FV-0X036	0,00000058	0,064516129
Expandeur de gaz de charge G1X-KH-32-01	0,00000767	0,010204082
Recompresseur de gaz résiduel G11-KA-32-01	0,00000305	0,000675219
Réfrigérant du gaz résiduel G11-GC-32-01	0,00000342	0,071428571
Vannes	0,0000018	0,055555556

Tableau VI.4.1. Paramètres de fiabilité des équipements du Section Refroidissement

Disponibilité	Le modèle mathématique	Application numérique
A_{E1}	$\frac{\mu_{E1}}{\mu_{E1} + \lambda_{E1}}$	0,99952645
$A_{E2A} = A_{E2B}$	$\frac{\mu_{E2B}}{\mu_{E2B} + \lambda_{E2B}}$	0,99952645
A_{E2}	$(1 - (1 - A_{E2A})(1 - A_{E2B})). A_V$	0,999967377
A_B	$\frac{\mu_B}{\mu_B + \lambda_B}$	0,999903591
A_{Det}	$P_1(t) + P_2(t) + P_3(t)$	0,9999992
A_{RC}	$\frac{\mu_{RC}}{\mu_{RC} + \lambda_{RC}}$	0,995503259
A_R	$\frac{\mu_R}{\mu_R + \lambda_R}$	0,999952122
A_V	$\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V}$	0,999967601

Tableau VI.4.2. Disponibilité des Sous-Systèmes de la Section Refroidissement

La section de refroidissement	Le modèle mathématique	Application numérique
A_{Ref}	$A_E \times A_B \times A_{Det} \times A_{RC} \times A_R \times A_V$	0,995326584
λ_{Ref}	$\lambda_E + \lambda_B + \lambda_V + \lambda_{Det} + \lambda_{RC} + \lambda_R$	1,8116E-05
μ_{Ref}	$\frac{A_{Ref} \cdot \lambda}{1 - A_{Ref}}$	0,003858278

Tableau VI.4.3. Les paramètres et la disponibilité de la Section Refroidissement

VI.5 Calcul de la disponibilité et la fiabilité de la section dééthanisation :

Equipements	λ (/h)	μ (/h)
Absorbeur G1X-CA-32-01	0,00000526	0,005649718
Dééthaniseur G1X-CE-32-01	0,00000497	0,051546392
Ballon de désengagement de l'absorbeur G1X-VL-32-06	0,00000497	0,051546392
Ballon d'alimentation du dééthaniseur	0,00000497	0,051546392
Ballon de reflux du dééthaniseur G1X-VL-32-02	0,00000497	0,051546392
Pompes d'alimentation du dééthaniseur G1X-PA-32-01 A/B	0,00000221	0,014285714
Pompes de reflux du dééthaniseur G1X-PA-32-02 A/B	0,00000221	0,014285714
Echangeur de tête de l'absorbeur G1X-GA-32-04	0,00000602	0,01270648
Condenseur du dééthaniseur G1X-GA-32-03	0,00000602	0,01270648
Rebouilleur du dééthaniseur G1X-GA-32-05	0,00000602	0,01270648
Vannes	0,0000018	0,055555556

Tableau VI.5.1. Paramètres de fiabilité des équipements du Section Dééthanisation

VI.5.1 Sous-système alimentation :

Disponibilité	Le modèle mathématique	Application numérique
A_{Abs}	$\frac{\mu_{Abs}}{\mu_{Abs} + \lambda_{Abs}}$	0,999069846
$A_{PA/B}$	$\frac{2 + 2\gamma}{2 + 2\gamma + \gamma^2}$	0,999999988
A_{BA}	$\frac{\mu_{BA}}{\mu_{BA} + \lambda_{BA}}$	0,999999988
A_{Cond}	$\frac{\mu_{Cond}}{\mu_{Cond} + \lambda_{Cond}}$	0,99952645
A_V	$\left(\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V}\right)^2$	0,999967601

Tableau VI.5.2. Disponibilité des Sous-Systèmes de Sous-Système Alimentation

Sous-système alimentation	Le modèle mathématique	Application numérique
A_{Ali}	$A_{Abs} \times A_{PA/B} \times A_{Cond} \times A_{BA} \times A_V$	0,997104952
λ_{Ali}	$\lambda_{Abs} + \lambda_{PA/B} + 2\lambda_V + \lambda_{Cond} + \lambda_{BA}$	5,22007E-05
μ_{Ali}	$\frac{A_{Ali} \cdot \lambda}{1 - A_{Ali}}$	0,012670171

Tableau VI.5.3. Les paramètres et la disponibilité de Sous-Système Alimentation

VI.5.2 Sous-système reflux A :

Disponibilité	Le modèle mathématique	Application numérique
A_E	$\frac{\mu_E}{\mu_E + \lambda_E}$	0,99952645
A_{BD}	$\frac{\mu_{BD}}{\mu_{BD} + \lambda_{BD}}$	0,999903591
A_{BR}	$\frac{\mu_{BR}}{\mu_{BR} + \lambda_{BR}}$	0,999903591
A_V	$\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V}$	0,999967601

Tableau VI.5.4. Disponibilité des Sous-Systèmes de Sous-Système Reflux A

Sous-système reflux A	Le modèle mathématique	Application numérique
A_{RA}	$A_{BR} \times A_E \times A_{BD} \times A_V$	0,999301356
λ_{RA}	$\lambda_{BR} + \lambda_E + \lambda_{BD} + \lambda_V$	0,00001776
μ_{RA}	$\frac{A_{RA} \cdot \lambda}{1 - A_{RA}}$	0,025402918

Tableau VI.5.5. Les paramètres et la disponibilité de Sous-Système Reflux A

VI.5.3 Sous-système reflux B :

Disponibilité	Le modèle mathématique	Application numérique
$A_{P1/2}$	$\frac{2 + 2\gamma}{2 + 2\gamma + \gamma^2}$	0,999999988
A_{D1}	$\frac{\mu_{D1}}{\mu_{D1} + \lambda_{D1}}$	0,999903591
A_{Reb}	$\frac{\mu_{Reb}}{\mu_{Reb} + \lambda_{Reb}}$	0,99952645
A_V	$\left(\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V}\right)^2$	0,999967601

Tableau VI.5.6. Disponibilité des Sous-Systèmes de Sous-Système Reflux B

Sous-système reflux B	Le modèle mathématique	Application numérique
A_{RB}	$A_{P1/2} \times A_{D1} \times A_{Reb} \times A_V$	0,999365315
λ_{RB}	$\lambda_{P1/2} + 2\lambda_V + \lambda_{D1} + \lambda_{Reb}$	1,45903E-05
μ_{RB}	$\frac{A_{RB} \cdot \lambda}{1 - A_{RB}}$	0,022973745

Tableau VI.5.7. Les paramètres et la disponibilité de Sous-Système Reflux B

La section dééthanisation	Le modèle mathématique	Application numérique
$A_{D\acute{e}e}$	$A_{Ali} \times A_{RA} \times A_{RB}$	0,997104952
$\lambda_{D\acute{e}e}$	$\lambda_{Ali} + \lambda_{RA} + \lambda_{RB}$	5,22007E-05
$\mu_{D\acute{e}e}$	$\frac{A_{D\acute{e}e} \cdot \lambda}{1 - A_{D\acute{e}e}}$	0,017978823

Tableau VI.5.8. Les paramètres et la disponibilité de la Section Dééthanisation

VI.6 Calcul de la disponibilité et la fiabilité de la section débutanisation :

Equipement	λ (/h)	μ (/h)
Débutaniseur G1X-CB-32-01	0,00000497	0,051546392
Rebouilleur du débutaniseur G1X-GA-32-06	0,00000602	0,01270648
Condenseur du débutaniseur G1X-GC-32-02	0,00000342	0,071428571
Pompe de reflux du débutaniseur G1X-PA-32-03 A/B	0,00000221	0,014285714
Pompes d'expédition de l'isopentane G1X-PA-32-04 A/B	0,00000221	0,014285714
Aéroréfrigérant d'isopentane G1X-GC-32-03	0,00000342	0,071428571
Aéroréfrigérant de condensat G1X-GC-32-04	0,00000342	0,071428571
Ballon de reflux du débutaniseur G11-VL-32-05	0,00000497	0,051546392
Vannes	0,0000018	0,055555556

Tableau VI.6.1.Paramètres de fiabilité des équipements du Section Débutanisation

VI.6.1 Sous-système condensats

Disponibilité	Modèle mathématique	Application numérique
A_V	$\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V}$	0,999967601
A_{D2}	$\frac{\mu_{D2}}{\mu_{D2} + \lambda_{D2}}$	0,999903591
A_{Reb}	$\frac{\mu_{Reb}}{\mu_{Reb} + \lambda_{Reb}}$	0,99952645
A_{R1}	$\frac{\mu_{R1}}{\mu_{R1} + \lambda_{R1}}$	0,999952122
$A_{V,}$	$1 - (1 - A_V)^2$	0,999999999

Tableau VI.6.2Disponibilité de Sous-Système Condensats

Sous-système condensats	Modèle mathématique	Application numérique
A_c	$A_{R1} \times A_{D2} \times A_{Reb} \times A_V^2 \times A_{V'}$	0,999317479
μ_c	$\frac{A_c \cdot \lambda_c}{1 - A_c}$	0,028126444
λ_c	$\lambda_{R1} + 2\lambda_V + \lambda_{D2} + \lambda_{Reb} + \lambda_{V'}$	0,00001921

Tableau VI.6.3. Les paramètres et la disponibilité de Sous-Système Condensats

VI.6.2 Sous-système isopentane :

Disponibilité	Modèle mathématique	Application numérique
A_V	$\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V}$	0,999967601
$A_{PA/B}$	$\frac{2 + 2\gamma}{2 + 2\gamma + \gamma^2}$	0,999999988
A_{R2}	$\frac{\mu_{R2}}{\mu_{R2} + \lambda_{R2}}$	0,999952122
$A_{V'}$	$A_V + A_V^2 - A_V^3$	0,999999998

Tableau VI.6.4. Disponibilité de Sous-Système Isopentane

Sous-système isopentane	Modèle mathématique	Application numérique
A_I	$A_{R2} \times A_{PA/B} \times A_V \times A_{V'}$	0,999919711
μ_I	$\frac{A_I \cdot \lambda_I}{1 - A_I}$	0,084228744
λ_I	$\lambda_{R2} + \lambda_V + \lambda_{PA/B} + \lambda_{V'}$	6,7632E-06

Tableau VI.6.5. Les paramètres et la disponibilité de Sous-Système Isopentane

VI.6.3 Sous-système GPL :

Disponibilité	Modèle mathématique	Application numérique
A_V	$\frac{\mu_V}{\mu_V + \lambda_V}$	0,999967601
$A_{P1/2}$	$\frac{2 + 2\gamma}{2 + 2\gamma + \gamma^2}$	0,999999988
A_{BR}	$\frac{\mu_{BR}}{\mu_{BR} + \lambda_{BR}}$	0,999903591
$A_{V'}$	$1 - (1 - A_V)^2$	0,999999999
A_{Cond}	$\frac{\mu_{Cond}}{\mu_{Cond} + \lambda_{Cond}}$	0,999952122
$A_{Cond'}$	$1 - (1 - A_V)(1 - A_V \cdot A_{Cond})$	0,999999997

Tableau VI.6.6. Disponibilité de Sous-Système GPL

Sous-système GPL	Modèle mathématique	Application numérique
A_G	$A_{Cond'} \times A_{P1/2} \times A_{BR} \times A_{V'}$	0,999903576
μ_G	$\frac{A_G \cdot \lambda_G}{1 - A_G}$	0,08113477
λ_G	$\lambda_{Cond'} + \lambda_{P1/2} + \lambda_{BR} + \lambda_{V'}$	7,82412E-06

Tableau VI.6.7. Les paramètres et la disponibilité de Sous-Système GPL

Section débutanisation	Modèle mathématique	Application numérique
$A_{Déb}$	$A_C \times A_I \times A_G$	0,999140894
$\mu_{Déb}$	$\frac{A_{Déb} \cdot \lambda_{Déb}}{1 - A_{Déb}}$	0,039306299
$\lambda_{Déb}$	$\lambda_C + \lambda_I + \lambda_G$	3,37973E-05

Tableau VI.6.8. Les paramètres et la disponibilité de la Section Débutanisation

Suite à l'analyse et au calcul des taux de défaillance, nous utiliserons des graphes pour représenter visuellement l'évolution de la fiabilité des sous-systèmes et des sections individuelles du système global afin d'obtenir celle du train (Train 1).

Ces graphes nous permettront de mieux comprendre les tendances de défaillance et d'identifier les points critiques nécessitant des actions correctives.

Sous-Système	λ (/h)	μ (/h)	Disponibilité
La section déshydratation	3,0707E-05	0,050647566	0,999394079
La section refroidissement	1,8116E-05	0,003858278	0,995326584
Sous-système alimentation	5,22007E-05	0,012670171	0,997104952
Sous-système reflux A	0,00001776	0,025402918	0,999301356
Sous-système reflux B	1,45903E-05	0,022973745	0,999365315
Sous-système condensats	0,00001921	0,028126444	0,999317479
Sous-système isopentane	6,7632E-06	0,084228744	0,999919711
Sous-système GPL	7,82412E-06	0,08113477	0,999903576

Tableau VI.6.9. Les paramètres et la disponibilité des Sous-Systèmes de L'usine

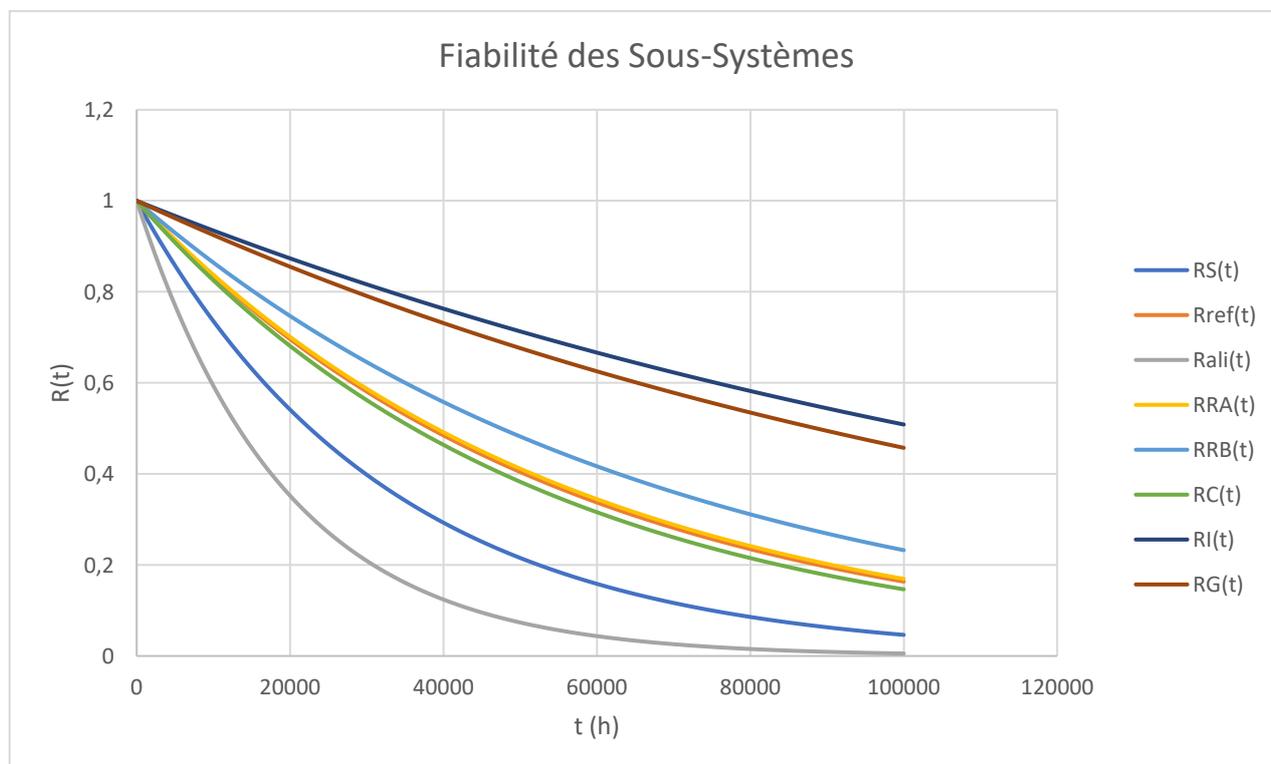


Figure VI.6.3.1. Courbe de Fiabilité des Sous-Systèmes

Section	λ (/h)	μ (/h)	Disponibilité
La section déshydratation	5,22007E-05	0,017978823	0,997104952
La section refroidissement	1,8116E-05	0,003858278	0,995326584
La section dééthanisation	5,22007E-05	0,017978823	0,997104952
La section débutanisation	3,37973E-05	0,039306299	0,999140894
Train 1	0,000134821	0,014831364	0,990991623

Tableau VI.6.11. Les paramètres et la disponibilité des Sections de l'usine GPL ZCINA

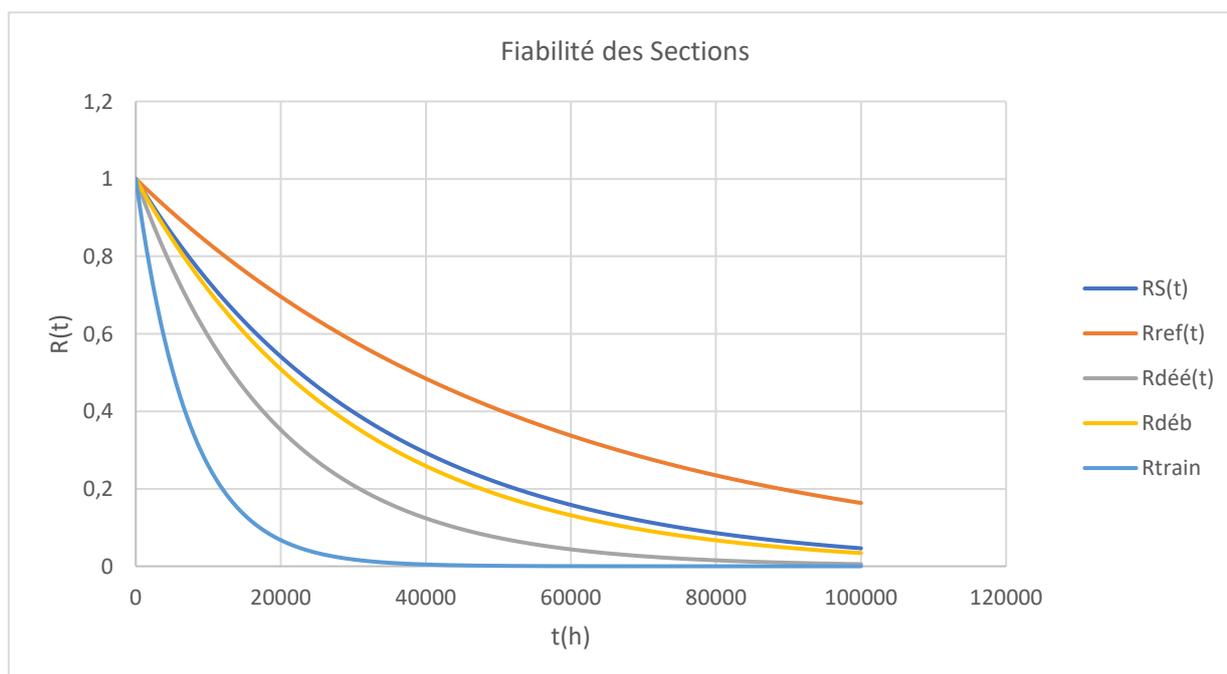


Figure VI.6.3.2. Courbe de Fiabilité des Sections

Usine GPL ZCINA	Modèle mathématique	Application numérique
A_{usine}	$1 - (1 - A_{train})^4$	0,9999999934
μ_{usine}	$\frac{A_{usine} \cdot \lambda_{usine}}{1 - A_{usine}}$	0.064649385
λ_{usine}	$\frac{12 \cdot \lambda_{train}}{25}$	6,47141E-05

Tableau VI.6.12. Les paramètres et la disponibilité de l'usine GPL ZCINA

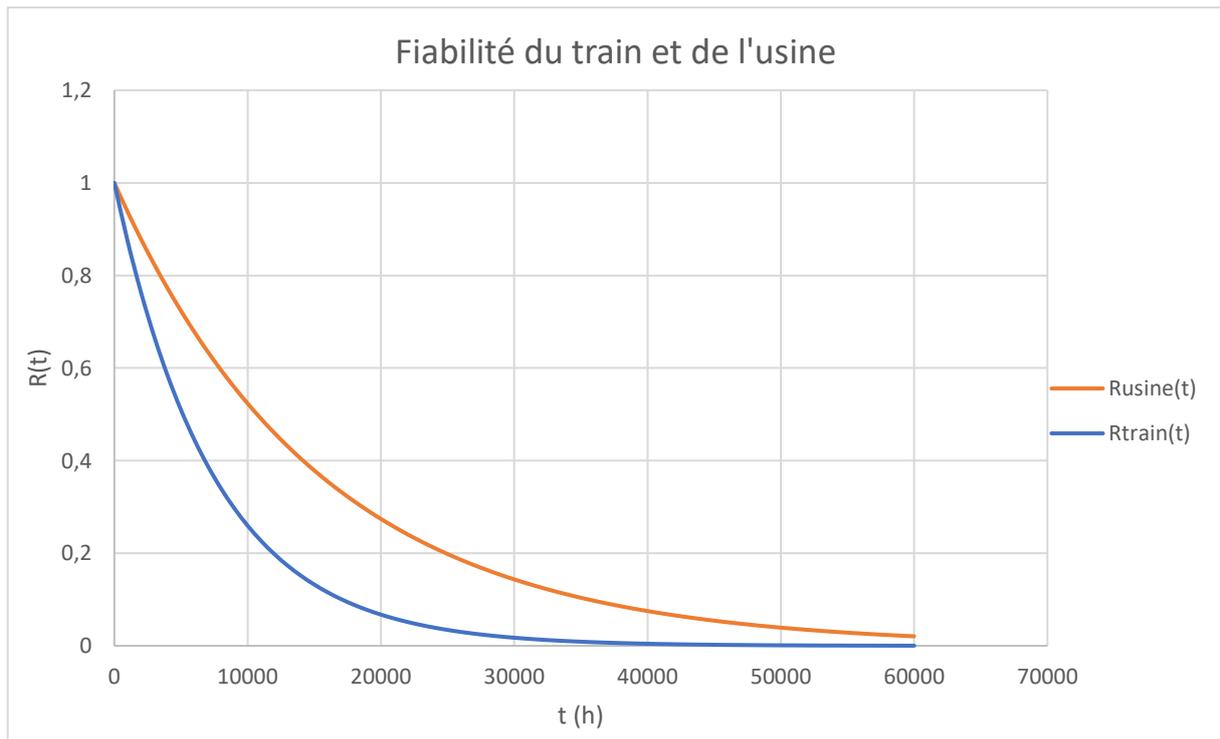


Figure VI.6.3.3. Courbe de Fiabilité d'un Train et de l'Usine

Interprétation :

Suivant la courbe de fiabilité des sous-systèmes (Figure VI.6.3.4) on constate que :

- Les sous-systèmes présentant des taux de défaillance élevés montrent généralement une dégradation plus rapide de leur fiabilité (le sous-système d'alimentation).
- Le sous-système le plus fiable au niveau de l'unité est le sous-système isopentane de la section débutanisation.

On déduit que :

- La fiabilité d'un sous-système décroît généralement à mesure que le nombre d'équipements montés en série augmente, tout comme leur complexité respective.
- Une fiabilité très élevée pour chaque équipement ne garantit pas nécessairement une fiabilité globale élevée.

Suivant la courbe de fiabilité des sections (Figure VI.6.3.5) on constate que :

- D'après la figure, il est clair que la section la moins fiable concerne le dééthaniseur, une conclusion qui trouve une logique dans les résultats antérieurs. Conformément à ce que nous avons déjà déduit, le sous-système le moins fiable est celui chargé de l'alimentation de la section de dééthanisation.
- La section la plus fiable est celle de la section de refroidissement.

- La fiabilité du train diminue en fonction du temps.

On déduit que :

- Le sous-système qui affiche un taux de défaillance élevé est crucial, car toute diminution de sa fiabilité a un effet sur l'ensemble de la section. Cette dégradation de la fiabilité de la section impacte ensuite la fiabilité globale du système (Train et l'usine).
- La défaillance d'un élément clé peut compromettre la cohérence de l'ensemble. Ainsi, il est important de renforcer la fiabilité des sous-systèmes les plus stratégiques pour assurer et maintenir la stabilité opérationnelle afin d'atteindre des niveaux de performance optimaux.
- La fiabilité globale du train est donc conditionnée par la fiabilité de chaque sous-système. Lorsqu'un de ces sous-systèmes serait en panne ou défaillant, cela pourrait mettre en péril la fiabilité et la sécurité de l'ensemble du train. Il est donc essentiel d'observer de manière régulière l'état de chaque sous-système, de mettre en place des programmes de maintenance préventive et corrective, ainsi que de réaliser des inspections régulières afin d'assurer le bon fonctionnement du train dans son ensemble.

VI.7 Critère de performabilité :

Le critère de performabilité est un concept qui évalue à la fois la performance et la fiabilité d'un système. Il mesure la capacité d'un système à maintenir ses performances malgré les défaillances ou les perturbations, tout en tenant compte à la fois des performances attendues et de la fiabilité du système. En résumé, il s'agit d'une mesure combinée de la performance et de la fiabilité d'un système dans des conditions variables.

$$k = \sum_{i=1}^n \frac{P_i \times Q_i}{Q_{nom}} \quad \text{VI.7.1}$$

Chaque état de panne est lié à une production spécifique (exprimée en débit journalier) pondérée par la probabilité P_i d'occurrence de cet état. Ces probabilités sont déterminées en résolvant des systèmes d'équations différentielles dérivés de la modélisation de la disponibilité du système global, effectuée à l'aide d'un graphe de Markov.

VI.7.1 Modélisation de la disponibilité et de la fiabilité du système global par graphe de Markov :

On procède à une modélisation du système global (usine de traitement de gaz GPL ZCINA) par le graphe de Markov, ce graphe comporte 16 états, en prenant les hypothèses suivantes :

- Les 4 trains sont identiques avec des taux de défaillances et des taux de réparation différents.
- Le nombre d'équipe de réparateurs égal à 4.

Dans notre chaîne de Markov, bien que les transitions vers d'autres états soient visibles, les probabilités de rester dans le même état ne sont pas explicitement représentées. Cependant, ces probabilités sont toujours prises en compte dans les équations différentielles qui modélisent le système, où elles sont intégrées à la somme des probabilités de transition à partir de chaque état, équivalant à 1.

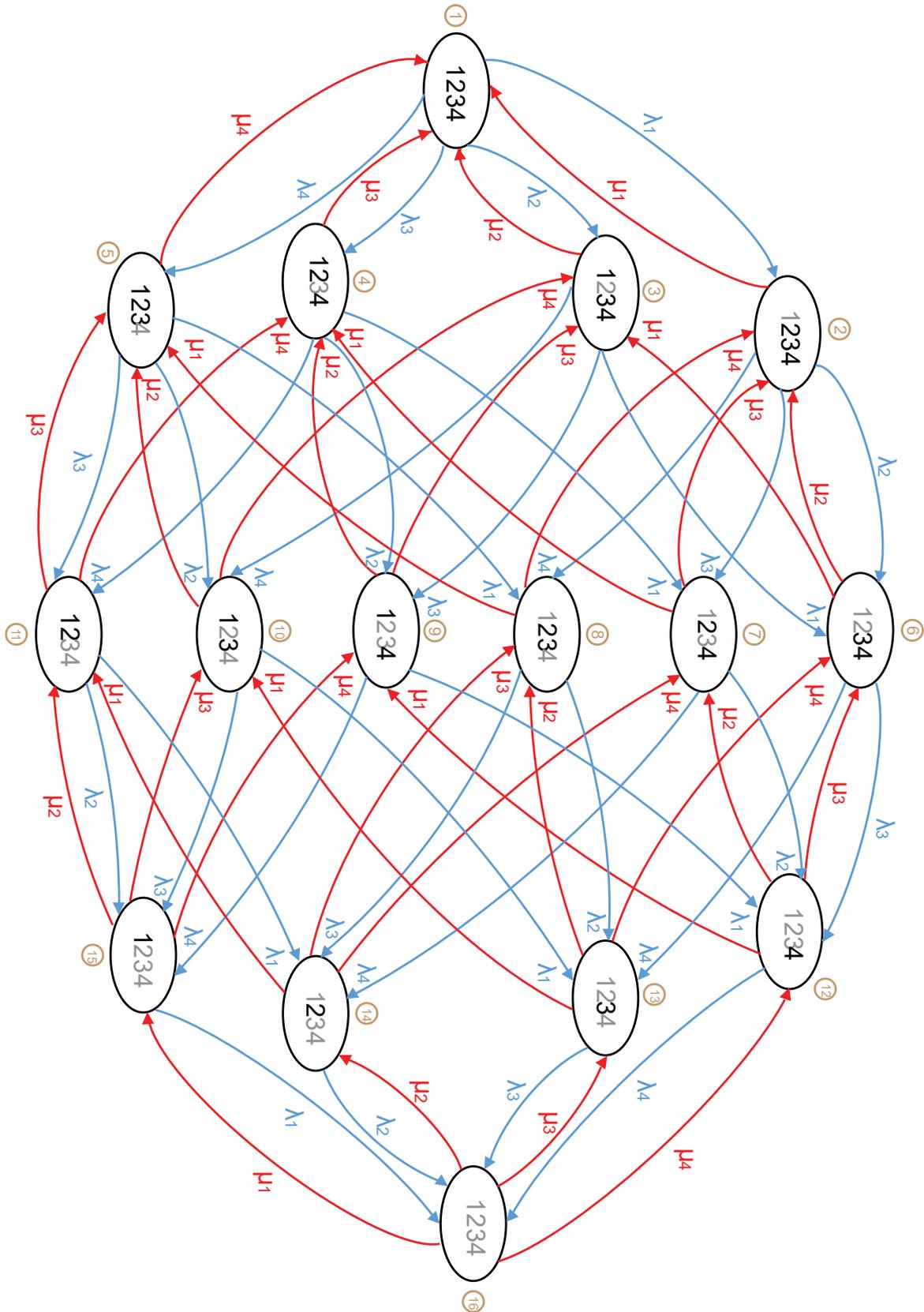


Figure VI.7.1.1. Graphe de Markov de l'usine GPL ZCINA

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)P_1(t) + \mu_1P_2(t) + \mu_2P_3(t) + \mu_3P_4(t) + \mu_4P_5(t) \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_1P_1(t) - (\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \mu_1)P_2(t) + \mu_2P_6(t) + \mu_3P_7(t) + \mu_4P_8(t) \\
 \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_2P_1(t) - (\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_4 + \mu_2)P_3(t) + \mu_1P_6(t) + \mu_3P_9(t) + \mu_4P_{10}(t) \\
 \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_3P_1(t) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \mu_3)P_4(t) + \mu_1P_7(t) + \mu_2P_9(t) + \mu_4P_{11}(t) \\
 \frac{dP_5(t)}{dt} = \lambda_4P_1(t) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu_4)P_5(t) + \mu_1P_8(t) + \mu_2P_{10}(t) + \mu_3P_{11}(t) \\
 \frac{dP_6(t)}{dt} = \lambda_2P_2(t) + \lambda_1P_3(t) - (\lambda_3 + \lambda_4 + \mu_1 + \mu_2)P_6(t) + \mu_3P_{12}(t) + \mu_4P_{13}(t) \\
 \frac{dP_7(t)}{dt} = \lambda_3P_2(t) + \lambda_1P_4(t) - (\lambda_2 + \lambda_4 + \mu_1 + \mu_3)P_7(t) + \mu_2P_{12}(t) + \mu_4P_{14}(t) \\
 \frac{dP_8(t)}{dt} = \lambda_4P_2(t) + \lambda_1P_5(t) - (\lambda_2 + \lambda_3 + \mu_4 + \mu_1)P_8(t) + \mu_2P_{13}(t) + \mu_3P_{14}(t) \\
 \frac{dP_9(t)}{dt} = \lambda_3P_3(t) + \lambda_2P_4(t) - (\lambda_1 + \lambda_4 + \mu_3 + \mu_2)P_9(t) + \mu_1P_{12}(t) + \mu_4P_{15}(t) \\
 \frac{dP_{10}(t)}{dt} = \lambda_4P_3(t) + \lambda_2P_5(t) - (\lambda_1 + \lambda_3 + \mu_4 + \mu_2)P_{10}(t) + \mu_1P_{13}(t) + \mu_3P_{15}(t) \\
 \frac{dP_{11}(t)}{dt} = \lambda_4P_4(t) + \lambda_3P_5(t) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3 + \mu_4)P_{11}(t) + \mu_1P_{14}(t) + \mu_2P_{15}(t) \\
 \frac{dP_{12}(t)}{dt} = \lambda_3P_6(t) + \lambda_2P_7(t) + \lambda_1P_9(t) - (\lambda_1 + \lambda_4 + \mu_3 + \mu_2)P_{12}(t) + \mu_4P_{16}(t) \\
 \frac{dP_{13}(t)}{dt} = \lambda_4P_6(t) + \lambda_2P_8(t) + \lambda_1P_{10}(t) - (\lambda_3 + \lambda_1 + \mu_2 + \mu_4)P_{13}(t) + \mu_3P_{16}(t) \\
 \frac{dP_{14}(t)}{dt} = \lambda_4P_7(t) + \lambda_3P_8(t) + \lambda_1P_{11}(t) - (\lambda_2 + \mu_1 + \mu_3 + \mu_4)P_{14}(t) + \mu_2P_{16}(t) \\
 \frac{dP_{15}(t)}{dt} = \lambda_4P_9(t) + \lambda_3P_{10}(t) + \lambda_2P_{11}(t) - (\lambda_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4)P_{15}(t) + \mu_1P_{16}(t) \\
 \frac{dP_{16}(t)}{dt} = \lambda_4P_{12}(t) + \lambda_3P_{13}(t) + \lambda_2P_{14}(t) + \lambda_1P_{15}(t) - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4)P_{16}(t)
 \end{array} \right.$$

VI.7.2

Avec comme condition initiale :

$$\mathbf{P}_1 = \mathbf{1} \quad \mathbf{P}_2 = \mathbf{P}_3 = \dots = \mathbf{P}_{16} = \mathbf{0}$$

VI.7.2 Calcul du coefficient de performabilité :

Les débits traités correspondant à chaque état sont mentionnés dans le tableau :

Etat	Probabilité de l'état	Train en marche	Débit journalier (MSm ³ /j)	Débit nominal (MSm ³ /j)	$P_i \times Q_i / Q_{nom}$
1	0,962452907	4	32	32	0,962452907
2	0,008749482	3	24	32	0,006562111
3	0,005105883	3	24	32	0,003829412
4	0,011617742	3	24	32	0,008713306
5	0,011766656	3	24	32	0,008824992
6	4,65434E-05	2	16	32	2,32717E-05
7	0,000105791	2	16	32	5,28953E-05
8	0,000107254	2	16	32	5,36272E-05
9	6,17103E-05	2	16	32	3,08552E-05
10	6,25345E-05	2	16	32	3,12673E-05
11	0,000142065	2	16	32	7,10327E-05
12	7,28674E-07	1	8	32	1,82168E-07
13	7,72524E-07	1	8	32	1,93131E-07
14	1,26113E-06	1	8	32	3,15282E-07
15	7,21634E-07	1	8	32	1,80409E-07
16	4,01652E-08	0	0	32	0

Tableau VI.7.1. Calcul du Coefficient de Performabilité

Le coefficient de performabilité K est estimé à : **$K = 0,99064655$**

Ce coefficient constitue un indicateur essentiel de la performance globale des quatre trains en termes de débit traité. Sa valeur élevée confirme non seulement les observations sur le terrain, mais aussi les avis des exploitants. Il représente la disponibilité réelle de l'usine de traitement GPL ZCINA en évaluant la qualité de son fonctionnement, en tenant compte de tous les états de fonctionnement et de dysfonctionnement des trains. En d'autres termes, il offre une vue d'ensemble de la performance opérationnelle de l'usine, en prenant en considération tous les aspects, des périodes de fonctionnement aux moments où des problèmes peuvent survenir.

VI.8 Conclusion :

L'évaluation des performances de l'usine de traitement de gaz GPL ZCINA indique une fiabilité satisfaisante.

Dans le but d'améliorer la fiabilité du train, les mesures suivantes doivent être envisagées :

- Intégration de redondances pour les équipements essentiels ou stratégiques, dont la panne pourrait entraîner l'arrêt du système.
- Réduction des temps d'immobilisation pour la maintenance, par le biais d'une optimisation de la gestion de la maintenance.
- Exploration de diverses configurations de fonctionnement en ajustant les paramètres de pression et de température.
- Les résultats obtenus démontrent que l'usine de traitement de gaz GPL ZCINA maintient un niveau de performance satisfaisant.
- Cependant, il est important de noter que même une bonne fiabilité ne garantit pas nécessairement une disponibilité optimale.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Une usine de traitement de gaz est un système complexe où une étude RAM (Reliability, Availability, Maintainability) s'avère délicate. Pour cela, nous avons associé deux approches : une simulation sous HYSYS permettant d'analyser le fonctionnement et une décomposition systématique facilitant l'aspect modélisation.

Notre étude s'est focalisé sur l'usine GPL ZCINA, spécialisée dans l'extraction des liquides du gaz (condensat, isopentane, GPL) et l'expédition du gaz appauvri.

Dans le premier volet de l'étude nous avons utilisé le simulateur HYSYS pour simuler le fonctionnement des quatre trains qui constituent l'usine, ce qui nous a permis de déterminer les équipements cruciaux de chaque section et d'obtenir une vue critique du procédé, permettant ainsi la construction de diagrammes de fiabilité adéquat. Nous avons également inclus une analyse de la phase Midstream, correspondant à la ligne d'expédition de gaz résiduel, afin de vérifier l'efficacité du traitement du gaz, en termes de formation d'hydrates et de condensats. Les résultats ont confirmé la sûreté et l'efficacité du traitement, montrant l'absence de ces problèmes dans la canalisation de transport du gaz résiduel.

Le deuxième volet a mis l'accent sur la décomposition systématique de l'usine de traitement de gaz de façon à rendre l'aspect modélisation de la sûreté de fonctionnement plus facilement appréhendable. Étant donné que l'usine comporte de nombreux équipements avec différentes configurations plus ou moins complexes, cette méthode nous a permis de décomposer l'usine en quatre trains identiques, chaque train étant divisé en quatre sections : déshydratation, refroidissement, dééthanisation et débutanisation. Les sections de dééthanisation et de débutanisation ont été chacun subdivisées en trois sous-systèmes, aboutissant à un total de huit systèmes simples par train. Cette décomposition a permis une analyse RAM plus abordable.

Ces deux volets nous ont permis de réaliser une analyse approfondie de la fiabilité, de la maintenabilité et de la disponibilité de l'usine GPL ZCINA, identifiant les sections avec une sécurité élevée et celles où des améliorations sont possibles. De plus, nous avons introduit l'aspect performabilité, un indicateur essentiel de l'efficacité globale de l'usine en termes de débit traité, confirmant encore la bonne performance de l'usine. Nous avons pu mettre en évidence dans cette étude que la performabilité de l'usine est plus faible que la disponibilité étant donné que ce critère permet de mettre en exergue la qualité du fonctionnement de l'usine en terme de productivité.

En conclusion, l'usine de traitement de gaz GPL ZCINA est un système complexe, maintenable, fiable, et doté d'une bonne disponibilité et performabilité. L'analyse RAM reste un outil crucial pour caractériser le comportement des systèmes mécaniques à différentes phases de leur cycle de vie et pour améliorer leurs performances globales.

Bibliographie

- [1] A. A, «Caractérisation de la Fracturation du gisement de Hassi Messaoud-Impact sur la qualité du réservoir», IAP Boumerdes, 2002.
 - [2] «Manuel opératoire d'exploitation de l'unité GPL LDHP ZCINA.».
 - [3] T. Ltd, «TWI Global,» [En ligne]. Available: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-simulation>. [Accès le 2024].
 - [4] D. M. Badra, «Polycopie Simulateurs de procédés Dédié aux étudiants 3ème Licence Génie des Procédés,» 2021-2022.
 - [5] «Smart Process Design,» 2009. [En ligne]. Available: <https://smartprocessdesign.com/aspentechs-hysys-fluid-package-thermodynamics-notes/>. [Accès le 2024].
 - [6] D. S. LAOUAR-MEFTAH, «Cours Thermodynamique des Mélanges».
 - [7] R. F. Stapelberg, Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design, London: Springer-Verlag London Limited, 2009.
 - [8] D. M. BENZOUAI., « Cours Maintenance et sureté de fonctionnement,» Université de Batna 2, Batna.
 - [9] B. Dhillon, Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers, Taylor & Francis Group, 2006.
 - [10] P. CHAPOUILLE, «Maintenabilité. Maintenance,» Techniques de l'Ingénieur.
 - [11] Jean-Claude Ligeron & Alain Delage, «Modélisation de la disponibilité d'un système de transports par chaines de Markov,» Société française de stastique, 1980.
 - [12] K.Younsi, «Réhabilitation des pipelines,» INH Boumerdes, 2024.
 - [13] «MANUEL DE FORMATION - LE PROCESS DE LA DESHYDRATATION DU GAZ,» Total, 2007.
-

Annexe A : Analyse Markovienne

On considère un système pouvant prendre N états que nous noterons $E_1, E_2 \dots E_N$. La modélisation du système consiste alors à décrire les *transitions* entre ces N états. Ces transitions sont, en général, d'origine aléatoire. Nous noterons $P_{ij}(\Delta t)$ la probabilité de passage de l'état E_i à l'état E_j entre les instants t et $t + \Delta t$ sachant que l'on était à l'état E_i à l'instant t . [11]

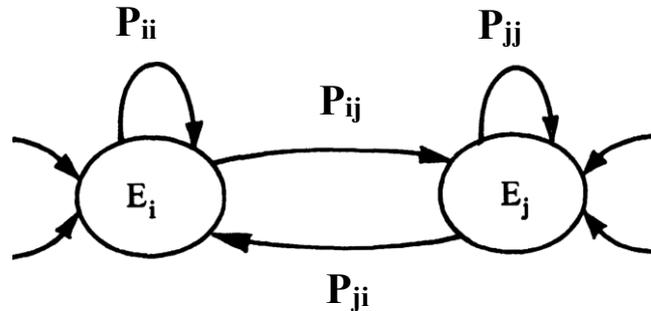


Figure A.1.1.1. Schéma de Markov général

Un processus est dit *markovien* lorsque la probabilité pour que le système soit à l'état E_j au temps $t + \Delta t$ ne dépend que de l'état où il se trouvait au temps t (on parle alors de processus "sans mémoire").

Le processus est *homogène* lorsque les probabilités de transition sont indépendantes du temps.

Il est *discret* si le temps varie de façon discrète ($\Delta t = 1$) (on parle alors de chaîne de MARKOV), *permanent* lorsque le temps varie de façon continue. [11]

Les phénomènes pris en compte dans les études de fiabilité et de maintenabilité nous amènent à considérer plus particulièrement les *processus markoviens homogènes à espace d'états fini*. En effet : [11]

- le nombre des états de marche ou de panne que peut prendre un système *est fini*.
- les transitions entre états représentent, soit une panne, soit une réparation. Les hypothèses les plus communément utilisées en fiabilité conduisent à considérer que les durées entre pannes et les durées de réparation peuvent être décrites par des lois exponentielles (phénomènes sans mémoire).

Les densités de probabilité conditionnelles P_{ij} définies en (Figure A.1) peuvent alors être assimilées aux taux de défaillance $\lambda = 1/MTBF$ et aux taux de réparation $\mu + 1/MTTR$. [11]

Nous pouvons illustrer cette démarche à l'aide d'un exemple simple. Considérons un système formé de deux équipements identiques en redondance active, deux réparateurs étant disponibles.

On peut modéliser le système de la manière suivante :

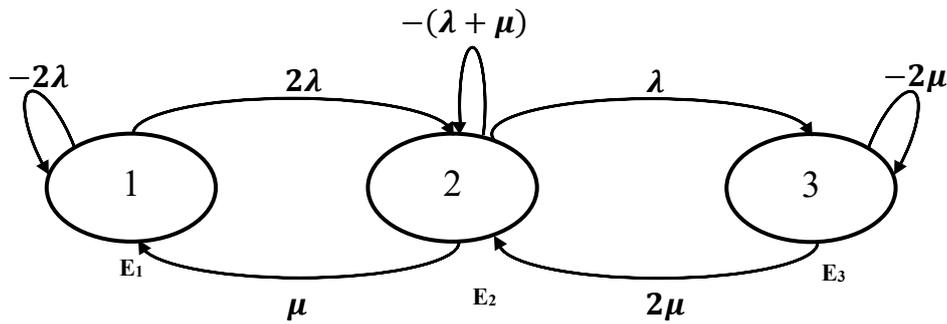


Figure A.1.1.2. Graphe de transition

Ainsi la probabilité de se trouver à l'état **(2)** (un équipement en panne) à l'instant $(t + \Delta t)$ est la somme des trois probabilités composées suivantes : [11]

- Probabilité d'être dans l'état **(1)** (aucun équipement en panne) à l'instant t (soit $P_1(t)$) puis panne entre t et $t + \Delta t$ (soit $2\lambda \cdot \Delta t$).
- Probabilité d'être dans l'état **(2)** à l'instant t sans panne ($1 - \lambda \Delta t$) ni réparation ($1 - \mu \Delta t$).
- Probabilité d'être dans l'état **(3)** (deux équipements en panne) à l'instant t , puis réparation entre t et $t + \Delta t$ (soit $2\mu \cdot \Delta t$).

On peut écrire par exemple :

$$P_2(t + \Delta t) = P_1(t) \cdot 2\lambda \cdot \Delta t + P_2(t)(1 - \lambda \cdot \Delta t)(1 - \mu \cdot \Delta t) + P_3(t) \cdot 2\mu \cdot \Delta t$$

En conservant les termes du 1^{er} ordre, on montre alors que le système peut être décrit par l'équation matricielle suivante (système différentiel linéaire à coefficients constants) :

$$\begin{bmatrix} \dot{P}_{1D} \\ \dot{P}_{2D} \\ \dot{P}_{3D} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2\lambda & \mu & 0 \\ 2\lambda & -\lambda \cdot \mu & 2\mu \\ 0 & \lambda & -2\mu \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_{1D} \\ P_{2D} \\ P_{3D} \end{bmatrix} = A_D \begin{bmatrix} P_{1D} \\ P_{2D} \\ P_{3D} \end{bmatrix}$$

Si nous considérons **(1)** et **(2)** comme des états de marche, la *disponibilité* du système $A(t)$, probabilité que le système fonctionne à l'instant t , s'exprime par : [11]

$$A(t) = P_{1D}(t) + P_{2D}(t)$$

La *fiabilité* $R(t)$, probabilité que le système fonctionne pendant l'intervalle $[0, t]$ sachant qu'il fonctionnait à l'instant 0, se calcule en rendant absorbant l'état de panne (3). On obtient ainsi un système d'équations analogue au précédent, mais où A_D est remplacé par A_R . [11]

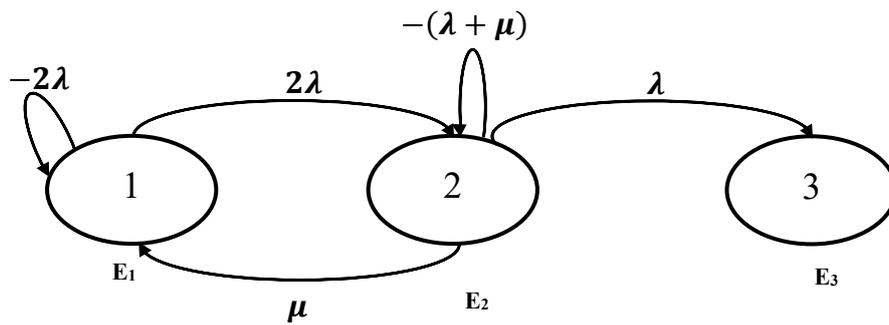


Figure A.1.1.3. Graphe de transition de fiabilité

$$A_R = \begin{bmatrix} -2\lambda & \mu & 0 \\ 2\lambda & -\lambda - \mu & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \end{bmatrix} \quad R(t) = P_{1R}(t) + P_{2R}(t)$$

La *maintenabilité* $M(t)$, probabilité que le système soit réparé dans l'intervalle $[0, t]$

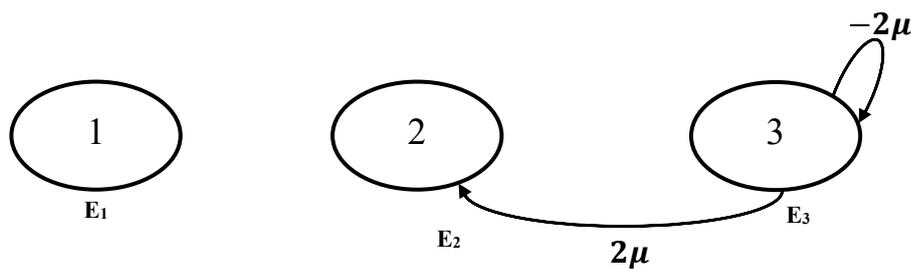


Figure A.1.1.4 Graphe de transition de maintenabilité

sachant qu'il était en panne à l'instant 0, se calcule en rendant absorbants les états de marche (1) et (2) (d'où une équation analogue à la première équation où A_D est remplacé par A_M). [11]

$$A_M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2\mu \\ 0 & 0 & -2\mu \end{bmatrix} \quad M(t) = P_{1M}(t) + P_{2M}(t) = 1 - P_{3M}(t)$$

A.1 Application de l'analyse Markovienne :

Les taux de défaillance de différentes sections ont été évalués dans notre étude en utilisant une redondance majoritaire (2/3) et une redondance passive (1+1). Toutefois, dans le cas des sous-systèmes avec une redondance (1+1) ou plus, nous avons choisi d'utiliser l'analyse markovienne afin d'évaluer la fiabilité, la disponibilité ou les deux. Les éléments du système sont identiques et le nombre de réparateurs est égal au nombre d'équipements, sauf dans un cas spécifique.

Dans notre système global, nous rencontrons plusieurs cas de redondance passive (1+1), où les équipements sont identiques. Ces cas se présentent comme suit :

- **Dans la section de déshydratation :** Filtres de gaz sec.
- **Dans la section de dééthanisation :** Pompes d'alimentation du dééthaniseur et pompes de reflux.
- **Dans la section de débutanisation :** Pompes d'expédition d'isopentane et pompes de reflux du débutaniser.

Dans ces situations, l'étude et la démonstration suivent la même approche.

Nous avons également un cas particulier de redondance passive où les équipements ne sont pas identiques, ce qui se produit dans la section de refroidissement. L'étude de ce cas différera de celle de la configuration en redondance passive (1+1).

Enfin, le dernier cas où nous avons utilisé l'analyse markovienne concerne les sécheurs avec leurs vannes associatives, qui sont en redondance majoritaire (2/3).

A.1.1 La section de déshydratation :

A.1.1.i Pour les filtres de gaz sec : (redondance passive (1+1))

La disponibilité :

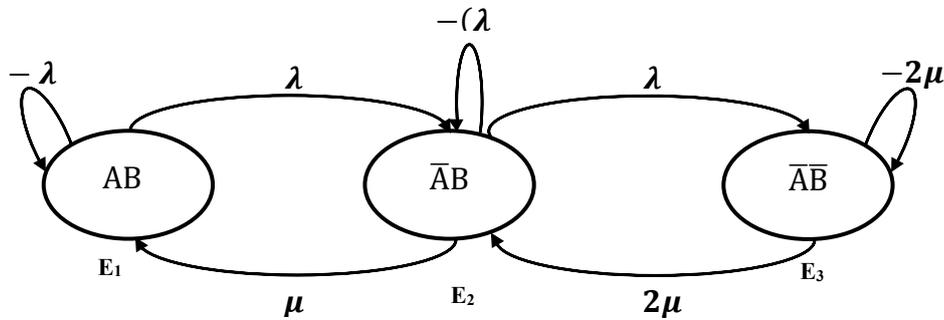


Figure A.1.1.1. Graphe de Markov-filtres de gaz sec-Redondance passive (1+1)

Voici la matrice des taux de transition ainsi que le système d'équations différentielles correspondant :

$$A = \begin{bmatrix} -\lambda & \mu & 0 \\ \lambda & -(\lambda + \mu) & 2\mu \\ 0 & \lambda & -2\mu \end{bmatrix} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda P_1(t) - (\lambda + \mu) P_2(t) + 2\mu P_3(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda P_2(t) - 2\mu P_3(t) \end{array} \right.$$

La fiabilité :

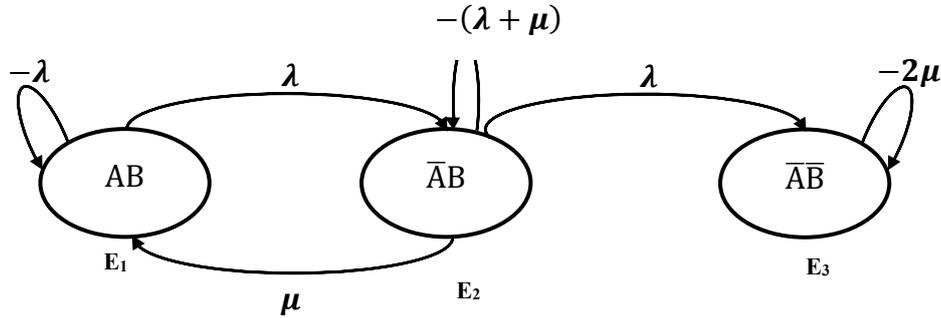


Figure A.1.1.2. Graphe de Markov absorbant-filtres de gaz sec-Redondance passive (1+1)

Voici la matrice des taux de transition ainsi que le système d'équations différentielles correspondant :

$$A = \begin{bmatrix} -\lambda & \mu & 0 \\ \lambda & -(\lambda + \mu) & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \end{bmatrix} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda P_1(t) - (\lambda + \mu) P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda P_2(t) \end{array} \right.$$

La démonstration de la MTBF et λ :

$$\begin{aligned} \int_0^{+\infty} dP_1(t) &= \int_0^{+\infty} -\lambda P_1(t) dt + \int_0^{+\infty} \mu P_2(t) dt \\ \int_0^{+\infty} dP_2(t) &= \int_0^{+\infty} \lambda P_1(t) dt + \int_0^{+\infty} -(\lambda + \mu) P_2(t) dt \\ \int_0^{+\infty} dP_3(t) &= \int_0^{+\infty} \lambda P_2(t) dt \end{aligned}$$

Avec les conditions initiales : $P_1(0) = 1$; $P_2(0) = 0$; $P_3(0) = 0$

Et les conditions finales : $P_1(\infty) = 0$; $P_2(\infty) = 0$; $P_3(\infty) = 1$

Après intégration on obtient :

$$\begin{aligned} \mathbf{1} &= \lambda T_1 + \mu T_2 \\ \mathbf{0} &= \lambda T_1 - (\lambda + \mu) T_2 \end{aligned}$$

Donc :

$$\mathbf{1} = \lambda T_2 \rightarrow \begin{cases} T_2 = \frac{1}{\lambda} \\ T_1 = \frac{\lambda + \mu}{\lambda} \end{cases}$$

D'où :

$$MTBF = \int_0^{+\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} (P_1(t) + P_2(t)) dt = T_1 + T_2$$

$$MTBF = \frac{2\lambda + \mu}{\lambda^2}$$

Donc :

$$\lambda_{AB} = \frac{\lambda^2}{2\lambda + \mu}$$

A.1.1.ii Pour les sécheurs (s) : (redundance majoritaire (2/3))

La fiabilité :

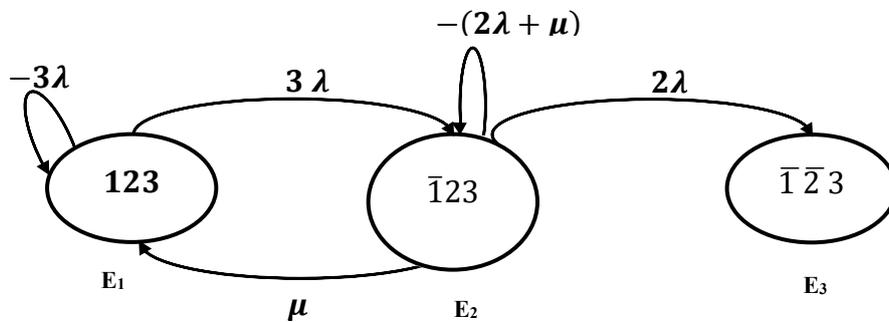


Figure A.1.1.3. Graphe de Markov absorbant - Pour les sécheurs - Redondance majoritaire (2/3)

Voici la matrice des taux de transition ainsi que le système d'équations différentielles correspondant :

$$S = \begin{bmatrix} -3\lambda & \mu & 0 \\ 3\lambda & -(2\lambda + \mu) & 0 \\ 0 & 2\lambda & 0 \end{bmatrix} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -3\lambda P_1(t) + \mu P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = 3\lambda P_1(t) - (2\lambda + \mu) P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = 2\lambda P_2(t) \end{array} \right.$$

La démonstration de la MTBF et λ :

Les conditions initiales : $P_1(0) = 1$; $P_2(0) = 0$

Et les conditions finales : $P_1(\infty) = 0$; $P_2(\infty) = 0$

Après intégration on obtient :

$$\begin{aligned} -1 &= -3\lambda T_1 + \mu T_2 \\ 0 &= 3\lambda T_1 - (2\lambda + \mu)T_2 \end{aligned}$$

Donc :

$$-1 = (-2\lambda) T_2 \rightarrow \begin{cases} T_2 = \frac{1}{2\lambda} \\ T_1 = \frac{\mu+2\lambda}{6\lambda^2} \end{cases}$$

D'où :

$$\begin{aligned} MTBF &= \int_0^{+\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} (P_1(t) + P_2(t)) dt = T_1 + T_2 \\ MTBF &= \frac{5\lambda + \mu}{6\lambda^2} \end{aligned}$$

Donc :

$$\lambda_s = \frac{6\lambda^2}{5\lambda + \mu}$$

A.1.2 La section de refroidissement :

A.1.2.i Pour la partie expander-Joule Thomson :

Disponibilité :

1 : expander **2** : Joule Thomson

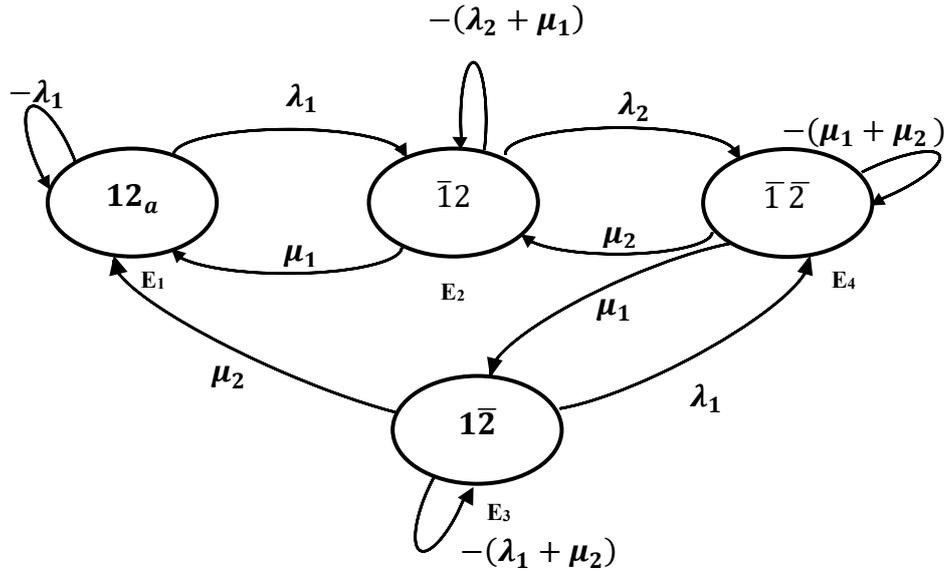


Figure A.1.2.1. Graphe de Markov-Expander & Joule Thomson-Redondance passive (1+1)

Voici la matrice des taux de transition ainsi que le système d'équations différentielles correspondant :

$$E = \begin{bmatrix} -\lambda_1 & \mu_1 & \mu_2 & 0 \\ \lambda_1 & -(\lambda_2 + \mu_1) & 0 & \mu_2 \\ 0 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) & \mu_1 \\ 0 & \lambda_2 & \lambda_1 & -(\mu_1 + \mu_2) \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda_1 P_1(t) + \mu_1 P_2(t) + \mu_2 P_3(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_1 P_1(t) - (\lambda_2 + \mu_1) P_2(t) + \mu_2 P_4(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \mu_2) P_3(t) + \mu_1 P_4(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_2 P_2(t) + \lambda_1 P_3(t) - (\mu_1 + \mu_2) P_4(t) \end{cases}$$

La fiabilité :

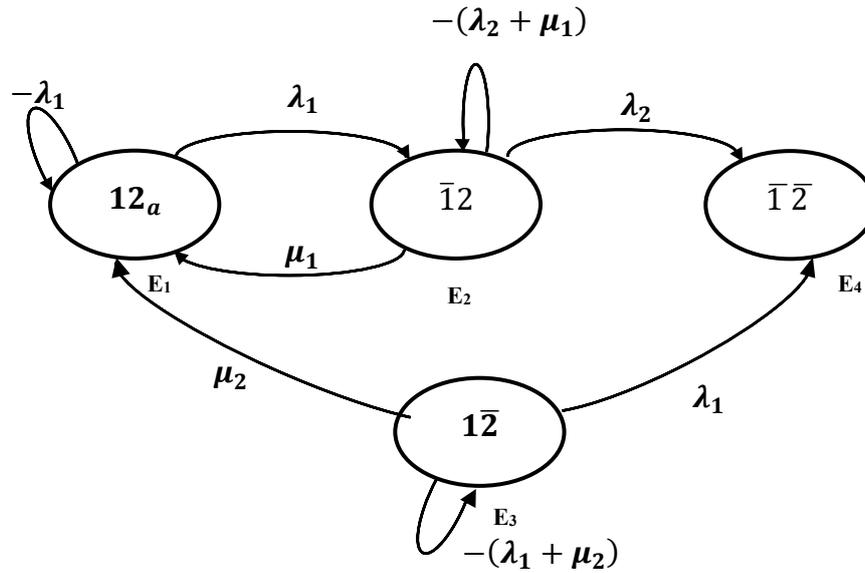


Figure A.1.2.2. Graphe de Markov absorbant-Expander & Joule Thomson-Redondance passive (1+1)

Voici la matrice des taux de transition ainsi que le système d'équations différentielles correspondant :

$$E = \begin{bmatrix} -\lambda_1 & \mu_1 & \mu_2 & 0 \\ \lambda_1 & -(\lambda_2 + \mu_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda_1 P_1(t) + \mu_1 P_2(t) + \mu_2 P_3(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_1 P_1(t) + (\lambda_2 + \mu_1) P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \mu_2) P_3(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_2 P_2(t) + \lambda_1 P_3(t) \end{array} \right.$$

La démonstration de la MTBF et λ :

Les conditions initiales : $P_1(0) = 1$; $P_2(0) = 0$; $P_3(0) = 0$

Et les conditions finales : $P_1(\infty) = 0$; $P_2(\infty) = 0$; $P_3(\infty) = 0$

Après intégration on obtient :

$$-1 = -\lambda_1 T_1 + \mu_1 T_2 + \mu_2 T_3$$

$$0 = \lambda_1 T_1 - (\lambda_2 + \mu_1) T_2$$

$$0 = -(\lambda_1 + \mu_2) T_3$$

Donc :

$$-1 = (-\lambda_2) T_2 \rightarrow \begin{cases} T_2 = \frac{1}{\lambda_2} \\ T_1 = \frac{\lambda_2 + \mu_1}{\lambda_1 \lambda_2} \\ T_3 = 0 \end{cases}$$

D'où :

$$MTBF = T_1 + T_2 + T_3$$

$$MTBF = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3}{\lambda_1 \lambda_2}$$

Donc :

$$\lambda_e = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3}$$

***Annexe B : Les problèmes rencontrés
dans l'expédition de gaz traité***

Les phénomènes de formation d'hydrates et de condensats représentent des défis majeurs dans le transport du gaz. Leur apparition se produit sous des conditions spécifiques, variables en fonction de la composition chimique du gaz.

B.1 La formation des condensats :

Sous certaines conditions de température et de pression, de la gazoline (condensats) se dépose au niveau des points bas du gazoduc. Le condensats s'accumule et, atteignant un certain volume, se met en mouvement le long de la conduite entraînant des perturbations dans les régimes de fonctionnement du gazoduc. Les accumulations de condensat provoquent également une diminution de la section utile se traduisant par des pertes de charge supplémentaires.

Pour réduire les problèmes liés à l'encrassement et aux dépôts dans les pipelines on a recours à des envois régulier de dispositifs de nettoyage (sphères et racleurs). [12]

B.2 La formation d'hydrate :

Les hydrates sont des substances blanches, solides et semblables à de la glace qui se forment à des pressions élevées et à des températures basses en raison d'une interaction entre une phase d'eau liquide et des composants légers du gaz naturel.

Le début de formation d'un bouchon d'hydrates augmente la perte de charge dans la conduite, donc crée une détente supplémentaire du gaz, ce qui a pour effet de le refroidir et donc d'entretenir et d'accélérer la formation des hydrates. [13]

B.2.1 Facteurs de formation d'hydrates :

Il y a formation d'hydrates lorsque les conditions suivantes sont simultanément réalisées.

B.2.1.i Présence d'eau liquide :

Un gaz naturel saturé ou non en eau ne donne pas lieu à la formation d'hydrates. Celle-ci ne peut intervenir qu'en présence d'eau liquide par exemple libérée par le gaz au cours d'un changement des conditions de pression ou de température. [13]

B.2.1.ii Présence d'hydrocarbures légers :

Seuls les quatre premiers hydrocarbures (méthane, éthane, propane, butane) sont susceptibles de former des hydrates en présence d'eau liquide. D'autres corps tels que le gaz carbonique ou l'hydrogène sulfuré peuvent également former des hydrates avec l'eau. [13]

B.2.1.iii Réalisation de certaines conditions de température et de pression :

Pour que des hydrates puissent se former, il faut pour un gaz donné que la pression soit suffisamment élevée et la température suffisamment basse. [13]

La formation des hydrates est **favorisée** par un certain nombre de facteurs :

- Tourbillons
- Vitesse du gaz
- Coude, orifice, changement de φ
- Phénomène auto amplifié
- Haute pression
- Basse température

B.2.1.iv Domaine de formation des hydrates :

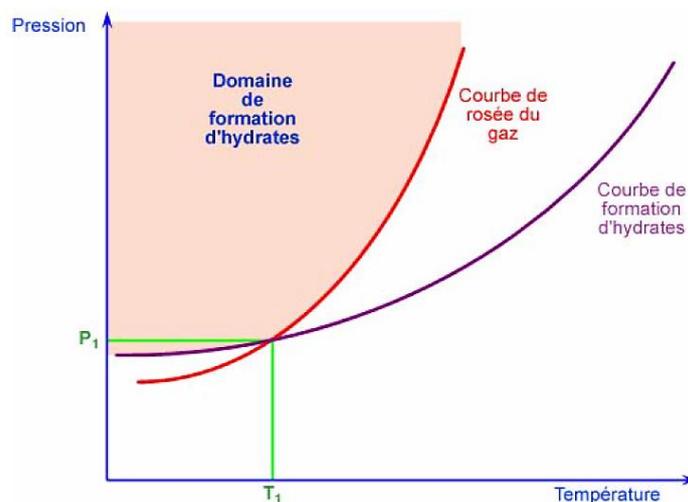


Figure B.2.1.1. Domaine de formation des hydrates

Plusieurs différentes solutions sont envisagées pour atténuer la formation d'hydrates :

- **Déplacement du domaine de fonctionnement :** Le déplacement du domaine de fonctionnement s'obtient, par la mise en place de réchauffeurs en amont (et/ou avec calorifugeage pour les conduites courtes). [13]

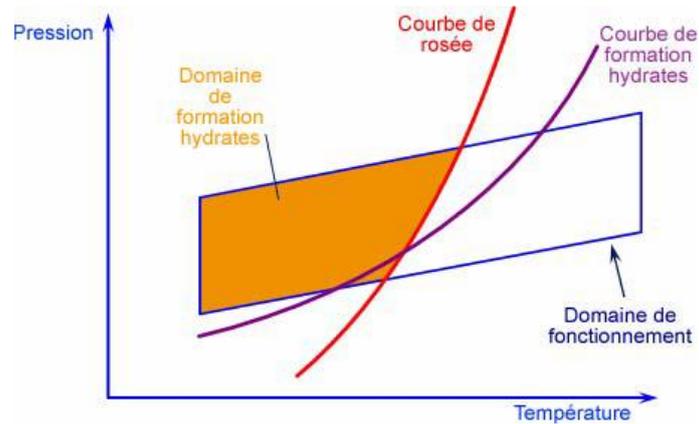


Figure B.2.1.2. Domaines de Fonctionnement

- **Déplacement de la courbe de rosée eau :** Ceci peut être obtenu en déshydratant suffisamment le gaz à l'entrée de l'ouvrage, ce qui revient à déplacer la courbe de rosée eau initiale du gaz vers la gauche. [13]

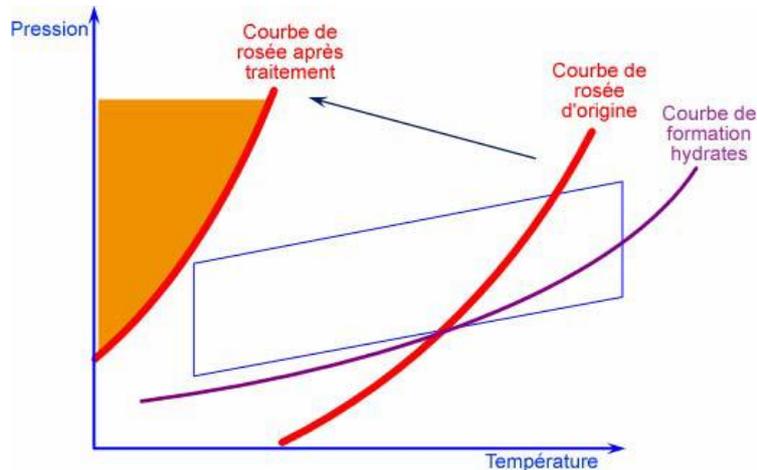


Figure B.2.1.3. Courbe de Rosée Eau

- **Déplacement de la courbe d'hydrate :** déplacer la courbe de formation des hydrates en dehors du domaine de l'ouvrage. [13]

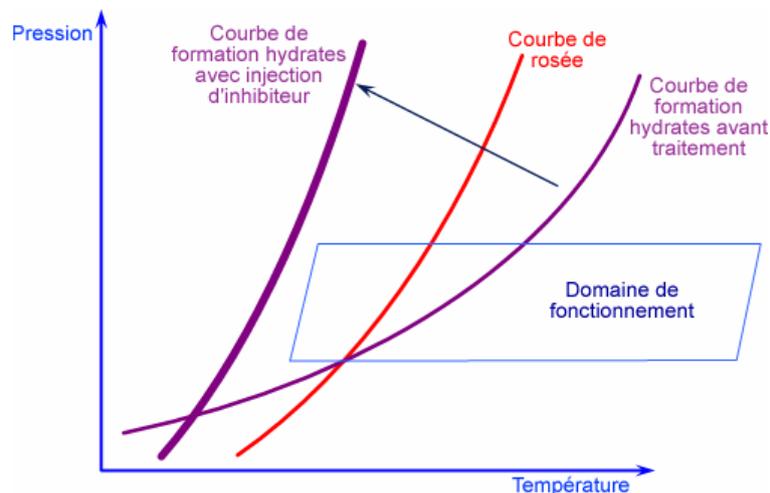


Figure B.2.1.4. Courbe d'Hydrate

***Annexe C : Déshydratation par
adsorption-Tamis moléculaire-***

Il existe plusieurs types de déshydratation que l'on peut utiliser dans le traitement du gaz. Les procédés de déshydratation les plus utilisés sont :

- Les unités d'absorption aux différents glycols (D.E.G.) et (T.E.G.)
- Les unités d'absorption au méthanol
- Les tamis moléculaires

C.1 Principe de la déshydratation par adsorption :

Les propriétés de certains solides permettent aux dessiccants de fixer superficiellement certaines molécules. [13]

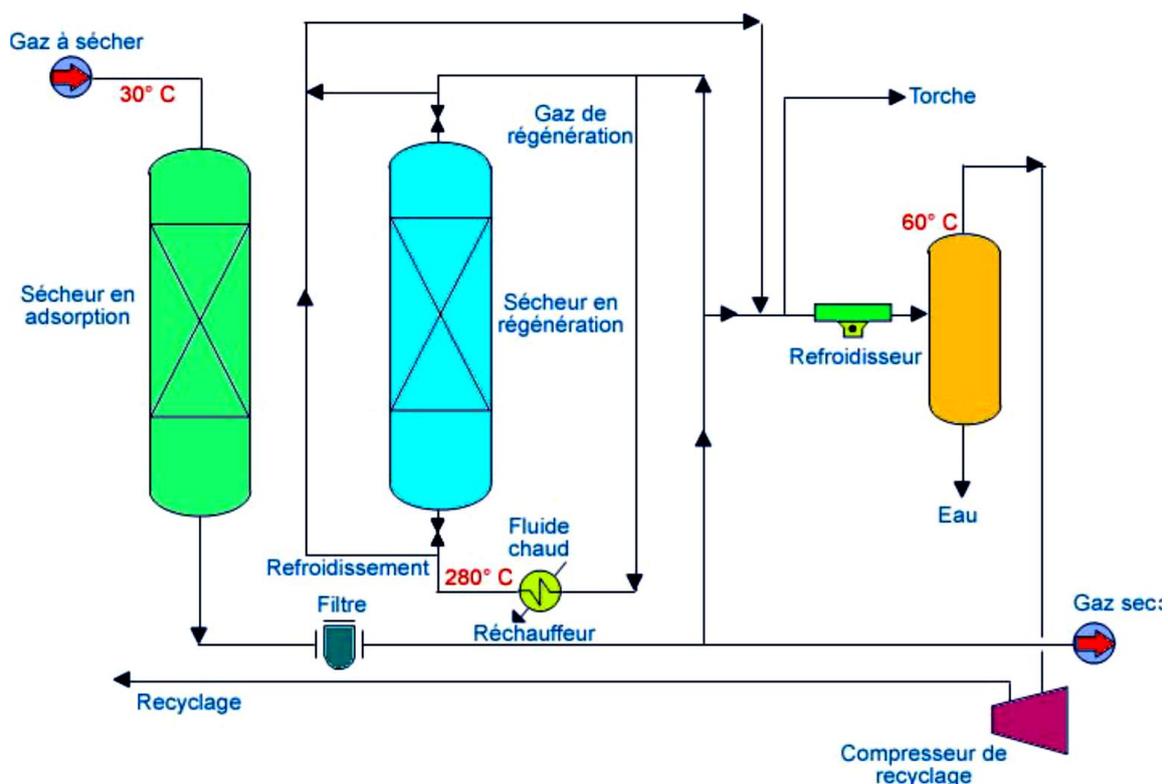


Figure C.1.1. Déshydratation par adsorption

Les principaux dessiccants sont :

- **Alumine** : Bonne activité mais se dégrade en absorbant les hydrocarbures lourds qui ne sont pas éliminés par chauffage. [13]
- **Silicagels** : Ce sont des substances amorphes très actives, faciles à régénérer et qui adsorbent moins les hydrocarbures lourds. Ils sont sensibles à l'eau liquides. [13]

- **Tamis moléculaires :** Ils se composent de cristaux de zéolithe (aluminosilicates de calcium et de sodium) dont la structure cristalline des pores de dimension bien définie suivant le type choisi. [13]

Les molécules polaires comme l'eau sont retenues prisonnières à l'intérieur de ces pores. D'autres corps tels H₂S peuvent être adsorbés.

Ce sont les dessiccants les plus actifs mais ils demandent plus de chaleur de régénération. Ils sont assez fragiles et très chers mais leurs rapports rendement efficacité / prix justifie leur emploi dans beaucoup de sections de séchage des gaz en amont des procédés de fractionnassions & de liquéfaction. [13]

Ils sont sensibles aux hydrocarbures lourds, les dépôts d'huile de lubrification ou de glycol et nécessitent impérativement l'installation de filtres très fins en amont des turbo-expandeurs (incident sur le Rotoflow du GPL de Karstoe en Norvège par abrasion du rotor par les "fines" provenant des trois tours de séchage). [13]

Tous ces produits se dégradent peu à peu par suite de la présence de "poisons". Il est donc nécessaire d'en débarrasser le gaz dans la mesure du possible en amont des adsorbeurs, afin de prolonger leur vie (1 à 3 ans environ). [13]

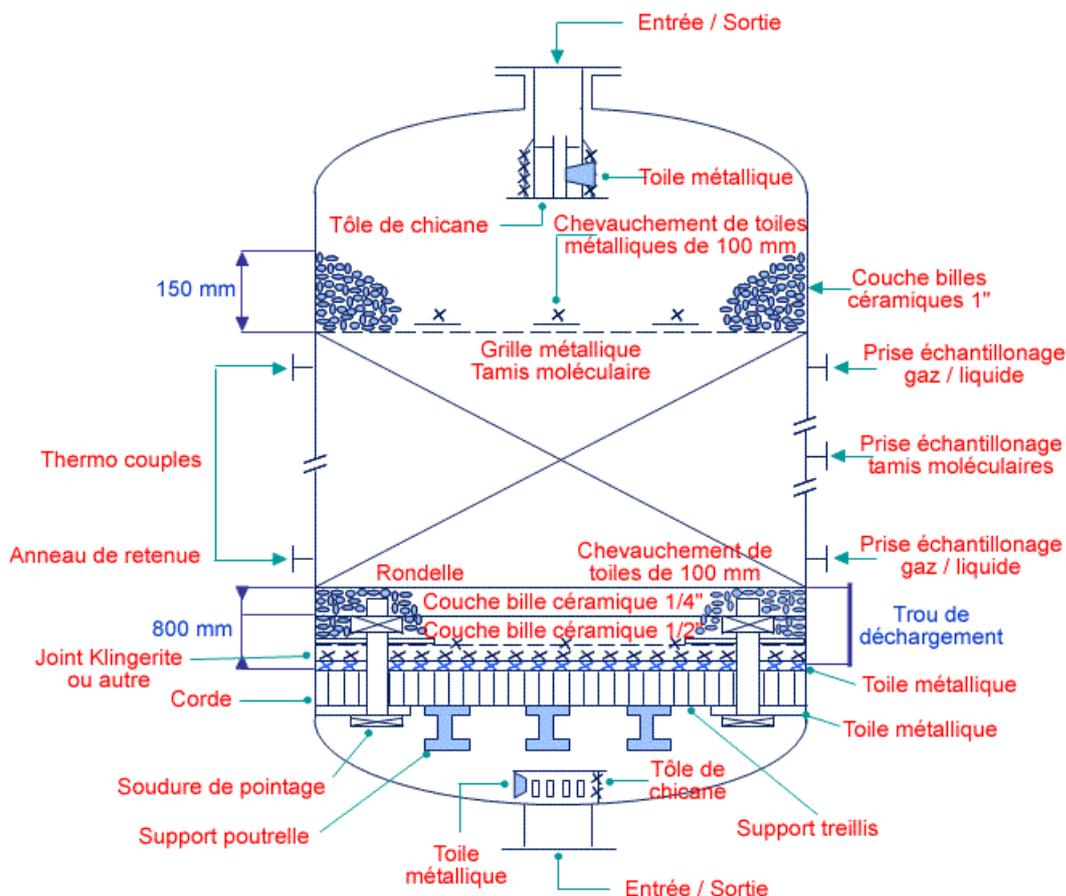


Figure C.1.2. Schéma d'un adsorbteur à tamis moléculaires