



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي

Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité prévention et intervention

Thème

Etude SIL (Safety Integeity Level)

Préparer par :

KHELIF Mohamed Amine

DOUANE Mohammed Abdelmajid

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Etablissement	Qualité
Mme Khadidja BELOUFA	Univ d'Oran 2/IMSI	Président
Mme Nawel HABEL	Univ d'Oran 2/IMSI	Encadreur
Mme Amel MECHKEN	Univ d'Oran 2/IMSI	Examineur

Année 2021/2022

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

*REMERCIEMENTS A notre Encadreur « Mme HABEL»
Votre compétence, votre encadrement a toujours suscité notre profond respect. on vous remercie pour votre accueil et vos conseils. on remercie également « Mme: Mechkan Amel et Beloufa Khaddidja...» d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail. Nous tenons aussi à remercier les personnels du Groupement TFI surtout «Mr: G.Badis» qui s'est toujours montrés à l'écoute et qui était disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire et durant notre stage, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer. On tient à remercier chaleureusement, tous nos proches et tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont apporté leurs sollicitudes pour accomplir ce Travail.*

DEDICACE

Il est naturel que ma pensée la plus forte aille vers ma mère, à qui je dois la vie et une part essentielle de ma personnalité. Qu'elle sache que l'amour qu'elle me donne continue à m'animer et me permet d'envisager l'avenir comme un défi. Ce travail est dédié à mon père, avec qui je souhaitais être avec moi aujourd'hui, qui m'a toujours motivé dans mes études. J'espère que cet humble geste sera apprécié comme un signe de gratitude de la part de votre fils qui a toujours prié pour le salut de son âme. La miséricorde de Dieu!

Mes chères sœurs, mes chers neveux, mes cousins, Tous les membres de ma famille pour leur affection.

Je remercie également mon binôme DOUANE Majid pour sa fidélité, sa compréhension, patience et son aide tout au long de mon parcours universitaire,

*Ainsi mes amis Yacine, Youcef, Walid et toute la section SPI
HSI.....*

Amin

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez, pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis ma naissance, vous représentez pour moi le symbole de la bonté.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Mes très chères sœurs et mes très chers frères

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.

Tous les membres de ma famille, petits et grands surtout mes nièces et mon neveu

A mon cher ami et Co-binôme AMINE Khelif pour tous les moments de joies de peines qu'on a passé ensemble et à sa famille

Mes chers amis et collègues du section SPI de HSI

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

Majid

Table des matières

REMERCIEMENTS	
DÉDICACE	
TABLE DES MATIÈRES	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des annexes	
Introduction générale.....	1
Chapitre 01 : Concept généraux et détermination du niveau d'intégrité SIL	
1 .Introduction.....	05
2 .Concepts généraux.....	05
2.1 Notion de danger.....	05
2.2 Notion de risque.....	05
2.3 Notion d'accident.....	06
2.4 Notion de sécurité.....	07
2.5 Sécurité fonctionnelle.....	07
2.5.1 Définition	07
2.5.2 Système E/E/EP.....	07
3. Norme de la sécurité fonctionnelle	07
3.1 Norme IEC 61508.....	07
3.2 Norme IEC 61511.....	08
4. Méthode d'analyse HAZOP.....	09
4.1 Historique HAZOP.....	09
4.2 Définition HAZOP.....	10
4.3 Domaine d'application.....	11
4.4 Procédure HAZOP.....	11
5. Système instrumentés de sécurités (SIS).....	16
5.1 Définition SIS.....	16
5.2 Composition d'un SIS.....	16
5.3 Fonction instrumentée de sécurité SIF.....	17
6. Niveau d'intégrité de sécurité SIL.....	19
6.1 Méthode pour détermination SIL.....	19
6.1.1 Méthodes quantitatives.....	20
6.1.2 Méthodes qualitatives.....	21
6.1.3 Graphe de risque étalonné.....	22
Chapitre 02: Présentation de l'entreprise et identification de ses différentes installations.	
Introduction.....	27
1. Présentation de l'entreprise	27

1.1	Implantation.....	27
1.2	Dates significatives.....	27
1.3	Données météorologiques.....	28
2.	L'usine de GTFT.....	28
2.1	Les spécifications des produits d'expédition.....	28
2.2	Les Installations	28
2.3	Paramètre de l'unité de traitement.....	29
2.4	Description du procédé.....	29
2.5	Système de commande.....	32
2.6	Organigramme du groupement TFT.....	32
2.7	Moyens de sécurité	33
2.7.1	Réseau de distribution d'eau incendie et de mousse.....	33
2.7.2	Véhicules et appareils mobiles.....	34
2.7.3	Extinction par gaz inertes.....	35
2.8	Systèmes de sécurité.....	36
2.8.1	Système ESD.....	36
2.8.2	Système F&G	36
	Conclusion.....	38

Chapitre 03: Le gaz du pétrole liquéfié

	Introduction.....	40
1.	Comportement des gaz.....	40
1.1	Les facteurs qui influencent le comportement d'un gaz	41
1.2	Courbe de tension de vapeur des corps purs	42
2.	Stockage des gaz liquéfiés.....	43
2.1	Stockage sous pression	43
2.2	Stockages réfrigérés sous pression.....	43
2.3	Stockages cryogéniques.....	44
3.	Le gaz du pétrole liquéfié GPL	45
3.1	Définition.....	45
3.2	Historique	45
3.3	Composition.....	45
3.4	Caractéristiques des GPL	45
3.5	Les caractéristiques physico-chimiques du butane et du propane.....	46
3.6	Utilisation des GPL	47
3.7	Avantages et inconvénients du GPL	48
4.	Stockage aérien sous pression.....	48
4.1	Réservoirs cylindriques ou Cigares.....	49
4.2	Sphères.....	49
4.3	Equipements des réservoirs sous pression.....	50
5.	Risque liés aux GPL.....	51
5.1	Fuite de GPL	51
5.1.1	Fuite de GPL dans la phase gazeuse	52
5.1.2	Fuite de GPL dans la phase liquide	52
5.2	Feux de GPL	53
5.2.1	Feu de flash.....	53
5.2.2	Feux de nappe.....	53
5.2.3	Feu de chalumeau (jet fire).....	54

5.2.4 VCE.....	55
5.2.5 BLEVE.....	57
Conclusion.....	62

Chapitre 04 : Evaluation des risques au niveau de ballon de reflux et la sphère de stockage.

Introduction.....	64
1. Evaluation du risque lié au ballon de reflux de GPL V41504/2504.....	64
1.1 Présentation du système étudié.....	64
1.1.1 Description du ballon de reflux V4 1504/2504.....	64
1.1.2 Décomposition structurelle et fonctionnelle du ballon V4 1504.....	66
1.1.3 Application de la méthode HAZOP sur le ballon de reflux de GPL V41504/2504.....	66
2. Evaluation du risque lié à la sphère V64101 de stockage de GPL.....	73
2.1 Présentation du système étudié.....	73
2.1.1 Description de la Sphère V14101.....	73
2.1.2 Décomposition structurelle et fonctionnelle de la Sphère V1 4101.....	75
2.1.3 Application de la méthode HAZOP sur la sphère de stockage de GPL V6 4101.....	75
3. SIL requis.....	82
3.1 Allocation du niveau d'intégrité de sécurité (SIL requis ballon de reflux V41504).....	83
3.1.1 SIF de très bas niveau dans le ballon de reflux V41504.....	85
3.2 Allocation du niveau d'intégrité de sécurité (SIL requis la sphère de stockage V6 4101).....	88
3.2.1 SIF de haute pression dans la sphère de stockage V6 4101.....	88
3.2.2 SIF de très bas niveau dans la sphère V64101.....	89
3.3 Mise en œuvre de la méthode des graphes des risques(SIL).....	93
Conclusion générale.....	95

Références bibliographiques

Annexes

Liste des tableaux

CHAPITRE 01

Tableau 1.1 : des plus graves accidents industriels survenus dans le monde entre 1960 et 2001.....	06
Tableau 1.2 : Mots guides.....	12
Tableau 1.3 : Matrice de risque.....	13
Tableau 1.4 : Échelle de gravité.....	14
Tableau 1.5 : Échelle de probabilité.....	15
Tableau 1.6 : Niveaux d'intégrité de sécurité selon la norme CEI 61508	19
Tableau 1.7 : Signification des termes utilisés dans la méthode des graphes de risques.....	22
Tableau 1.8 : Échelles de cotation des paramètres d'évaluation du risque.....	23
Tableau 1.9 : Graphes de risque sécurité des personnes d'après IEC.....	24
Tableau 1.10 : : Graphes de risque "l'environnement" et "Dommages Aux biens" d'après IEC61511.....	25

CHAPITRE 02

Tableau 2.1 : Répartition des systèmes d'extinction automatique FM 200	35
Tableau 2.2 : les différents systèmes de détection et extinction automatique et manuelle.....	37

CHAPITRE 03

Tableau 3.1 : Stockage sous pression	43
Tableau 3.2 : Stockage réfrigéré.....	44
Tableau 3.3 : Stockage cryogénique.....	44
Tableau 3.4 : Propriétés physico-chimique du butane et du propane.....	46
Tableau 3.5 : Dimension du réservoir et le temps possible d'occurrence du BLEVE.....	60
Tableau 3.6 : Dimension du réservoir et rayon de la boule de feu	60
Tableau 3.7 : Dimension du réservoir et distance minimale d'approche.....	61
Tableau 3.8 : Dimension du réservoir et rayon d'évacuation	62

CHAPITRE 04

Tableau 4.1 : données technique de la sphère V64101.....	64
Tableau 4.2 : Etude de danger réalisé par DNV sur les Sites STAH, HRM, CINA à 2010.....	67
Tableau 4.3 : Tableau du Niveau de Risque.....	67
Tableau 4.4 : Tableau de la méthode HAZOP de V41504 (pression	69
Tableau 4.5 : Tableau de la méthode HAZOP de V41504 (niveau).....	71
Tableau 4.6 : Tableau de la méthode HAZOP de V41504 (température).....	72

Tableau 4.7 : Données technique de la sphère V6 4101.....	73
Tableau 4.8 : Tableau de la méthode HAZOP de V6 4101 (niveau).....	77
Tableau 4.9 : Tableau de la méthode HAZOP de V64101 (pression).....	79
Tableau 4.10 : Tableau de la méthode HAZOP de V64101 (température).....	81
Tableau 4.11 : la fonction de sécurité de haute pression dans le ballon de GPL V41504.....	85
Tableau 4.12 : la Fonction de sécurité de très bas niveau au niveau de V41504.....	85
Tableau 4.13 : étude SIL au niveau de ballon de GPL V41504 (1).....	86
Tableau 4.14 : étude SIL au niveau de ballon GPL V41504.....	87
Tableau 4.15 : SIF de régulation de pression dans la sphère.....	89
Tableau 4.16 : Fonction de sécurité de très bas niveau dans la sphère de GPL.....	89
Tableau 4.17 : étude SIL au niveau de la sphère de stockage V64101 (1).....	90
Tableau 4.18 : étude SIL au niveau de la sphère de stockage V64101.....	91
Tableau 4.19 : étude SIL au niveau des pompes booster A/B/C.....	92
Tableau 4.20 : Niveaux SIL retenus pour chaque fonction de sécurité instrumentée	94

Liste des figures

CHAPITRE 01

Figure 1.1 Caractérisation du risque.	06
Figure 1.2 CEI61508 et ses déclinaisons par secteur d'application	08
Figure 1.3 Relation entre l'IEC61508 et L'IEC61511.....	09
Figure 1.4 Historique HAZOP	10
Figure 1.5 Schéma d'un Système Instrumenté de Sécurité.....	16
Figure 1.6 : Fonction instrumentée de sécurité.....	18
Figure 1.7 : Schéma d'un arbre d'événements.....	21

CHAPITRE 02

Figure 2.1 : Situation géographique de l'usine de GTFT.....	27
Figure 2.2 : unité de traitement (Train 1 et 2).....	29
Figure 2.3 : schéma général des différentes phases du traitement du gaz.....	31
Figure 2.4 : Organigramme Direction Générale de GTFT.....	32
Figure 2.5 : Organigramme Direction Centre de Production de GTFT.....	33
Figure 2.6 : Test des déluges au niveau des sphères.....	34
Figure 2.7 : Racks bouteilles des compresseurs de gaz résiduel.....	35

CHAPITRE 03

Figure 3.1 : Les trois états de la matière	40
Figure 3.2 : Transformation de la matière	41
Figure 3.3 : Mouvement d'une particule de gaz	41
Figure 3.4 : Courbe de tension de vapeur des corps purs	42
Figure 3.5 : les courbes de tension de vapeurs du propane, butane et GPL	43
Figure 3.6 : Types de stockage des gaz liquéfiés	44
Figure 3.7 : Vue extérieur de réservoirs sous pression	48
Figure 3.8 : Sphère sur poteaux	49
Figure 3.9 : Sphère sous talus	49
Figure 3.10 : Les principaux équipements d'un réservoir sous pression	51
Figure 3.11 : Fuite de GPL dans la phase gazeuse	52
Figure 3.12 : Fuite de GPL dans la phase liquide	52
Figure 3.13 : Feu de nappe	53
Figure 3.14 Feux de chalumeau (jet fire)	55
Figure 3.15 : Vitesse de combustion	56
Figure 3.16 : Mécanisme de rupture du réservoir	58
Figure 3.17 : Rupture d'un réservoir de propane liquéfié	58
Figure 3.18 : Exemple de la boule de feu	61
Figure 3.19 : Phénomène de BLEVE	62

CHAPITRE 04

Figure 4.1 : Ballon de reflux de GPL V41504.....	65
Figure 4.2 : Les sous-systèmes de ballon de reflux de GPL.....	66
Figure 4.3 : Sphère de stockage de GPL V6 4101.....	74
Figure 4.4 : Les sous-systèmes de la sphère de stockage de GPL.....	75
Figure 4.5 : Démarche de la CEI61508: risque et niveau d'intégrité de sécurité.....	82
Figure 4.6 : Les boucles de sécurité du ballon de GPL V41504.....	84
Figure 4.7 : Arbre de défaillances des barrières protégeant le ballon contre la surpression et le BLEVE....	88

Liste des abréviations

- ALARP**: As low as reasonably practicable
- ADE**: Arbre des évènements
- APE**: Appareil électrique
- APG**: Appareil à pression de gaz
- API**: American petroleum institute

APL : Appareil de levage
APR: Analyse préliminaire des risques
AMDEC: Analyse des modes de défaillance et leurs effets et leurs criticités
CND : Contrôle non-destructif
BHP: Bottom hole pressure
BLEVE: Boiling liquide expanding vapour explosion
BSI: British standard institution
CEI: Comission électrotechnique internationale
DCS: Distributed control system
DP: Division production
EIA : Etude d'impact environnemental
ESD : Emergency shutdown
FGCP: Fire and gas control panel
FSH : Flow switch high
FV : Flow valve
GMAO : Gestion de la maintenance assistée par ordinateur
GNL: Gaz naturel liquéfié
GPL: Gaz du pétrole liquéfié
HAZOP: Hazard and operability
HIC: Hand indication control
HSE: Health safety environment
ISO: International standardization organization
KPI: Key performance indicators
LOPA: Layers of protection analysis
LSH: Level switch high
LSL: Level switch low
MPR: Moto pompe roulante
ODM: Ordre de la maintenance
ORSEC: Organisation des secours
PAM: Plan d'aide mutuelle
PCS : Pouvoir calorifique supérieur
PDT : Permis de travail
PFD : Process flow diagram
PHA: Process hazard analysis
PHAST: Process hazard analysis software tool
PIC: Pressure indication control
P&ID: Piping and instrumentation diagram
PII: Plan d'intervention interne
PS : Véhicule premier secours
PSH: Pressure switch high
PSL: Pressure switch low
PSV: Pressure safety valve
PV: Pressure valve
QRA: Quantitative Risk Analysis
REVEIL: Reporting des évènements indésirables
RTE: Région transport est
SDC: Salle de contrôle
SGE : Système de gestion environnementale
TBT: Toolbox Talk
TFT: Tin fouye tabenkourt
TSH: Temperature switch high
TSL: Temperature switch low

TL: Trunck line
UPS : Uninterruptible power supply
VCE: Vapour cloud explosion
VMR : Véhicule mixte roulant

Problématique

A l'heure actuel, l'industrie des hydrocarbures représente une source de développement et d'énergie irremplaçable à travers le monde et particulièrement en Algérie. Cependant, l'évolution de l'industrie pétrolière à un apport à la fois sur le progrès technique et sur la maîtrise de certains risques; toutefois, d'autres risques sont omniprésents, c'est le cas des risques incendie/explosion, risques de pressions, risques électriques, etc.

Durant l'exploitation des hydrocarbures, les capacités de GPL représentent une activité à haut risque, l'historique de cette dernière a montré que les défaillances des capacités de production et de stockage de GPL sont susceptibles de causer des dommages importants sur les personnes, les biens et l'environnement. Dans le monde, plusieurs accidents graves se sont produits et se distinguent par leurs causes, leurs natures et leurs conséquences. A titre d'exemple, nous pouvons citer un accident qui a marqué les mémoires: **Explosion** d'une **sphère** de stockage de gaz liquéfié de la raffinerie de **FEYZIN (04/01/1966)**.

Ainsi, dans une démarche de gestion des risques, les barrières de sécurité et les systèmes instrumentés de sécurité jouent un rôle important pour la prévention des risques majeurs dans les secteurs pétroliers et gaziers. Pour réduire ces risques et assurer l'intégrité des installations, il faut se conformer aux normes de constructions d'une part, d'exploitation et à la réglementation en vigueur en matière de sécurité par la mise en place des mesures de sécurité adéquate, d'autre part.

Pour que cette démarche de gestion des risques soit le plus efficace possible, il convient d'estimer, d'une manière fiable, le risque que présente le processus industriel et d'évaluer la diminution du risque que doit apporter les systèmes instrumentés de sécurité. A ce titre, les experts en matière de sécurité industrielle ont élaboré des méthodes et des outils dédiés à cette tâche combien importante. L'objet de ces méthodes est d'obtenir des résultats précis en fonction de la disponibilité des données.

L'enjeu principal de ce travail est d'analyser et d'évaluer les barrières de sécurité existantes sur les capacités les plus importantes de GPL au niveau de Groupement TFT (In Amenas) qui sont les ballons accumulateurs de GPL dans les trains de production et les sphères de stockages.

L'usine de traitement de gaz de GTFT contient une zone de stockage d'une capacité importante, avec trois sphères de stockage de GPL de 500 m³ pour chacune d'elles, et deux trains de production avec un ballon accumulateur de GPL d'une capacité de 40.8 m³ pour chaque train, ce qui augmente l'ampleur des conséquences en cas d'accident dans ces zones. Pour cela, nous avons opté au niveau de ce travail pour une analyse des risques liée aux capacités de GPL.

Objectif

Dans cette optique, le présent mémoire a pour objet principal l'évaluation de la performance des couches de protection et les SIS associés à une sphère de stockage de GPL et un ballon de reflux de GPL dans le champ de GTFT, selon la démarche des normes CEI 61508 et CEI 61511,

en utilisant les méthodes HAZOP (HAZard and Operability studies), SIL (safety integrity level), et la méthode de graphe de risque. En effet, Le processus d'étude SIL est divisé en étapes comme suit:

- Sélectionnez la Fonction Instrumentée de Sécurité (SIF).
- Description narrative des SIF.
- Décrivez l'intention de conception de cette SIF.
- Déterminer, depuis l'étude HAZOP ou la réflexion en groupe, toutes les causes potentielles/ scénarios potentiels de demande qui déclenchent la SIF.
- Se mettre d'accord sur la crédibilité de chaque cause.
- Identifier les dangers potentiels en termes de:
 - Conséquences de la défaillance du SIS à la demande (C)
 - Sécurité du personnel (S)
 - Effets sur l'Environnement (E)
 - Pertes économiques (A)
 - Occupation ou Présence (F)
 - Probabilité d'éviter la situation dangereuse (P)
 - Taux de sollicitation (W)
- Évaluer les caractéristiques de sécurité préventives, protectrices et d'atténuation.
- Attribuer SIL en fonction des paramètres C, F, P & W
- Convenir d'une recommandation d'action ou d'un examen plus approfondi du problème (le cas échéant)
- Passer à la cause suivante (qui concerne la SIF sélectionnée)
- Passer à la SIF suivante du système jusqu'à ce que tout le système ait été examiné.

Organisation du mémoire

Afin de réaliser cet objectif, nous avons décomposé notre travail en deux parties : théorique et pratique.

- **Partie théorique** : dans cette partie on présente les notions générales utilisées dans notre travail:

Chapitre 01: Concept généraux et détermination du niveau d'intégrité SIL.

Chapitre 02: Présentation de l'unité de traitement de gaz de GTFT .

Chapitre 03: Le gaz du pétrole liquéfié.

Chapitre 04: Evaluation des risques au niveau de ballon de reflux et la sphère de stockage.

- **Partie pratique:** Au niveau de cette partie, une analyse des risques liée à un ballon

accumulateur de GPL et une sphère de stockage de GPL est conduite selon une méthodologie bien spécifique. Cette deuxième partie comporte le chapitre suivant :

- **Chapitre 04:** Evaluation des risques au niveau de ballon de reflux et la sphère de stockage de GPL

En fin, nous clôturons notre étude par une conclusion résumant l'essentiel du travail réalisé.

Chapitre 1 : Concept généraux et détermination du niveau d'intégrité SIL

1.1 Introduction

Toute activité industrielle est susceptible de générer des risques de nature variée d'où la mise en oeuvre d'une gestion des risques est nécessaire.

Ce chapitre présente des notions générales sur la gestion des risques, ses différentes étapes, les barrières de sécurité et plus précisément les systèmes.

2. Concepts généraux

2.1 Notion de danger

Selon Des roches et la norme IEC 61508, le danger désigne une nuisance potentielle pouvant porter atteinte aux personnes, aux biens (détérioration ou destruction) ou à l'environnement. Les dangers peuvent avoir une incidence directe sur les personnes, par des blessures physiques ou des troubles de la santé, ou indirecte, au travers de dégâts subis par les biens ou l'environnement.

Le référentiel O+HSAS 18001 définit le danger comme étant une source ou une situation pouvant nuire par blessure ou atteinte à la santé, dommage à la propriété et à l'environnement du lieu de travail ou une combinaison de ces éléments.

Soulignons que de nombreux termes sont employés, selon les normes ou les auteurs, autour de la notion de danger et la rendent ambiguë. De plus, les dictionnaires associent souvent le terme danger au terme risque. En effet, plusieurs dictionnaires proposent le terme risque comme synonyme du terme danger, ce qui explique le fait qu'un grand nombre de personnes utilisent indifféremment ces termes. Même les documents et les textes officiels confondent danger et risque.

2.2 Notion de risque

Le terme risque a plusieurs significations. De même, les risques peuvent être de nature très variée et beaucoup de classifications ont été proposées.

Les définitions du risque à deux dimensions sont assez proches. Selon Villemeur, le risque est une mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement indésirable et une mesure de ses effets ou conséquences.

Et selon OHSAS 18001, un risque est la combinaison de la probabilité et de la (des) conséquence(s) de la survenue.

Qualitativement le risque se caractérise par :

- L'ampleur des dommages, suite à un événement redouté, selon un critère de gravité (critique, marginal, mineur, insignifiant, etc.). Ce critère tient compte de l'appréciation des conséquences en termes de pertes humaines (blessures, mort) ou en termes de pertes économiques (coût liés aux dégradations, etc).
- Le caractère incertain lié à l'apparition d'un événement redouté (fréquent, rare, improbable, etc.) provoquant le dommage à partir d'une situation dangereuse déterminée.

Selon Gouri veau, le risque peut être défini par l'association d'événements causes et conséquences d'une situation donnée. Les événements-causes peuvent être caractérisés par leur occurrence (P) et les événements-effets par leur impact (I) (voir figure I1.1). La corrélation de ces grandeurs permet de construire un indicateur de risque $R = f(\text{Occurrence}, \text{Impact})$.

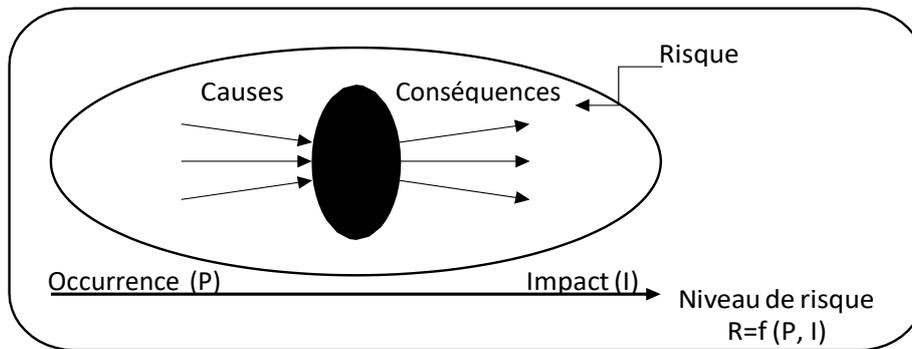


Figure 1.1 : Caractérisation du risque.

2.3 Notion d'accident

Selon OHSAS 18001, l'accident est un événement imprévu entraînant la mort, une détérioration de la santé, des lésions, des dommages ou autres pertes.

Le tableau 1.1 présente un recueil des plus importants accidents industriels survenus dans le monde entre 1960 et 2001.

Accident	Type d'accident	Victimes et dégâts
Feyzin-France(1966)	Incendie d'une industrie de stockage pétrochimique	18morts
Flixborough-Grande-Bretagne(1974)	Explosion sur un site industriel	28morts
Seveso-Italie(1976)	Fuite de dioxine d'une usine chimique	37000personnestouchées
Bhopal-Inde(1984)	Fuite d'un gaz toxique	2500mortset250000blessés
Mexico-Mexique(1984)	Explosion d'une citerne de pétrole liquéfié	500mortset7000blessés
Tchernobyl-Ukraine (1986)	Explosion d'une centrale nucléaire	Plusde15000morts
La Mède-France (1992)	Explosion dans une raffinerie	6 morts et 7 blessés
Toulouse-France (2001)	Explosion d'un site industriel	30 morts et plus de2000 blessés

Tableau 1.1: Recueil des plus graves accidents industriels survenus dans le monde entre1960 et 2001.

L'ampleur et la fréquence de ces accidents ont suscité de nombreux efforts sur les études de risques afin de mieux les prévenir, les prévoir et les gérer.

2.4 Notion de sécurité

La sécurité est souvent définie par rapport à son contraire : elle serait l'absence de danger, d'accident ou de sinistre.

Selon Desroches la sécurité concerne la non occurrence d'événements pouvant diminuer ou porter atteinte à l'intégrité du système, pendant toute la durée de l'activité du système, que celle-ci soit réussie, dégradée ou ait échoué.

Et suivant le guide ISO/CEI 73 élaboré par ISO sur la terminologie du management du risque, la sécurité est l'absence de risque inacceptable, de blessure ou d'atteinte à la santé des personnes, directement ou indirectement, résultant d'un dommage au matériel ou à l'environnement.

2.5 Sécurité fonctionnelles

2.5.1 Définition

Selon la norme IEC 61061 [IEC61061, 1998], la sécurité fonctionnelle est le sous ensemble de la sécurité globale se rapportant à la machine et au système de commande de la machine qui dépend du fonctionnement correct des systèmes électriques de commande relatifs à la sécurité, des systèmes relatifs à la sécurité basés sur une autre technologie et des dispositifs externes de réduction de risque.

2.5.2 Système E/E/EP

Les systèmes de sécurité sont définis en termes d'absence de risque inacceptable de blessure ou de préjudice à la santé des personnes et à la dégradation de l'environnement. Les dommages aux personnes peuvent être directs ou indirects, comme des dommages aux biens ou à l'environnement par Certains systèmes peuvent être principalement conçus pour se prémunir contre des pannes ayant des implications économiques majeures. Ceci signifie que dans l'esprit, à objectifs technique comparables ou identiques, il n'y a pas une grande différence entre un système de sécurité et un système de contrôle.

Un système E/E/EP (électrique/électronique/électronique programmable) relatif aux applications de sécurité comprend tous les éléments du système nécessaires pour remplir la fonction de sécurité, c'est-à-dire, depuis le capteur, en passant par l'unité logique de traitement, jusqu'à l'élément final (la partie actionneur), tout en tenant compte des actions de l'opération du système.

La norme IEC 61508 peut être utilisée pour développer n'importe quel système E/E/EP comportant des fonctions critiques, telles que la protection des équipements, des biens ou de l'environnement.

3. Normes de la sécurité fonctionnelle

3.1 Norme IEC 61508

La norme IEC 61508 est un ensemble de règles et de recommandations permettant l'amélioration de la sécurité par l'utilisation des systèmes électriques, électroniques programmables (E/E/EP). Cette norme orientée performances, propose une démarche opérationnelle permettant de mettre en place un système E/E/EP à partir de l'étude des exigences de sécurité issues notamment d'une analyse des risques.

L'avantage de cette norme est qu'elle propose des moyens de justification sur l'ensemble du cycle de vie d'un produit en fonction du niveau de sécurité que l'on souhaite atteindre.

La norme IEC 61508 se compose de sept volets comme suit :

- 61508-1 présente les définitions des prescriptions générales.
- 61508-2 traite les prescriptions spécifiques aspect matériel des systèmes E/E/EP.
- 61508-3 dédiée à la présentation des prescriptions spécifiques, aspect logiciel, des

Systèmes E/E/EP. Elle est développée dans la troisième partie de la norme.

- 61508-4 présente les définitions et les abréviations utilisées.
- 61508-5 donne des exemples de méthode pour la détermination des niveaux d'intégrité de sécurité.
- 61508-6 fournit les guides d'application des parties 2 et 3 de la norme.
- 61508-7 présente les techniques et les mesures recommandées lors de la validation des systèmes E/E/EP.

La complexité de la norme IEC 61508 a conduit ses concepteurs à développer des normes relatives a des secteurs bien précis (ex : machines, processus industriels, ferroviaire, centrales nucléaires ...). (La figure1.2) montre la norme IEC 61508 générique ainsi que ses normes filles selon le secteur d'activité concerné. Elle influence le développement des systèmes E/E/EP et les produits concernés par la sécurité dans tous les secteurs.

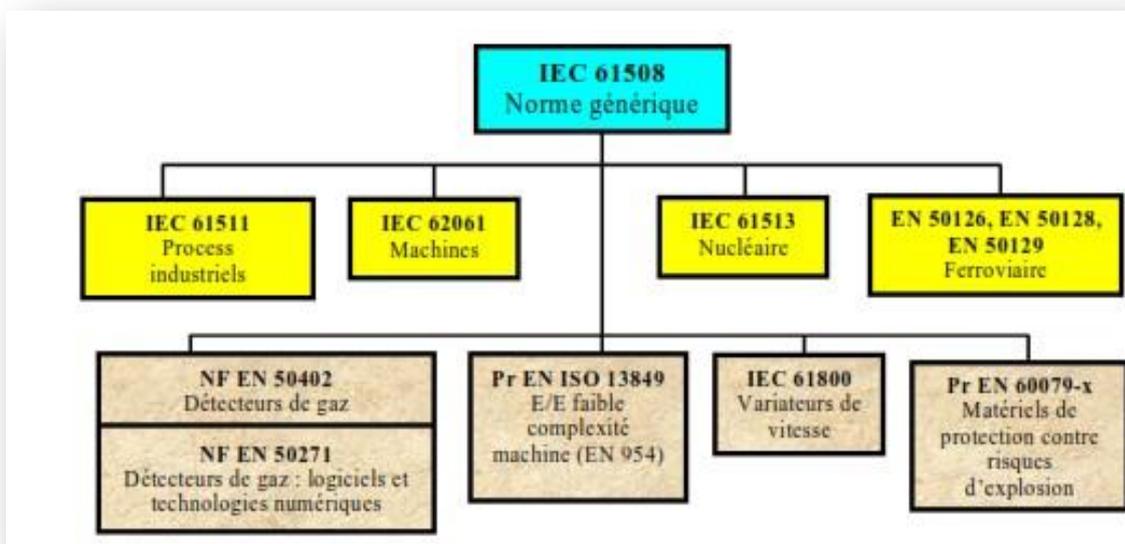


Figure 1.2: CEI61508 et ses déclinaisons par secteur d'application

3.2 La norme IEC 61511

L'IEC 61511, s'intéresse à la sécurité fonctionnelle des SIS pour le secteur de l'industrie des procédés continus, Les remarques faites ci-dessus pour l'IEC 61508 s'appliquent également à l'IEC 61511. Cette norme est composée de trois grandes parties :

- 61511-1 présente les définitions et les exigences des systèmes (matériel et logiciel).
- 61511-2 traite les lignes directrices pour l'application de la première partie de la norme.
- 61511-3 fournit des conseils pour la détermination des niveaux d'intégrité de sécurité.

L'IEC 61511 détaille les définitions et les prescriptions relatives au cycle de vie en sécurité contenant la spécification, la conception, l'exploitation et la maintenance d'un système instrumenté de sécurité, afin de maintenir le procédé dans une position de sécurité convenable.

La (figure 1.3) montre la relation entre IEC 61508 et IEC 61511

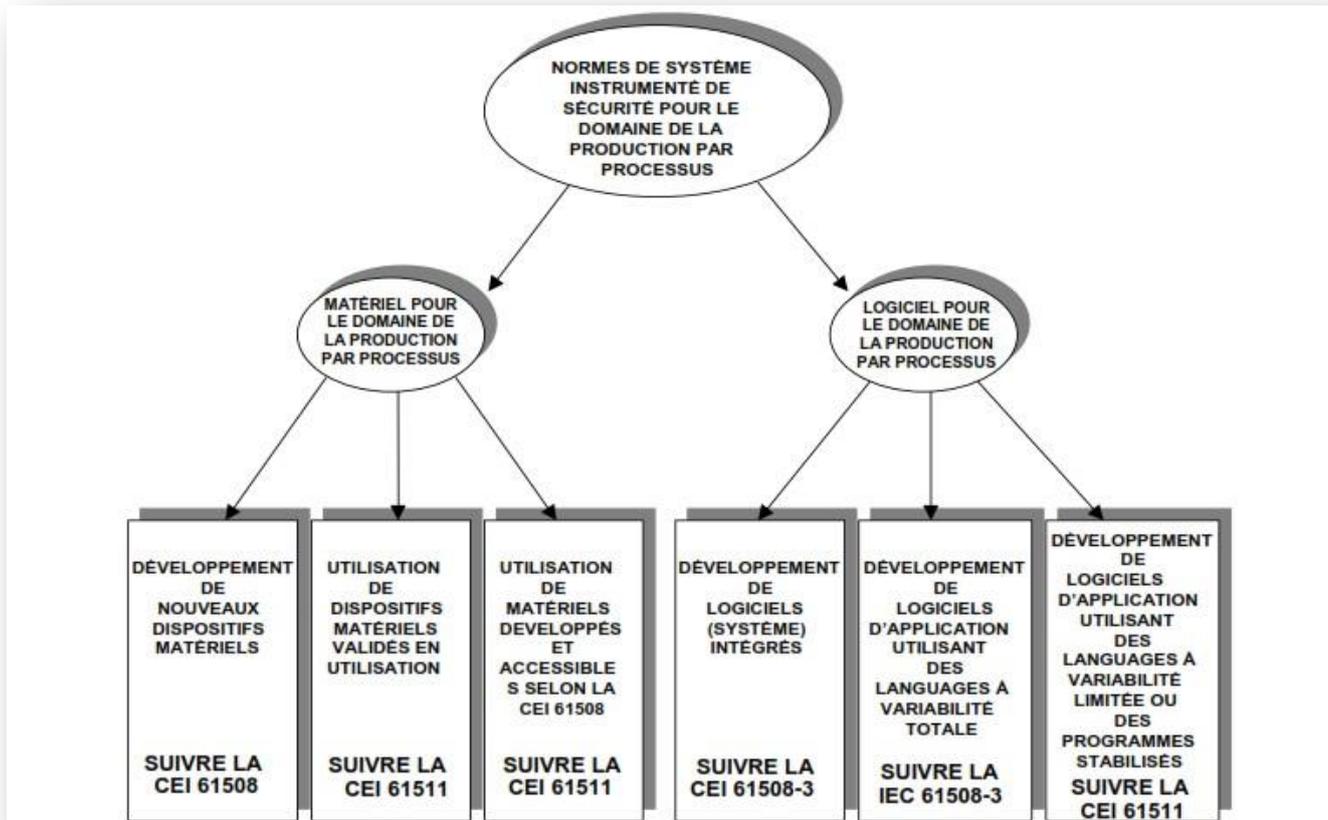


Figure1.3 : Relation entre l'IEC61508 et l'IEC61511

4. Méthode d'analyse HAZOP

4.1 Historique HAZOP

La méthode HAZOP a été développée par la société Imperial Chemical Industries (ICI) au début des années 1970. Elle a depuis été adaptée dans différents secteurs d'activité. L'Union des Industries Chimiques (UIC) a publié en 1980 une version française de cette méthode dans son cahier de sécurité n°2 intitulé « Etude de sécurité sur schéma de circulation des fluides ».

Considérant de manière systématique les dérives des paramètres d'une installation en vue d'en identifier les causes et les conséquences, cette méthode est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo hydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, le niveau, la concentration... sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation.

De par sa nature, cette méthode requiert notamment l'examen de schémas et plans de circulation des fluides ou schémas PID (Piping and Instrumentation Diagram).

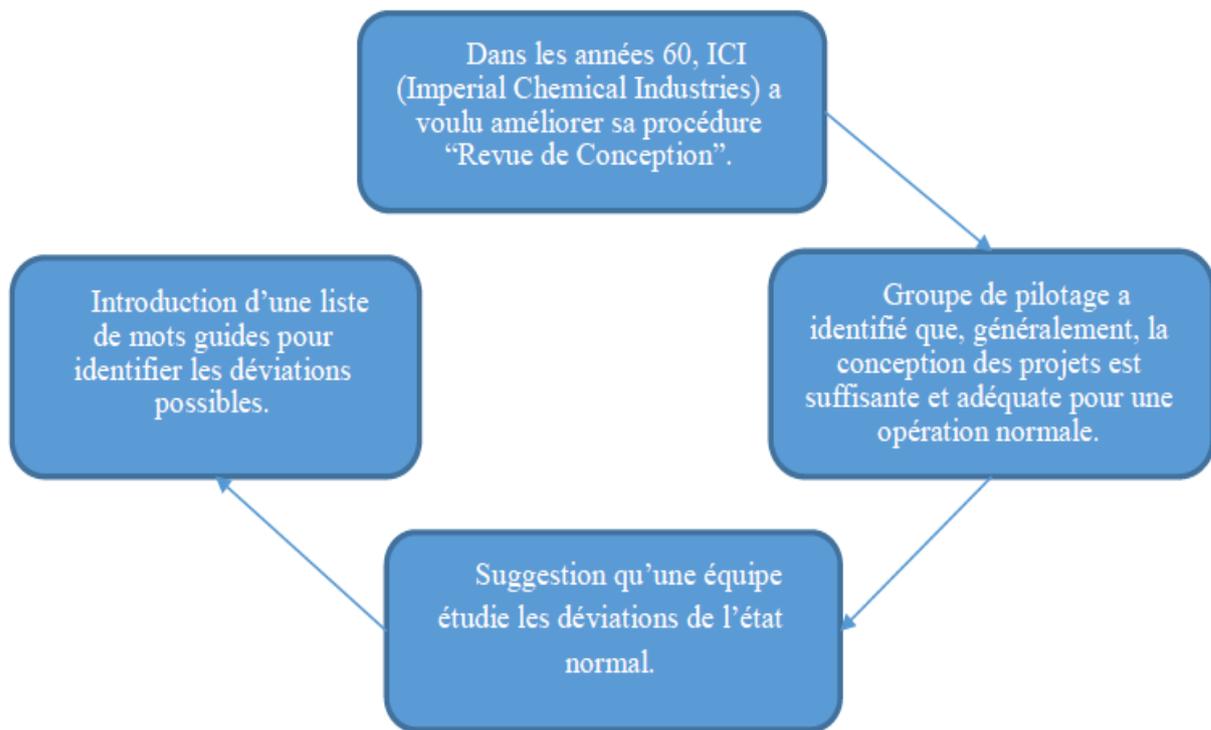


Figure1.4: Historique HAZOP

4.2 Définition et objectifs

A. Définition

Méthode HAZOP : « ... application d'un examen critique formel et systématique aux du procédé et de l'ingénierie d'une intentions installation neuve ou existante afin d'évaluer le potentiel de danger lié à la mauvaise utilisation, ou au mauvais fonctionnement, d'éléments d'équipement et leurs effets sur l'installation dans son ensemble... » .

B. Objectifs

Une étude HAZOP est un processus d'identification détaillée des dangers et des problèmes d'exploitabilité, exécuté par une équipe. HAZOP s'attache à l'identification des déviations potentielles par rapport à l'intention de conception, à l'examen de leurs causes possibles et à l'évaluation de leurs conséquences.

Le but d'une étude HAZOP est en premier lieu d'identifier et d'évaluer les risques associés à un procédé de fabrication. L'objectif principal de cette analyse est de vérifier la conception du procédé afin d'identifier les déviations opératoires et les interactions de procédé qui pourraient conduire à des situations dangereuses ou des problèmes opératoires. Cette identification découle de l'identification des risques.

Un objectif secondaire est la formulation de recommandations permettant de garantir un niveau de risques acceptable. La sélection des scénarios d'accidents majeurs et les recommandations portent uniquement sur les équipements et les installations faisant intervenir des substances dangereuses.

« ... identification des problèmes potentiels d'exploitabilité posés par le système et, en particulier, l'identification des causes, des perturbations du fonctionnement et des déviations dans la production susceptibles d'entraîner la fabrication de produits non conformes... ».

4.3 Domaine d'application

La méthode HAZOP est la méthode la plus répandue dans le monde pour la prévention des pertes. Elle aborde et étudie, aussi bien les risques pour la sécurité et la santé des personnes, que les risques pour l'environnement ou les risques financiers.

Elle s'applique, ou peut s'appliquer, à de nombreux systèmes industriels dits « thermo hydrauliques » où des produits (liquides, gaz, solides) sont mis en mouvement dans des installations. Ces systèmes sont particulièrement adaptés car leur fonctionnement peut être facilement caractérisé par des grandeurs physiques mesurables (T, P, débit...), ainsi que par des enchaînements d'opérations (automatiques ou manuelles). Les analyses de risques de type HAZOP sont requises par l'Administration lorsque des procédés présentent des risques majeurs.

4.4 Procédure HAZOP

A. La Méthodologie

Une revue HAZOP consiste à analyser les déviations possibles d'une installation par rapport à une situation normale. L'analyse est menée sur la base des schémas de l'installation (P&ID), par un groupe de travail multidisciplinaire associant les concepteurs de l'installation et les exploitants futurs, en utilisant une méthode de type « brainstorming ».

La réflexion est guidée par une liste de mots guides, tels que « trop de », « pas de », etc., qui associés à des paramètres de procédé, tels que pression ou température, forment des dérives potentielles.

L'HAZOP permet d'identifier les dispositions de prévention des causes et de protection vis-à-vis des conséquences pour une déviation donnée et propose des améliorations éventuelles si ces dispositions sont insuffisantes. De plus, le risque associé à chaque situation de déviation est évalué.

Les informations relatives à l'analyse des déviations sont reportées dans un tableau type appelé « tableau des déviations ».

La méthode HAZOP, analyse des perturbations, est une analyse systématique et formalisée d'identification des risques et de problèmes d'opérabilité d'installations ou de procédés.

L'identification systématique et la détermination des causes et des conséquences des perturbations susceptibles de survenir au cours de l'exploitation des installations permettent une analyse de l'intégrité opérationnelle du système étudié.

- 1. er pas:** Sélectionner le premier nœud.
- 2. ème pas:** Établir l'intention de conception et les conditions opératoires.
- 3. ème pas:** Appliquer le premier mot-clé au premier paramètre.
- 4. ème pas :** Identifier toutes les causes et les enregistrer : seules les causes dont l'origine est à l'intérieur du nœud sont prises en compte.
- 5. ème pas :** Identifier la/les conséquence(s) sans barrière de protection. Les conséquences

peuvent être à l'intérieur du nœud ou à l'extérieur du nœud. Dans la pratique, on se limitera aux nœuds voisins.

6. ème pas : Évaluer la/les conséquence(s) et les fréquences, d'abord sans barrière de protection.

7. ème pas: Lister toutes les barrières existantes.

8. ème pas: Évaluer à nouveau les conséquence(s) et les fréquences, cette fois avec toutes les barrières de protection en place.

9. ème pas : Si les barrières existantes sont jugées insuffisantes, les membres de l'équipe doivent se mettre d'accord sur les recommandations à prendre pour réduire le risque au niveau acceptable. Pour valider les recommandations l'accord de 75% des participants est suffisant.

10. ème pas : Continuer avec le mot-clé suivant. Après l'application de tous les mots guides sur le premier paramètre, continuer avec le paramètre suivant. Une fois tous les mots guides utilisés ,continuer sur le prochain nœud jusqu'à couvrir tout le système étudié.

a. Mots Guides

La réflexion est guidée par une liste de mots guides, tels que « trop de... », « Pas de... », Etc., qui associés à des paramètres de procédé, tels que pression ou température, forment des dérives potentielles.

Une synthèse est présentée dans la table qui suit :

Paramètres	Mots guides	Paramètres	Mots guides
Débit	-Trop de -Pasde/pasassez de /Inverse	Composition	-Autre
Pression	-Trop de -Pasassezde	Perted'utilité	-Perted'airinstrument -Perted'électricité -Perted'eaudeservice -Pertedevapeur -Etc.
Température	-Trop de -Pasassezde	Operations	-Maintenance -Start-up -Shut-down
Niveau	-Trop de -Pasassezde		

Tableau 1.2: Motsguides

b. Cotation

Après l'identification des risques et problèmes potentiels,une évaluation du risque est réalisée en identifiant la fréquence d'occurrence ainsi que la gravité des conséquences.

Cette évaluation est basée sur le principe de la matrice de risque. Les conséquences sont classées en quatre catégories:

- La sécurité pour le personnel du site.
- La sécurité pour les personnes situées à l'extérieur du site.
- L'environnement.
- La production.

Le but final est d'identifier toutes les dérives potentielles relatives aux installations.

La matrice de risque à utiliser pour la cotation, ainsi que les classes de gravité et de probabilité sont dans les tables suivantes :

Tableau 1.3: Matrice de risque

ProbabilitéP	Probable	P5	G1P 5	G21P5	G3P 5	G4P5	G5P 5
	Improbable	P4	G1P 4	G2P4	G3P 4	G4P4	G5P 4
	Trèsimprobable	P3	G1P 3	G2P3	G3P 3	G4P3	G5P 3
	Extrême mentimp robable	P2	G1P 2	G2P2	G3P 2	G4P2	G5P 2
	Extrêmementrar e	P1	G1P 1	G2P1	G3P 1	G4P1	G5P 1
Niveauxde risque		INACCEPTABLE	G1	G2	G3	G 4	G 5
		ALARP	Modé ré	Sérieux	Maje ur	Catas trophique	Désas treux
		ACCEPTABLE	GravitéG				

Tableau 1.4: Échelle de gravité

Gravité	Personnel	Public	Environnement	Production/biens
G5	Décès multiples Hospitalisation multiples avec effets irréversibles	Un décès Incapacité permanente multiple hospitalisation ou effet majeur de santé publique.	Pollution majeure externe au site et /ou une perte importante de la vie aquatique.	Plus de 180 jours de perte de production
G4	Un à trois décès Incapacité permanente multiple hospitalisation ou effet majeur de santé publique.	Blessure grave ou effet sur la santé avec une ou plusieurs journées d'arrêt de travail ou des effets Important sur la santé	Pollution importante avec des conséquences environnementales externes au site	De 30 à 180 jours de perte de production
G3	Blessure grave ou effet sur la santé avec une ou plusieurs journées d'arrêt de travail ou des effets Important sur la santé	Blessures mineures ou effet sur la santé Traitement médical avec travail restreint ou effet sur la santé à moyen terme	Une importante pollution interne au site.	De 5 à 29 jours de perte de production
G2	Blessures mineures ou effet sur la santé Traitement médical avec travail restreint ou effet sur la santé à moyen terme	Blessé léger ou effet sur la santé Traitement médical, effets sur la santé mineur premiers secours.	Déversement modéré dans la limite du site	De 1 à 4 jours de perte de production
G1	Blessé léger ou effet sur la santé. Traitement médical, effets sur la santé mineur premiers secours.	Pas d'effet à l'extérieur du site	Léger effet Déversement dans les limites du site sans conséquences sur l'environnement	Moins de 1 jour de perte de production

Tableau 1.5: Échelle de probabilité

Probabilité	Description	Fréquence
P5	Probable Pourrait se produire plusieurs fois pendant la vie d'une installation	$>10^{-2}$
P4	Improbable Pourrait se produire une fois sur un ensemble de 10 à 20 unités similaires sur une période de 20 à 30 ans	10^{-2} à 10^{-3}
P3	Très improbable Une fois par an sur un ensemble de plus de 1000 unités Pourrait se produire une fois sur un ensemble de 100 à 200 unités similaires sur une période de 20 à 30 ans Est déjà survenu dans la société, mais des mesures correctives ont été prises	10^{-3} à 10^{-4}
P2	Extrêmement improbable Est déjà survenu dans l'industrie, mais des mesures correctives ont été prises	10^{-4} à 10^{-5}
P1	Extrêmement rare Événement physiquement possible mais n'a jamais ou rarement eu lieu sur une période de 20 à 30 ans pour un grand nombre de sites	$<10^{-5}$

B. Informations nécessaires pour la méthode HAZOP

Tout la documentation utilisée doit être mise à jour, en devant travailler, dans chaque cas, avec les dernières révisions qui reflètent fidèlement l'actuel état des processus.

La documentation suivante est nécessaire pour réaliser une étude HAZOP:

- Description du procédé.
- PFDs.
- P&IDs.
- Bilan matières.
- Lay-outs.
- Description des interlocks, diagrammes causes et effets.

- Procédures opératoires.
- Material safety data sheet(MSDS).

C. Rapport HAZOP

Un rapport doit être préparé avec le résultat de l'étude. Le contenu du rapport doit inclure (Méthode HAZOP) :

- Introduction.
- Objectifs.
- Description des installations concernées.
- Description de la méthodologie.
- Liste des nœuds étudiés.
- Lieu de dates des sessions HAZOP.
- Recommandations HAZOP.
- Feuilles de travail HAZOP.
- Liste des participants.
- Documentations utilisées.

5. Système instrumentés de sécurités (SIS)

5.1 Définition SIS

La norme CEI 61508 , définit le SIS comme: « un système E/E/PE relatif aux applications de sécurité, il comprend tous les éléments du système nécessaires pour remplir la fonction de sécurité».

Et D'après la norme CEI 61511 , un SIS fait l'objet de la définition suivante: « un système instrumenté utilisé pour mettre en oeuvre une ou plusieurs fonctions instrumentées de sécurité. Un SIS se compose de n'importe quelle combinaison de capteur(s), d'unité logique (s) et d'élément(s) terminal (aux) ».

5.2 Composition d'un SIS

Les SIS sont constitués de différents éléments unitaires reliés entre eux par des moyens de transmissions. Au minimum, on retrouve en série un capteur, une unité de traitement et un actionneur.

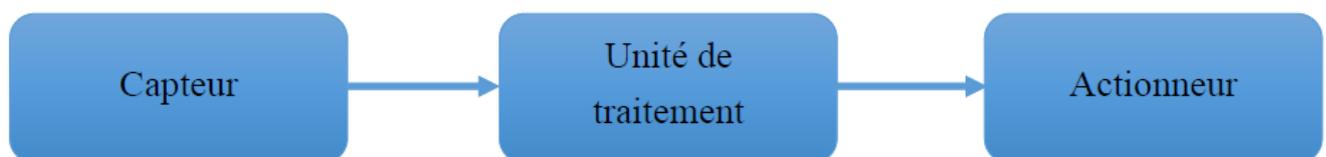


Figure1.5: Schéma d'un Système Instrumenté de Sécurité

a) Capteur

Est un équipement qui délivre, à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur, souvent électrique (tension, courant, résistance), fonction de la première et directement utilisable pour la mesure ou la commande.

Cette grandeur physique peut être la température, la pression, le niveau, le débit, la concentration d'un gaz.

b) Unité de traitement

La fonction "traitement" peut être plus ou moins complexe. Elle peut se résumer à acquérir une grandeur mesurée par un capteur et à l'indiquer. Elle peut également consister à activer la commande d'un ou plusieurs actionneurs à partir d'une fonction combinatoire des informations délivrées par différents capteurs.

c) Actionneur

Un actionneur peut être (vanne, moteur, servo-moteur...) transforme un signal (électrique ou pneumatique) en phénomène physique qui permet de commander le démarrage d'une pompe, la fermeture ou l'ouverture d'une vanne... Selon l'énergie motrice, on parle d'actionneur pneumatique, hydraulique ou électrique.

Enfin, l'unité de traitement est reliée aux capteurs et aux actionneurs par des moyens de transmission. Il peut s'agir de câbles électriques, de lignes téléphoniques, d'ondes hertziennes (transmission par talkie-walkie...), ou de tuyauteries (transmission pneumatique ou hydraulique).

Les capteurs, l'automate et les actionneurs sont des équipements de sécurité. Un équipement de sécurité est un élément d'un SIS qui remplit une sous-fonction de sécurité.

Exemples :

- un capteur remplit la sous-fonction "détecter du gaz".
- une vanne motorisée la sous-fonction "juguler une fuite".

Associées au traitement, l'ensemble de ces sous-fonctions permet la réalisation de la fonction instrumentée de sécurité "maîtriser une fuite".

5.3 Fonction instrumentée de sécurité SIF

Les principales étapes de la norme IEC 61508 [IEC61508 98] et ses normes filles sont déclinées dans ce qu'on appelle le cycle de vie, c'est-à-dire que ces normes traitent depuis.

l'analyse des risques jusqu'à l'exploitation des fonctions de sécurité instrumentées SIF (Safety Instrumented Functions).

Une SIF est définie pour obtenir un facteur de réduction du risque mise en oeuvre pour un SIS. Lorsque le SIS est considéré comme un système réalisant une barrière de protection fonctionnelle, cette barrière est considérée comme une fonction de sécurité. Une fonction instrumentée de sécurité est spécifiée pour s'assurer que les risques sont maintenus à un niveau acceptable par rapport à un événement dangereux spécifique.

Une fonction instrumentée de sécurité est à réaliser par un système instrumenté de sécurité (ou par une combinaison des composantes de ce système), par un système relatif à la sécurité basé sur une autre technologie ou par un dispositif externe de réduction de risque.

Une fonction instrumentée de sécurité est composée de :

- Un ou plusieurs initiateurs.
- Une unité logique de traitement (automate).

- Un ou plusieurs éléments finaux.

Initiateur : Un élément ou un ensemble d'éléments qui permet de détecter qu'un procédé ou un équipement est en dehors de sa plage de fonctionnement.

Exemples : système de mesure (incluant capteur, transmetteur, câble, amplificateur, carte électronique,...), relais, carte électronique d'entrée.

Élément final : Un élément ou un ensemble d'éléments qui agit sur une variable du procédé ou sur un équipement afin de mettre le procédé dans un état sûr ou de limiter les conséquences de l'événement non désiré.

Exemples : vanne (incluant la commande, l'actionneur, la vanne, câbles), relais, carte électronique de sortie, sprinkler,

Un ou plusieurs initiateurs d'une fonction peuvent aussi faire partie d'une autre fonction ; ceci est vrai également pour les éléments finaux.

Pour illustrer et rendre plus claire cette définition, nous proposons l'exemple d'un Équipement utilisé dans la fonction instrumentée de sécurité :

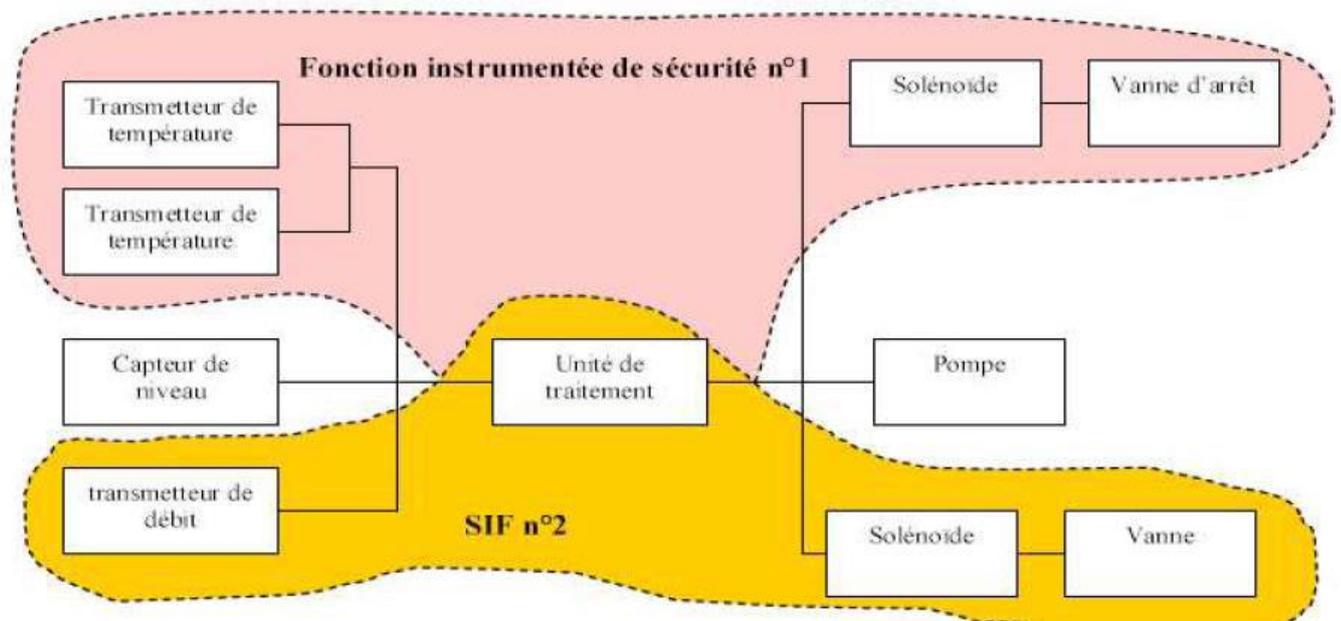


Figure 1.6: Fonction instrumentée de sécurité

6. Niveau d'intégrité de sécurité SIL

6.1 Définition SIL

Les normes IEC 61508 et IEC 61511 définissent le niveau d'intégrité de sécurité (Safety Integrity Level, SIL) pour définir le niveau de réduction du risque, c'est-à-dire le niveau d'intégrité de sécurité que doit avoir le système de protection.

Plus le SIL a une valeur élevée, plus la réduction du risque est importante. Par exemple un système de SIL 4 apporte une réduction de risque entre 10000 à 100000 alors qu'un système de SIL 1 comporte un facteur de réduction de risque compris entre 10 à 100 seulement.

L'utilisation des niveaux SIL permet de prendre en compte les défaillances rares mais possibles des systèmes de sécurité en plus des défaillances inhérentes au système opérationnel menant aux événements dangereux identifiés pendant l'analyse de risque. Les SIL sont attribués aux fonctions de sécurité sur la base de l'étude des défaillances dangereuses uniquement sans tenir compte des défaillances en sécurité ou défaillances sûres.

La norme IEC 61508 [13] fixe le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) qui doit être atteint par un SIS qui réalise la Fonction Instrumentée de Sécurité (SIF). Elle donne le SIL en fonction de sa probabilité de défaillance moyenne (PFD_{avg}) sur demande pour les SIS faiblement sollicités. Ou en fonction de probabilité de défaillance par heure (PFH) pour les SIS fortement sollicités ou agissant en mode continu. Dans ce mémoire, nous nous plaçons dans le contexte des SIS faiblement sollicités.

Il est important de souligner que le concept de SIL s'applique uniquement à un système instrumenté de sécurité (SIS) dans son intégralité et pas à un composant pris individuellement.

Le SIL est défini, selon l'IEC61508, en 04 niveaux, plus le SIL est élevé, plus la disponibilité du système de sécurité est élevée,

SIL	Probabilité moyenne de défaillance à la sollicitation (PFD _{avg})	Réduction de risque RR
1	$10^{-2} \leq PFD_{avg} < 10^{-1}$	$10 \leq RR < 100$
2	$10^{-3} \leq PFD_{avg} < 10^{-2}$	$100 \leq RR < 1000$
3	$10^{-4} \leq PFD_{avg} < 10^{-3}$	$1000 \leq RR < 10000$
4	$10^{-5} \leq PFD_{avg} < 10^{-4}$	$10000 \leq RR < 100000$

Tableau 1.6: Niveaux d'intégrité de sécurité selon la norme CEI 61508

6.2 Méthode pour détermination SIL

Selon la norme CEI 61511 le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) est : « niveau discret (parmi quatre possibles) permettant de spécifier les exigences concernant l'intégrité de sécurité des fonctions instrumentées de sécurité, à allouer aux systèmes instrumentés de sécurité. Le niveau d'intégrité de sécurité 4 possède le plus haut degré d'intégrité ; le niveau1 possède le plus bas ».

Les normes internationales de sécurité fonctionnelle CEI 61508 et CEI 61511 définissent une démarche d'analyse du niveau d'intégrité d'un système de sécurité. Elles nous aident suite à une démarche bien définie, à déterminer le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) pour une fonction

instrumentée de sécurité. La norme CEI 61511 décrit différentes méthodes de détermination de SIL, mais aucune n'est à privilégier.

6.2.1 Méthodes quantitatives

L'analyse quantitative des risques est supportée par des outils mathématiques ayant pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et entre autre la sécurité. Ainsi, cette approche consiste à caractériser les différents paramètres d'analyse des risques par des mesures probabilistes.

L'obtention de ces mesures passe par un traitement mathématique, en prenant en compte les données relatives aux différents paramètres évalués et aussi aux informations qui sont de nature quantitative. En d'autres termes, elle permet d'utiliser les valeurs numériques pour décrire la probabilité des risques et leurs impacts à l'aide de données provenant de plusieurs types de sources (documents de l'industrie, théories statiques, test et expériences). A l'égard de l'application de cette démarche, une attention particulière aux données utilisées, à leur origine et leur adéquation aux cas étudiés doit être portée, car une simple erreur remettra l'étude en cause. L'analyse quantitative des risques est considérée comme l'approche la plus retenue pour une bonne prise de décision sur les risques. L'arbre des événements (AdE) et l'analyse quantitative des risques (QRA) représentent par excellence ce type de méthodes.

a) Arbre des événements (AdE)

L'arbre des événements est un modèle graphique qui peut être utilisé pour nombreux système qui Consiste à partir d'un événement initiateur conduisant a des conséquences redoutées à envisager l'échec ou le succès des fonction de sécurité puis définir les événements susceptible de se produire en aval de l'événement initiateur, les barrières de sécurité et leurs fonctions doivent être identifiées en leurs affectant des probabilités de défaillance. Comme le montre la figure (1.7), l'arbre des événements permet temporellement d'identifier les différentes séquences d'événement susceptibles de conduire à des conséquences aux limites, et les chemins les plus dangereux conduisant à des conséquences catastrophiques qui sont ensuite analysés en détail.

La démarche généralement retenue pour réaliser une analyse par arbre d'événements est la suivante :

- Définir l'événement initiateur à considérer .
- Identifier les barrières de sécurité et leurs fonctions .
- Construire l'arbre .
- Décrire et exploiter les séquences d'événements identifiés.

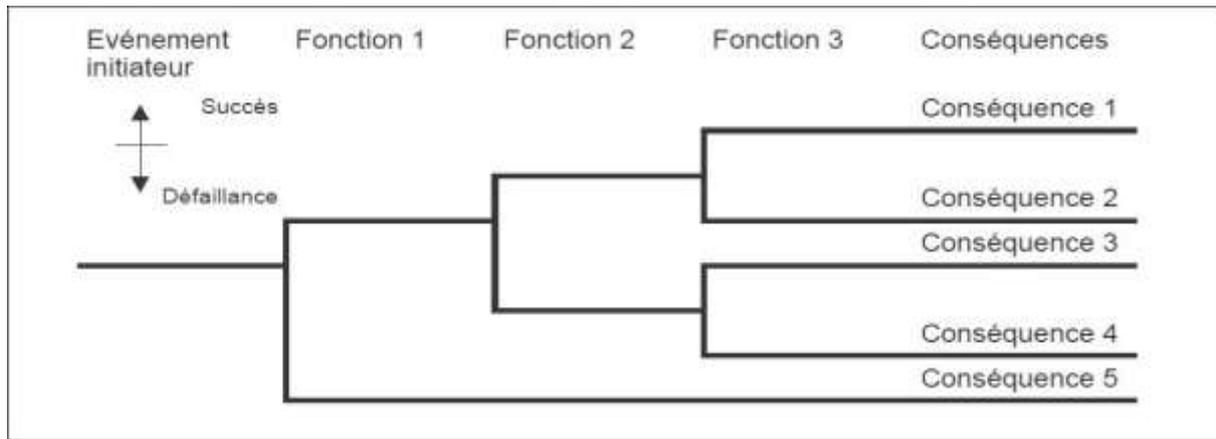


Figure 1.7: Schéma d'un arbre d'événements

L'arbre des événements sert comme support pour la méthode QRA. Pour ce, nous ferons appel à cette méthode pour représenter les scénarios d'accidents.

b) Méthodologie d'analyse quantitative des risques (QRA)

L'analyse quantitative des risques, en anglais Quantitative Risk Analysis (QRA), est une approche systémique d'évaluations numériques de la fréquence et/ou de la conséquence des accidents potentiels. Cette approche, initialement, développée dans le domaine des transports et dans le nucléaire a été progressivement adaptée à l'industrie des procédés, notamment dans les pays du nord de l'Europe. La particularité des méthodes de QRA tient dans la façon d'exprimer et de représenter les résultats de l'analyse des risques.

Cette approche consiste principalement à identifier les scénarios d'accidents potentiels ou représentatifs, estimer leur fréquence et analyser leurs conséquences, moyennant des méthodes d'analyse des risques (HAZOP, arbre des causes, arbre des événements,...) et des modèles mathématiques des effets et de vulnérabilité. La finalité étant d'estimer les risques individuel et sociétal et par suite appliquer les mesures qui répondent convenablement à cette estimation. Il est à

noter que la QRA ne prend donc souvent en compte que les effets létaux sur les personnes.

De manière générale, l'analyse quantitative des risques (QRA) est une approche rigoureuse et avancée visant une industrie plus sûre et se révèle indispensable et nécessaire pour une bonne estimation et maîtrise des risques.

6.2.2 Méthodes qualitatives

L'analyse qualitative des risques consiste un préalable à toute autre analyse. En effet, elle permet la bonne compréhension et connaissance systématique du système étudié et de ses composants. Pour une bonne évaluation qualitative du risque, cette approche ne s'appuie pas explicitement sur des données chiffrées, mais elle se réfère à des observations pertinentes sur l'état du système et surtout sur le retour d'expérience et les jugements d'experts qu'ils utilisent un classement en mots ou un classement descriptif pour décrire les impacts ou la probabilité. Cette approche nécessite alors une très bonne connaissance des différents paramètres et causes liés au système étudié. Dans quelques études de dangers, cette approche peut être suffisante pour atteindre les objectifs voulus si elle est bien menée et justifiée.

Il existe nombreux outils d'analyse et d'évaluation des risques à caractère qualitatif, parmi lesquels nous retrouvons l'APR et HAZOP, présentées ci-après.

6.2.3 Graphe de risque étalonné

La méthodologie employée pour déterminer un niveau SIL est une évaluation du risque basée sur une matrice de risques. Il s'agit d'une évaluation qualitative des conséquences potentielles consécutives Méthode SIL (Niveau d'intégrité de Sécurité).

- À la défaillance du système de contrôle du procédé.
- Au non-fonctionnement – suite à sollicitation - de la fonction de sécurité destinée à protéger l'installation contre cet événement.

La méthode des graphes de risques décrite dans la norme IEC 61511 est généralement employée pour évaluer le SIL d'une fonction de sécurité.

Cette méthode nécessite d'évaluer 4 paramètres :

- Paramètre « **C** » : Conséquences de l'événement dangereux,
- Paramètre « **F** » : Taux d'occupation de la zone dangereuse,
- Paramètre « **P** » : Possibilité d'éviter l'événement dangereux,
- Paramètre « **W** » : Taux de sollicitation.

La signification de ces différents termes est donnée dans la norme IEC 61511 et est reprise dans le tableau suivant :

Tableau 1.7: Signification des termes utilisés dans la méthode des graphes de risques.

Signification des termes utilisés dans la méthode des graphes de risques	
Paramètre	Description
Conséquence	C Conséquences attendues en termes d'atteinte à la vie humaine ou de blessures, d'atteinte à l'environnement ou aux biens au cas où l'événement dangereux se produit.
Occupation "temps d'exposition"	F Probabilité que la zone dangereuse soit occupée lorsque l'événement dangereux se produit. Elle est déterminée en calculant la fraction de temps pendant laquelle la zone soumise à l'effet dangereux est occupée
Probabilité pour que le danger soit évité	P La probabilité que les personnes exposées puissent éviter le danger si la fonction de sécurité est défaillante. Ceci dépend de l'existence de moyens indépendants d'alerte et d'évacuation des Personnes
Taux de sollicitation "taux de demande sans protection"	W Le nombre de fois par an où la fonction de sécurité considérée est sollicitée. Ceci peut être déterminé en prenant en compte toutes les défaillances qui pourraient conduire à l'événement dangereux et en estimant l'occurrence globale. Les autres couches de protection doivent être prises en compte.

L'objectif de la revue SIL est de définir le niveau SIL par rapport aux conséquences de l'événement dangereux sur les personnes, mais aussi par rapport aux conséquences sur l'environnement et les biens.

Un graphe de risques est alors utilisé pour chacune des trois catégories de conséquences (personnes, environnement et dommages aux biens) ; le SIL retenu pour la fonction de sécurité est le plus élevé des trois niveaux.

Graphes de risques et des échelles de cotation

Les graphes de risques ainsi que les définitions des paramètres issus de la norme IEC 61511 sont les suivants :

Tableau 1.8: Échelles de cotation des paramètres d'évaluation du risque

Échelles de cotation des paramètres d'évaluation du risque				
Paramètre de risque		Définition		
		Atteintes aux personnes	Domages à l'environnement (d'après IEC 61511)	Domages aux biens
Conséquences « C »	C1	Blessures légères infligées à des personnes	Rejet ayant des conséquences mineures	Perte mineure (perte production jusqu'à 2 jours ou dommages mineurs aux équipements)
	C2	Blessures graves permanentes infligées à une ou plusieurs personnes ; décès d'une personne	Rejet limité au site, ayant des conséquences significatives	Perte locale (perte production jusqu'à 2 semaines ou dommages local d'équipements sans rechange)
	C3	Décès de plusieurs personnes	Rejet à l'extérieur du site, ayant des conséquences importantes, auxquelles il peut être remédié rapidement sans laisser d'atteinte durable	Perte importante (perte production jusqu'à 6 mois ou dommages importants d'équipements essentiels)
	C4	Effet catastrophique, de très nombreuses personnes tuées	Rejet à l'extérieur du site, ayant des conséquences importantes, auxquelles il ne peut pas être remédié rapidement ou qui laissent des atteintes durables	Perte très importante (perte production plus que 6 mois ou dégâts considérables sur l'unité de procès)
Occupation « F »	F1	Présence improbable du personnel dans la zone dangereuse (< 10% du temps) Rare	Paramètre « F » non applicable	Paramètre « F » non applicable
	F2	Présence probable du personnel dans la zone dangereuse (>= 10% du temps) Fréquent		

Possibilité d'évité « P »	P1	Possibilité d'éviter le danger sous certaines conditions Possible	Possibilité d'éviter le dangersous certaines conditions	Possibilité d'éviter le danger sous certaines conditions
	P2	Impossibilité d'éviter le danger invraisemblable	Impossibilité d'éviter ledanger	Impossibilité d'éviter le danger
Taux de sollicitation « W »	W1	Moins d'une fois tous les 10 ans Très faible probabilité		
	W2	Comprise entre 1 fois par an et une fois tous les 10 ans Faible probabilité		
	W3	Plus d'une fois par an Forte probabilité		

Graphes de risque

On emploie un graphe de risque pour chaque catégorie de conséquences. En pratique, un niveau SIL 4 ne doit jamais être requis pour une fonction de sécurité, car les matériels (capteurs, automates, actionneurs) ne permettent pas d'atteindre ce niveau très élevé de fiabilité. Les graphes de risques sont donnés ci –après :

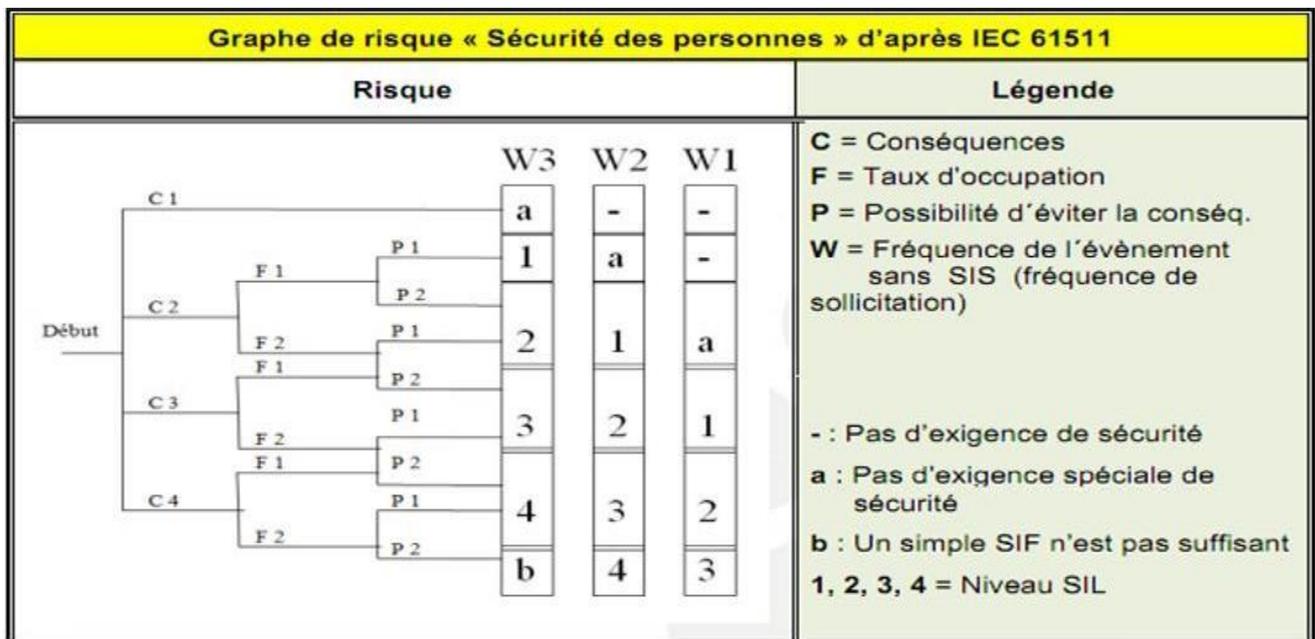


Tableau 1.9: Graphes de risque sécurité des personnes d'après IEC 61511
 Tableau 16 : Graphes de risque sécurité des personnes d'après IEC 61511

Tableau 1.10: Graphes de risque "l'environnement" et "Dommages Aux biens" d'après IEC61511

Graphe de risque « Environnement » et « Damage aux biens » d'après IEC 61511																																						
Risque		Légende																																				
<p>The diagram shows a risk graph starting from 'Début' on the left. It branches into four consequence levels: C1, C2, C3, and C4. Each consequence level branches into two possibility levels: P1 and P2. These possibilities lead to three frequency levels: W3, W2, and W1. The values for each level are as follows:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Consequence</th> <th>Possibility</th> <th>W3</th> <th>W2</th> <th>W1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C1</td> <td>P1</td> <td>1</td> <td>a</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>P2</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>a</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>P1</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>P2</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>C3</td> <td>P1</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>C3</td> <td>P2</td> <td>b</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Consequence	Possibility	W3	W2	W1	C1	P1	1	a	-	C1	P2	2	1	a	C2	P1	3	2	1	C2	P2	4	3	2	C3	P1	4	4	3	C3	P2	b			<p>C = Conséquences P = Possibilité d'éviter la conség. W = Fréquence de l'évènement sans SIS (fréquence de sollicitation)</p> <p>- : Pas d'exigence de sécurité a : Pas d'exigence spéciale de sécurité b : Un simple SIF n'est pas suffisant 1, 2, 3, 4 = Niveau SIL</p>	
Consequence	Possibility	W3	W2	W1																																		
C1	P1	1	a	-																																		
C1	P2	2	1	a																																		
C2	P1	3	2	1																																		
C2	P2	4	3	2																																		
C3	P1	4	4	3																																		
C3	P2	b																																				

Le paramètre **P1** est choisi uniquement si les 3 conditions suivantes sont remplies :

- Des équipements permettent d'avertir l'opérateur que le système instrumenté de sécurité (SIS) est défaillant,
- Des équipements indépendants permettent d'arrêter et d'éviter le danger ou permettent à toutes les personnes de se mettre en lieu sûr,
- Le délai entre le moment où l'opérateur est averti et l'apparition de l'évènement dangereux est supérieur à 1 heure, ou bien suffisant pour prendre les actions

Le but du paramètre « W » est d'évaluer la fréquence de sollicitation du système de sécurité considéré (Méthode SIL (Niveau d'intégrité de Sécurité).

Chapitre 02: Présentation de l'entreprise et identification de ses différentes installations

Introduction

Le Groupement TFT est une association entre trois partenaires (Sonatrach, Total et Repsol) qui gère une usine de traitement de gaz, Le but de ce chapitre est d'en présenter la structure et les activités.

1. Présentation de l'entreprise

1.1 Implantation

Le champ de gaz de GTFT est situé au Sud-Est de l'Algérie, dans le Sahara. Ses coordonnées sont : 28.026°N et 7.033°E (Figure 1.1)

Le périmètre Tin Fouyé Tabankort (TFT) couvre 1200 km² dans la région du Tinrhert dans le Sahara algérien, dans la wilaya d'illizi, Il est situé le long de la route nationale N3, à environ 1500 km au sud-est d'Alger, 380 km au sud-est d'Hassi Messaoud, et environ 200 km à l'ouest d'In Aménas, dans la commune de Bordj Omar Driss elle-même située à une centaine de kilomètres à l'ouest du périmètre.

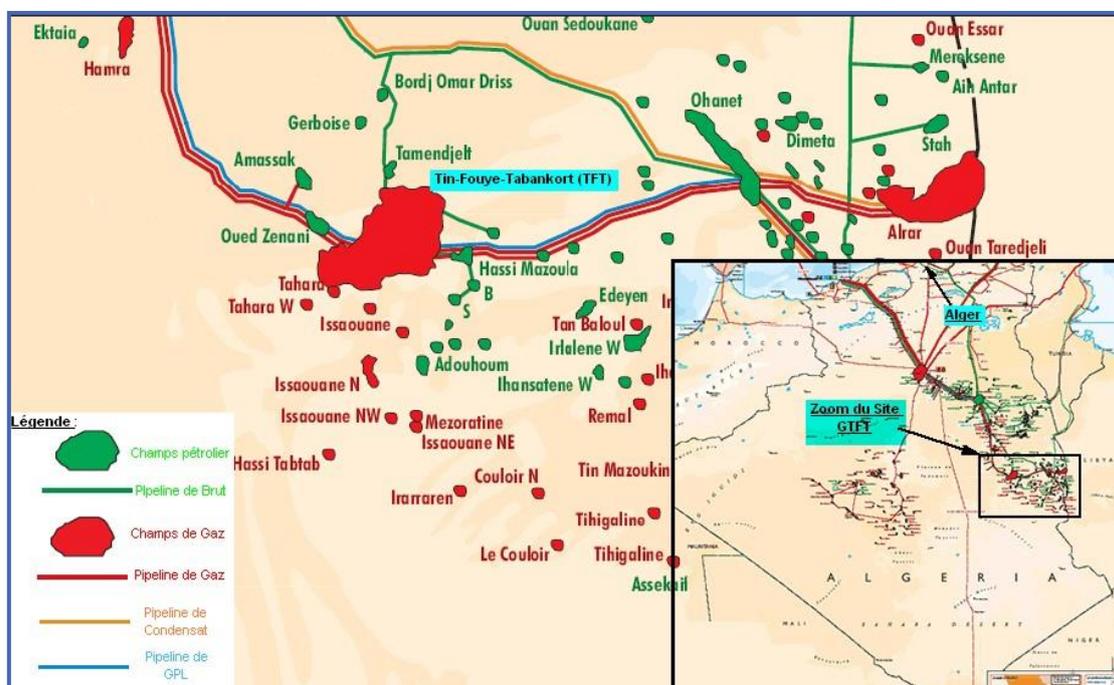


Figure 2.1 : Situation géographique de l'usine de GTFT.

1.2 Dates significatives

- Contrat d'association signé le 28 Janvier 1996.
- Durée : 20 ans après fin développement (3 ans)
- Association : SONATRACH (51%)
TOTAL (49%)
- Le début d'exploitation en 1999.
- 2007 : Les travaux de boosting.
- 2009 : Démarrage du boosting.

GTFT disposait d'un potentiel réserve en matière de gaz d'alimenter des programmes de production est (18 million m³/jour).

1.3 Données météorologiques

Les conditions climatiques moyennes sont :

- Température ambiante minimum : 3.8°C.
- Température ambiante maximum : 40.8°C.
- Humidité : 22.45 % été, 50.72 % hiver.
- Les vents soufflent le plus souvent dans le sens Est. Les vitesses les plus fréquentes sont entre 1 et 5 m/s. Le vent calme présente un pourcentage de 15.2 %.

Les précipitations annuelles ne dépassent pas les 29,4 mm durant la période (2002-2011) alors que les précipitations mensuelles n'excèdent pas les 6.6 mm.

2. L'usine de GTFT

2.1 Les spécifications des produits d'expédition

Le gaz naturel, le GPL et le condensat ne peuvent être expédiés que s'ils sont conformes aux spécifications définies contractuellement comme suit :

Gaz sec :

- Humidité : 50 PPM.
- Pression : 71 Barg.
- Température : 60°C.

GPL :

- Teneur en C2- : 3% molaire Max.
- Teneur en C5+ : 0,4% molaire Max.
- Teneur en eau : 100 PPM max.
- Pression : 45 Barg.
- Récupération de C3 et C4 : 70% mol en C3 et C4 de la charge d'alimentation.

Condensat :

- TVR : 10 Psi Max.
- Pression : 24 Barg Max.

Récupération de C5+ : 95% mol de C5 de la charge d'alimentation.

2.2 Les Installations

Les installations de l'usine de GTFT ont été conçues pour extraire 75,1% molaire de GPL et 98,07% de C5+.

Le site de GTFT comprend principalement :

- 79 puits en production, des manifolds et 6 trunklines qui dirigent le gaz brut vers l'usine ;
- un slug catcher. Celui-ci permet de séparer le gaz brut, les condensats et l'eau de production et d'atténuer les volumes de liquides (eau et C5+) transitoires qui sont accumulés dans le réseau de collecte ;
- une unité de Boosting afin de remonter la pression en amont de l'usine ; cette dernière étant configurée pour comprimer le gaz brut jusqu'à 80 bars ;

- Deux trains (1 et 2) identiques permettant le traitement du gaz brut et des condensats ;
- Une unité de traitement des eaux du procédé en provenance des trains et du slug catcher ;
- Un système de comptage et d'export pour le gaz résiduel ;
- Trois (03) sphères de stockage pour le GPL (1 pour le GPL on-spec et 2 pour le GPL off-spec). De capacité de 500 M3 chacun ;
- Trois (03) bacs de stockage pour les condensats (02 pour les condensats on-spec de capacité de 6000 M3 chacun et 01 pour les condensats off-spec de capacité de 2000 M3) ;

des utilités générales : air instrument et air service, azote, eau de service et traitement huile de lubrification.



Figure 2.2 : unité de traitement (Train 1 et 2).

2.3 Paramètre de l'unité de traitement

Les Paramètres actuelle de l'unité de traitement :

- Débit de gaz brut 14848.41 KN m3 /jour ;
- Débit de gaz sec 13537.94 KN m3 /jour ;
- Débit de gaz d'expédition 13002.41 KN m3 /jour ;
- Débit GPL produit 2005.74 Tonnes /jour ;
- Débit condensât produit 1465.32 Tonnes /jour ;
- Richesse en GPL par rapport au gaz sec 148 gr/N m3 ;
- Richesse en condensât par rapport au gaz sec 108 gr/N m3.

2.4 Description du procédé

L'installation est composée de deux trains identiques ; chaque train comporte les étapes suivantes :

- Séparation gaz/liquide ;
- Section de refroidissement, séparation primaire et Boosting Déshydratation sur tamis moléculaire ;
- Réfrigération par turbo-expander ;
- Dééthaniseur ;
- Stabilisation du condensat ;
- Débutaniseur.

Le Gaz humide arrive au centre subit un traitement comme présenté dans la figure suivant :

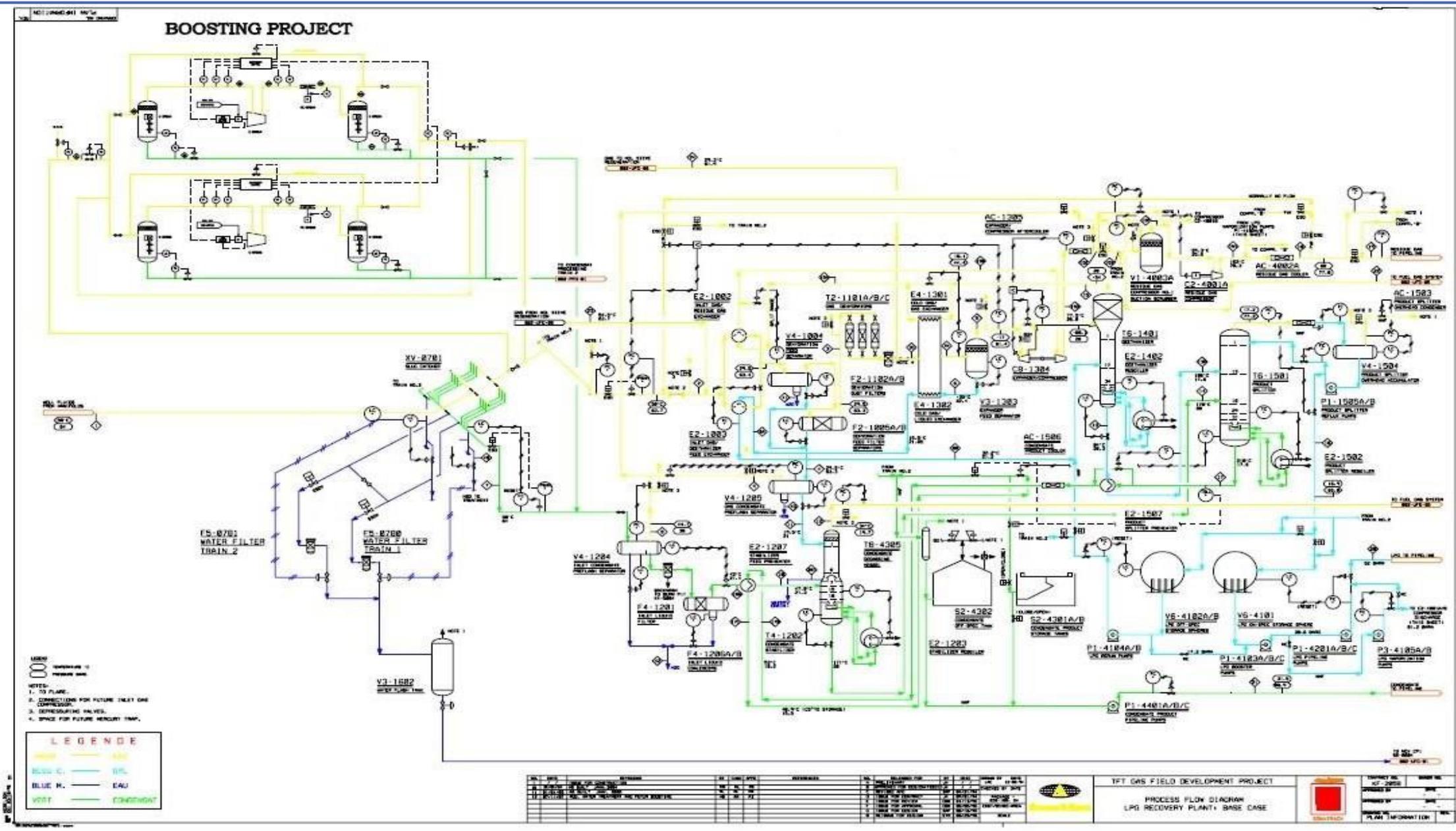


Figure 2.3 : schéma général des différentes phases du traitement du gaz.

2.5 Système de commande

Le contrôle du process est assuré par un système de contrôle réparti « DCS » (DistributedControl System) d'ABB (type INFI 90).

Le système DCS communique avec les sous-systèmes suivants :

- ESD Triconex V9,
- F&G Trident V4,
- Télémétrie RTU-Arcom M1,
- Gestion des comptages MECl du gaz résiduel, du GPL et des condensats,
- Commande des compresseurs d'export du gaz résiduel C2 4001A/B Mark V / CCC,
- Commande des compresseurs du Boosting Mark VI / CCC.

2.6 Organigramme du groupement TFT

GTFT est dirigé par un Administrateur et un Administrateur adjoint, nommés par Sonatrach et Total. Le groupement est principalement composé du personnel des trois partenaires. La main d'œuvre est principalement détachée par Sonatrach, ou constituée de prestataires.

Le Groupement TFT gère directement ou indirectement environ 300 personnes, travaillant en rotation sur le périmètre de TFT.

La Direction générale et les fonctions de support et de logistique sont basées à Hassi Messaoud.

L'organigramme ci-dessous va démontrer la hiérarchie de la direction générale de GTFT (Siège) :

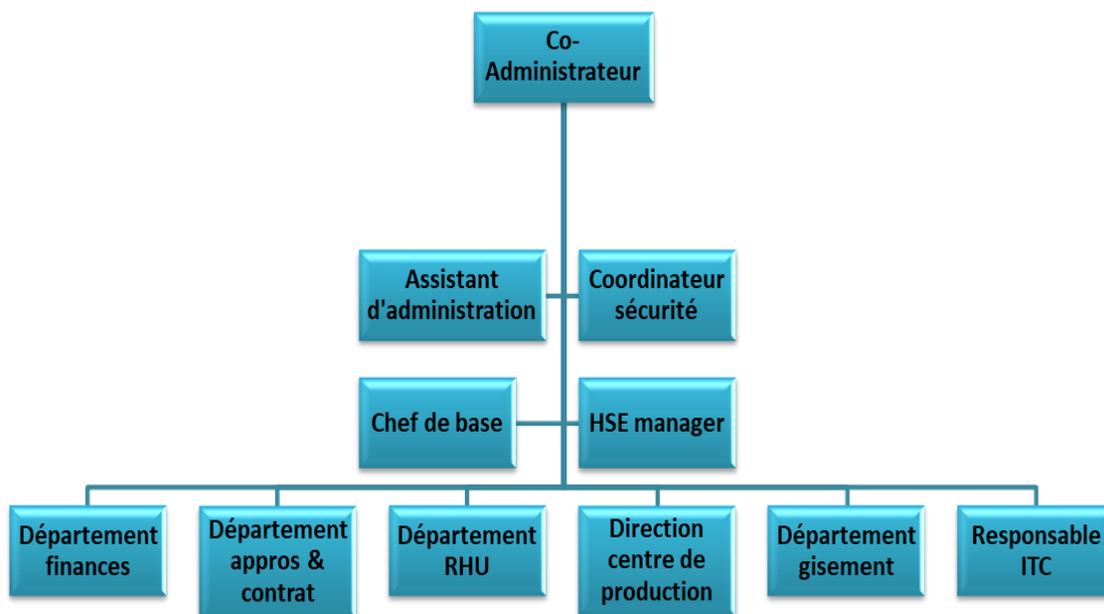


Figure 2.4 : Organigramme Direction Générale de GTFT.

Le Groupement TFT/site est devisé en 05 départements et un service de H.S.E.

- Département logistique (LOG).
- Département maintenance (MN).
- Département travaux neufs (TN).
- Département engineering & production (EP).
- Département exploitation (XP).
- Service de H.S.E

L'organigramme ci-dessous va démontrer leur hiérarchie :

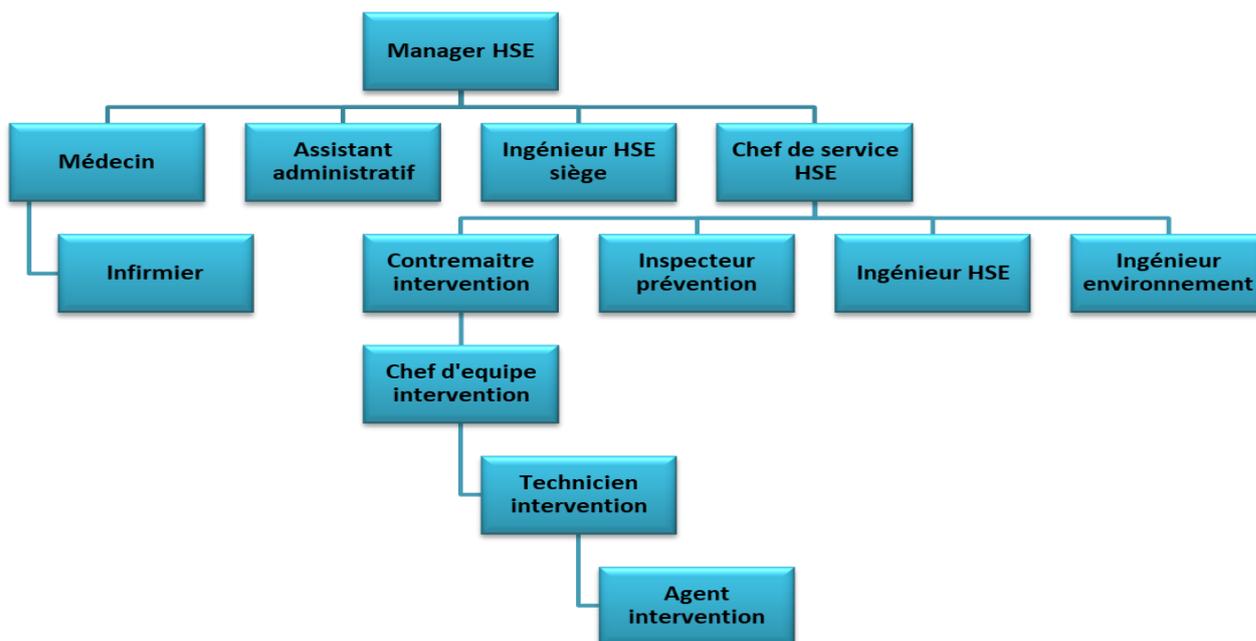


Figure 2.5 : Organigramme Direction Centre de Production de GTFT

2.7 Moyens de sécurité

Le service HSE est chargé par des moyens de sécurité qui sont :

2.7.1 Réseau de distribution d'eau incendie et de mousse :

▪ Eau Incendie

Le réseau de distribution d'eau incendie est à une pression d'environ 6,9 bar. Il comprend principalement les équipements suivants :

- Des déluges et des vannes déluge ;
- Des lances monitors. Celles installées au niveau de la zone procédé ont un débit minimum de 170 m³/h tandis que celles installées au niveau de la zone de stockage ont un débit de 320 m³/h ;
- Des bornes incendie, espacées de 45 m maximum dans la zone procédé et 60 m maximum dans les autres zones ;
- Des bornes mousse ;
- Des dévidoirs à bobine ;
- Des canons à mousse.

Les lances monitors et les bornes incendie ne doivent pas être situés à moins de 15 m de l'équipement protégé.

Un système de pulvérisation automatique est prévu pour certains équipements. Il se fait à un débit de :

- 20,37 L / min par mètre carré de surface protégée pour les pompes d'hydrocarbures ;
- 10,19 L / min par mètre carré de surface protégée pour les autres équipements.



Figure 2.6 : Test des déluges au niveau des sphères.

▪ Mousse

La mousse, en tant qu'agent extincteur, est injectée dans certaines lignes de distribution d'eau incendie. Le système de mousse comprend :

- Un réservoir X 7201 ;
- Une tuyauterie de dosage ;
- Des raccords permanents aux équipements pour lesquels l'injection de mousse est nécessaire en cas d'incendie, soit :
- Les bacs de stockage de condensats on-spec S2 4301A/B et off-spec S2 4302;
- Les pompes de condensats P1 4401A/B/C ;
- Le ballon de drains de condensats V4 4306.

2.7.2 Véhicules et appareils mobiles

▪ Véhicule

- Deux camions incendie équipés d'un réservoir à mousse ;
- Un véhicule de premier secours PS ;
- Deux ambulances.

▪ Appareils mobile

- Pompe incendie entraînée par un moteur sur remorque ;
- Génératrice électrique à 5 lampes sur remorque ;

- Lance mousse /eau sur remorque ;
- Dévidoirs sur routes.

▪ **Extincteurs**

- Les extincteurs énumérés ci-dessous sont généralement répartis dans les installations :
- Extincteurs portatifs à eau à jet pulvérisé (91) ;
- Extincteurs à poudre sur roues (551) ;
- Extincteurs portatifs à poudre (91) ;
- Extincteurs à CO2 portatif.

2.7.3 Extinction par gaz inertes

Le site comprend un système d'extinction d'incendie au moyen de gaz inertes (CO2 et FM200).

▪ **Protection par CO2**

La protection au CO2 concerne :

- Les turbines des compresseurs du boosting C 0701A/B (skids SK 0701A/B) ;

Les turbines des compresseurs de gaz résiduel C2 4001A/B (skids SK 4000A/B).



Figure 2.7: Racks bouteilles des compresseurs de gaz résiduel.

▪ **Protection par FM 200**

Les systèmes d'extinction automatique au gaz FM 200 sont implantés dans la plupart des bâtiments, suivant la répartition ci-dessous :

Bâtiment	Nombre de FM 200
B001 Bâtiment de contrôle principal	4
B002 Laboratoire	0
B004 Sous station Train 2	2
B005 Sous station Train 1	2
B006 Sous station principale	4
B007 Sous station zone compresseurs	4
B008 Sous station Boosting	22 (i)

Tableau 2.1 : Répartition des systèmes d'extinction automatique FM 200.

2.8 Systèmes de sécurité

2.8.1 Système ESD

Les sécurités ultimes ESD (Emergency Shut Down) sont gérées par le système d'arrêt d'urgence Triconex V9. Les principales barres de sécurité présentes dans le logigramme de sécurité sont les suivantes:

— **ESD 0**, considéré comme le niveau de plus haute sécurité. Ce niveau provoque le "Electrical Total Black Shutdown" avec toutes les isolations électriques possibles y compris le système UPS ; le niveau ESD 0 implique l'abandon des installations causé par une situation non maîtrisable. L'usine est placée en sécurité totale (fermeture des vannes de sécurité et dépressurisation complète) ;

— **ESD 1**. Ce niveau provoque les mêmes actions que l'ESD 0 sauf que l'UPS reste disponible. Les 3 systèmes DCS, ESD et F&G sont donc en service et le personnel SDC a un temps maximal de 2 heures pour contrôler la situation ;

— **ESD 1.5**. Ce niveau implique les mêmes actions que l'ESD 1, excepté la dépressurisation de l'usine et le délestage électrique ;

— **ESD 2**. Ce niveau est soit commun pour les deux trains (ESD 2 COM) soit spécifique pour chaque train (ESD 2 train 1, ESD 2 train 2). L'ESD 2 implique la mise en sécurité des trains individuellement sans affecter le reste des installations ;

— **ESD 3**. Ce niveau local met en sécurité des équipements individuellement comme par exemple :

- Les turbo compresseurs C2 4001A/B ;
- Le four H2 5202 et les récupérateurs de chaleur H4 5201A/B ;

En général, un niveau supérieur entraîne le déclenchement en cascade des niveaux inférieurs. [4]

2.8.2 Système F&G

Le système de détection Feu et Gaz, connu par FGCP ou Trident, a pour objectifs de :

- Surveiller les zones à risques où des incidents peuvent se produire ;
- Détecter le plus rapidement possible toute situation dangereuse ou anormale (fuite de gaz ou feu) pouvant avoir un impact sur la santé ou la sécurité des personnes et / ou sur les installations et leur fonctionnement ;
- Avertir et alerter le personnel présent dans l'environnement proche de l'incident (alarmes sonores et visuelles), via la transmission d'une alarme au panneau de contrôle Feu et Gaz FGCP (Fire and Gas Control Panel) ;
- Mettre en place les premières mesures de protection pour limiter les conséquences sur le personnel et les installations (système déluge, FM 200...) ;

Le système F&G peut aussi être déclenché par une action volontaire manuelle (manette à l'intérieur des bâtiments ou à l'extérieur) ;

Les causes et conséquences gérées par le système F&G sont visualisées sur le logigramme F&G (voir chapitre B.02 - Détection Feu et Gaz et logigrammes de sécurité F&G du manuelleopérateur).

Le tableau suivant montre les différents systèmes de détection et extinction automatique et manuelle :

Installations Ou Equipements	Nature de détection	Agent Extincteur	Mode D'Extinction	Observation
Bâtiment de contrôle	Gaz Fumée	- - FM 200	- - M	Entrées air → "Shut Down zéro" Portes d'Entrée → "Shut Down niveau zéro" Alarme Armoire DCS Plancher + Faux plafond
S/S principale B006	Fumée	FM 200	A/M	
S/S compression B007	Fumée	FM200	A/M	
S/S train 1 B 004	Fumée	FM 200	A/M	
S/S train2 B005	Fumée	FM 200	A/M	
Générateur de secours	T°	-	M	Alarme
laboratoire	UV/IR	-	-	Alarme
	Fumée	-	-	Alarme
	Gaz	-	-	Alarme
Compresseur gaz / vente et Turbines	Gaz	-	A/M	Admission d'air "shut down TC"
	T°	CO2	A/M	Coté turbine
	T°	Eau	A/M/D	Coté compresseur
Section régénération gaz	Gaz	-	-	Alarme
Compresseur d'air	Gaz	-	-	Shut Down compresseur
Transformateurs HT / MT	T°	Eau	A/M/D	
Pompe GPL de reflux	T°	Eau	A/M/D	
Pomperie Exp / condensât	T°	Eau Emulseur	A/M/D	
Bac à toit fixe off / Spec	-	Eau et mousse	M/D	
Bacs à toits flottants	LHD	Eau et mousse	A/M/D	
Ballon de drainage condensât	T°	Eau / Emulseur	A/M/D	
Cuvette de réfection	-	Lances mousse	M	
Sphères GPL	-	Eau	M/D	Sphères ignifugées
Cuvette sphère GPL	Gaz	-	-	Alarme
Pomperie Exp / GPL	T°	Eau	A/M/D	
Rebouilleur d'huile	Gaz	Eau	A/M/D	
Bac de stockage gaz oil	-	Mousse	M	
Pomperie incendie	Gaz	-	M	Asservie au démarrage des pompes
Bt Logt bureaux SE	Fumée	-	-	Alarme
Bt Administratifs	Fumée	-	-	Alarme
Ateliers MN	Fumée	-	-	Alarme
MAGAZIN,	Sprinklers	Eau	A/M	
Base Vie	Fumée	-	-	Bureaux (alarme) S/S Elec (alarme)

Légende : D : à distance - A : Automatique M : Manuel.

Tableau 2.2 : les différents systèmes de détection et extinction automatique et manuelle.

Conclusion

Au niveau de ce chapitre nous avons exposé brièvement le lieu de formation (GTFT). Et en suite on a présenté les différentes unités, les différents départements, la prévention et les moyens d'intervention

Chapitre 3 :

Le gaz du pétrole

liquéfié

Introduction

Dans la plupart des activités industrielles et d'une manière spécifique l'activité pétrolière, gazière et pétrochimique, il existe un nombre important des installations fixes servant à stocker des produits plus ou moins dangereux pour créer une réserve permettant d'assurer la fourniture du produit à tout moment en cas de besoin, pour conserver un produit en vue d'une utilisation, une consommation ou d'un traitement ultérieur et aussi pour faire face à une demande variable ayant un rythme incompatible avec celui de la production, de la consommation et/ou de la distribution associée.

Les conditions de stockage dépendent de la nature et du type des produits à entreposer (liquides, solides, gazeux), comportement physico-chimique, spécificités particulières liées à leurs conditions d'exploitation tels que la température, pression, volume, etc. Ces caractéristiques servent à déterminer la forme de conception, la matière de la construction, le type de soudure, les contrôles et les essais de résistance. On trouve donc les bacs à toits fixes et flottant pour les carburants et les pétroles bruts, les sphères et les cigares pour les gaz liquéfiés, ainsi que les stockages cryogéniques pour le GNL. Il faut savoir, que l'étude et la construction des réservoirs sont régies par des codes et des normes de construction, tels que:

- Code CODRES (France) établi par le Syndicat National de la Chaudronnerie, de la Tôlerie et de la Tuyauterie Industrielle (SNCT) et par l'Union des Chambres Syndicales de l'Industrie du Pétrole (UCSIP) .
- Code API 650 (États-Unis) développé par l'American Petroleum Institute (API).
- Code BS 2654 (Royaume-Uni) rédigé par la British Standard Institution (BSI).
- Norme DIN 4119 (Allemagne) éditée par le Deutsches Institut für Normung (DIN).

Le présent chapitre est consacré à la présentation de quelques généralités sur les GPL, les types de stockage, les risques, types de feux des GPL et en plus de détail le phénomène BLEVE.

1. Comportement des gaz

La matière est constituée d'un grand nombre de particule extrêmement petite nommées atomes qui peuvent se combiné pour former des molécules, elle existe en trois états physiques différents : état solide, liquide et gazeux, caractérisé par : volume, forme, ordre, distance entre les particules, force de liaison entre les particules, mobilité des particules.

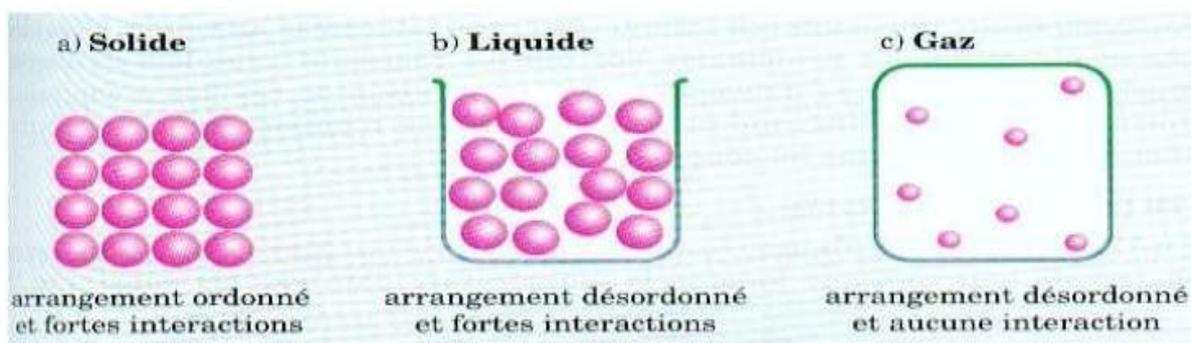


Figure 3.1: Les trois états de la matière.

Il existe deux façons de passage d'un état à un autre :

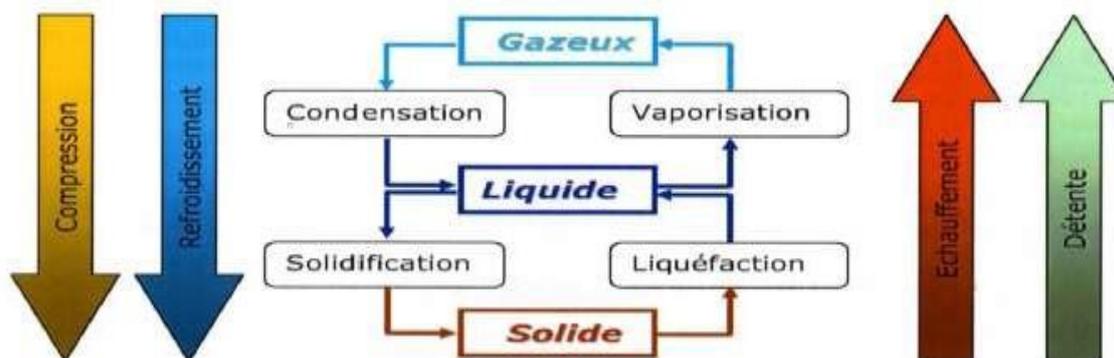


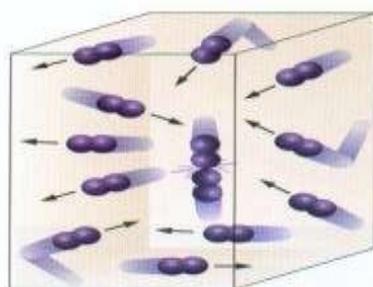
Figure 3.2: Transformation de la matière.

1.1 Les facteurs qui influencent le comportement d'un gaz

Le comportement d'un gaz est influencé par quatre facteurs : la pression, le volume, la température, la quantité de particules.

- **La pression**

La pression (P) est définie comme la force par unité de surface $P = F/S$. Dans un gaz, les particules se déplacent dans tous les sens, au hasard. On appelle ce mouvement aléatoire mouvement brownien.



Les molécules d'un gaz sont constamment animées d'un mouvement rectiligne aléatoire (mouvement Brownien). Chaque molécule subit des collisions élastiques quand elle frappe les autres molécules et les parois du contenant.

Figure 3.3: Mouvement d'une particule de gaz.

A cause de ce mouvement, les particules entrent constamment en collision entre elles et avec les parois qui les entourent. Ce sont les collisions qui causent la pression. Par exemple, en ce moment nous sommes bombardés de toutes parts par des particules d'air. La pression exercée par l'air est appelée pression atmosphérique.

- **Le volume**

Le volume (V) d'un gaz est l'espace que ce gaz occupe. Les unités les plus utilisées pour exprimer le volume sont le mètre cube, le décimètre cube, le centimètre cube, le litre et le millilitre.

- **La température**

Pour mesurer la température (T), nous allons utiliser deux systèmes différents: l'échelle Celsius (°C) et l'échelle Kelvin (K). La valeur de l'unité de température est la même pour les échelles Celsius et Kelvin. La différence entre les deux réside dans la position de leur point zéro.

- **La quantité de particules**

La quantité de particules d'un gaz est généralement exprimée en nombre de moles (n). Une mole (mol) de quelque chose est composée de $6,022 \times 10^{23}$ unités de ce quelque chose. Par exemple, une mole de molécules contient $6,022 \times 10^{23}$ molécules. Le nombre associé à la mole ($6,022 \times 10^{23}$) est appelé nombre d'Avogadro et est représenté par le symbole N_A

$$N_a = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

1.2 Courbe de tension de vapeur des corps purs

Chaque corps pur possède, une courbe de tension de vapeur qui délimite, dans le diagramme pression-température, deux zones comme représenté ci-dessous.

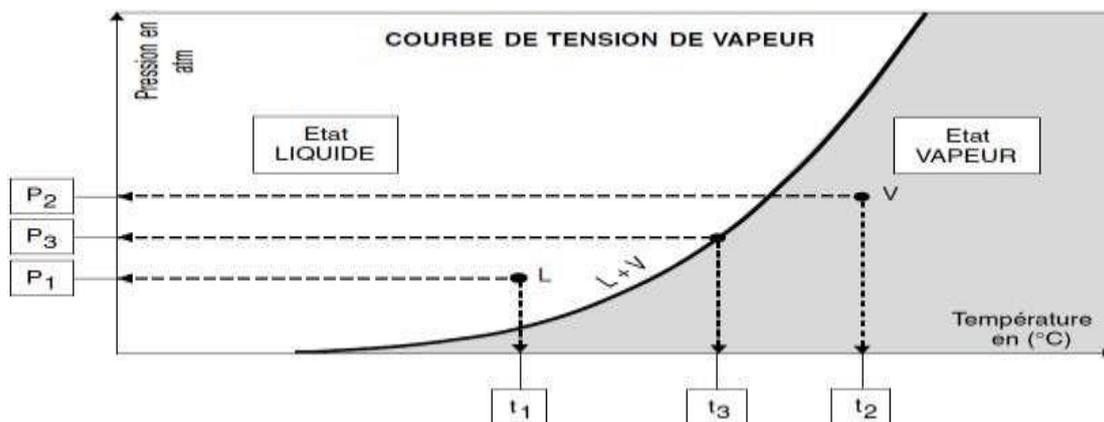


Figure 3.4: Courbe de tension de vapeur des corps purs.

- La zone située à gauche de la courbe correspond au domaine d'existence du corps pur à l'état liquide. Les conditions de pression P_1 et de température t_1 (point L).
- La zone située à droite correspond au domaine d'existence à l'état vapeur (point V, conditions P_2 , t_2).
- Sur la courbe elle-même (conditions P_3 et t_3) il y a coexistence des deux phases liquide et vapeur.

Les GPL sont gazeux à température normale (15°C) et à la pression atmosphérique (1013 mbar), ils sont liquéfiables sous faible pression.

- 1,7 bara pour le butane (bara : bar absolu).
- 7 bara pour le propane.

Leur température d'ébullition est de:

- 1 à -12°C pour le butane;
- 43°C pour le propane;
- 25°C pour le GPL carburant;

Pour les températures supérieures à ces valeurs, chaque fois que l'on ouvre le robinet du récipient, il y a ébullition du liquide et formation de vapeur, donc de gaz (ciel gazeux) qui se régénère au fur et à mesure des soutirages de ce gaz au robinet.

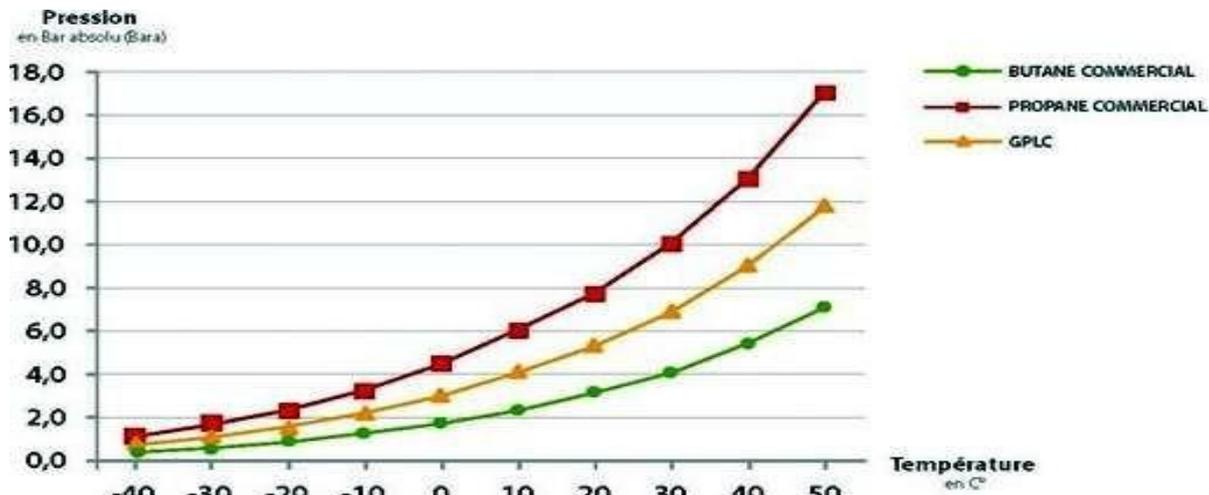


Figure 3.5: Les courbes de tension de vapeurs du propane, butane et GPL.

2. Stockage des gaz liquéfiés

Les gaz liquéfiés sont stockés sous leur propre tension de vapeur c'est-à-dire que les conditions de stockage sont telles qu'il y a coexistence des états liquide et gazeux du gaz concerné, et la pression de stockage dépend uniquement:

- De la nature du produit stocké;
- De la température de stockage.

Ceci conduit à 3 grands types de stockage.

2.1 Stockages sous pression

Où les gaz liquéfiés sont stockés à la température ambiante par exemple

Gaz liquéfié	Température	Pression
Propane	Ambiante	$\cong 7$ bars

Tableau 3.1: Stockage sous pression.

Cela concerne:

- Les réservoirs cylindriques;
- Les sphères;
- Les stockages souterrains;
- Les stockages sous talus;
- Les réservoirs petits vrac de propane et les bouteilles de propane et de butane commerciaux;

2.2 Stockages réfrigérés sous pression

Où les gaz liquéfiés sont stockés à des températures voisines ou inférieures à 0°C. Cela permet une réduction importante de la pression de stockage dans le cas de produits volatils. Ils sont essentiellement aériens et concernent les sphères et les cigares. Ils sont bien entendu

Calorifugés, cela exige l'installation et le fonctionnement d'appareil de réfrigération. Ces stockages réfrigérés sont aussi utilisés dans le cas de gaz liquéfiés présentant des températures critiques basses ou des risques de polymérisation et d'instabilité chimique à chaud par exemples:

Gaz liquéfié	Température	Pression
Propylène	0°C	≅ 4,8 bars

Tableau 3.2 : Stockage réfrigéré.

b. 2.3 Stockages cryogéniques

Pour les gaz incondensables à la température ambiante. La pression de stockage est légèrement supérieure à la pression atmosphérique. La température est alors voisine à la température normale d'ébullition du produit par exemple:

Gaz liquéfié	Température	Pression
Ethylène	-103 °C	45 mbars

Tableau 3.3 : Stockage cryogénique

Ce mode de stockage est réservé aux gaz liquéfiés qui, à température ambiante, développent de fortes pressions. Ces produits sont stockés sous une pression d'exploitation réduite obtenue par abaissement de leur température au moyen de machines frigorifiques.



Figure 3.6: Types de stockage des gaz liquéfiés.

3. Le gaz du pétrole liquéfié GPL

3.1 Définition

Le gaz de pétrole liquéfié est un mélange d'hydrocarbures légers stockés à l'état liquide et issu de raffinage du pétrole (40% des ressources mondiales), et plus généralement du traitement du gaz naturel (60% des ressources mondiales). Les hydrocarbures constituant le GPL sont des molécules constituées de 3 à 4 atomes de carbone (exemple : propane C_3H_8 , butane C_4H_{10}).

Le GPL était autrefois considéré comme un résidu de l'extraction du pétrole et directement brûlé au sommet de torchères, il est dorénavant récupéré par distillation. Les fractions les plus nobles et le reste servent généralement de carburant.

3.2 Historique

C'est Hermann Stukeman, ingénieur de la Rivers Ide Poil Company, en Virginie, qui a réussi à obtenir du GPL le 24 décembre 1910, et c'est en 1912 que la carburation automobile au GPL a eu ses premières applications. Les compagnies pétrolières le commercialisent dès 1927, vingt ans après sa découverte, en 1930, la consommation du GPL aux Etats-Unis atteignait 32 200 tonnes. Pour l'Europe, c'est en France que débutera l'utilisation du GPL, en 1932, en usage domestique, et c'est en 1979 qu'il sera autorisé comme carburant.

3.3 Composition

Les gaz de pétrole liquéfiés (GPL) sont des molécules pures, dites saturées, car elles possèdent des relations stables entre les différents atomes. En effet, les GPL ne sont rien d'autre que des chaînes hydrocarbonées, c'est-à-dire qu'elles sont constituées uniquement de molécules de carbone (3 pour le propane et 4 pour le butane) et d'hydrogène (8 pour le propane et 10 pour le butane). Ces hydrocarbures mélangés répondent à des règles officielles, clairement définies par la loi.

3.4 Caractéristiques des GPL

- Le GPL a la particularité de pouvoir être liquéfié à température ambiante, sous une faible pression (3-7 bars). A pression atmosphérique, il se liquéfie à une température de l'ordre de $-30^{\circ}C$. La dilatation du GPL est d'environ 0,25% par degré Celsius.
- Le GPL que l'on trouve dans le commerce contient un additif odorant (mercaptan), afin de faciliter la détection des fuites;
- Le GPL ne contient ni plomb, ni benzène, ni soufre;
- La combustion du GPL est assez propre, elle ne produit pas de suies, peu de monoxyde de carbone, relativement peu d'hydrocarbures imbrûlés, et assez peu de dioxyde de carbone, par rapport aux autres carburants et combustibles dérivés du pétrole. Par ailleurs,
 - les hydrocarbures imbrûlés issus de la combustion du GPL sont des chaînes carbonées courtes, donc moins toxiques que leurs homologues issus de l'essence, du gazole, ou du fuel;
- Le GPL est une énergie respectueuse de l'environnement; à l'état naturel, les GPL sous formes gazeuse ou liquide ne contiennent pas de CO_2 et n'en libèrent pas non plus. C'est leur combustion qui émet du CO_2 . Cette quantité émise reste faible par rapport aux émissions de gaz à effet de serre des autres énergies fossiles.

- La combustion du propane et du butane reste de très bonne qualité comparée à celle des autres énergies fossiles. Ainsi elle ne dégage pas de composés sulfureux, peu d'oxydes de carbone, aucun résidu, pas d'imbrûlé, pas de poussière, ni de cendre.
- A température ambiante et à pression atmosphérique, les GPL ont la propriété d'être à l'état gazeux. Mais ils se liquéfient aisément en augmentant leur pression, facilitant ainsi leur stockage et utilisation.

3.5 Les caractéristiques physico-chimiques du butane et du propane

Le butane et le propane partagent de nombreuses caractéristiques.

- i. Incolore;
- ii. Inodores;
- iii. Non toxique;
- iv. Non corrosifs (mais dissout le caoutchouc, la graisse et l'huile);
- v. Fluidité;

Néanmoins, ils se distinguent par deux éléments:

- vi. Leur pression de liquéfaction (passage de l'état gazeux à l'état liquide);
- vii. Leur température d'ébullition (à laquelle un liquide se vaporise);

Quelques propriétés physiques importantes

Les caractéristiques physiques du propane et butane confèrent à cette énergie un avantage certain du point de vue du stockage et du transport.

Caractéristiques	Butane	Propane
La formule chimique	C ₄ H ₁₀	C ₃ H ₈
La masse moléculaire g/mole	58.12	44.09
Masse volumique du Liquide (Kg/m ³) à 15°C	585	515
Masse volumique du Gaz (kg/m ³) à 15°C	2.50	1.85

La température de transformation gaz- liquide (°C)	- 135 à 1atm	- 43 à 1atm
La température d'auto inflammation (°C)	286.9	400
Point d'ébullition (°C)	-12 à - 1	- 43
Point d'éclair	-70	-50
Limite inflammation de la phase gazeuse LIE - LSE (%)	1.9 à 8.5	2.4 à 9.3

Pression de vapeur (bar)	2.9 à 20°C	9.6 à 20°C
	6.6 à 50°C	19.2 à 50°C
Solubilité dans l'eau	insoluble	Peu soluble
Quantité de gaz libéré à partir de 1 litre de liquide à 15°C	239 à 1atm	311 à 1atm
La vitesse de propagation de la flamme dans l'air cm/s	33	32

Tableau 3.4: Propriétés physico-chimique du butane et du propane.

3.6 Utilisation des GPL

3.6.1 Le combustible GPL (butane, propane)

Le GPL est utilisé comme combustible de cuisson, vendu en bonbonnes (bouteilles) de capacité variable. Ces gaz de cuisson sont essentiellement composés de propane, de butane, ou d'un mélange des deux. Dans les zones restreintes non desservies par le gaz naturel, on peut trouver de l'air propané ou butané dans les réseaux de distribution de gaz.

3.6.2 Le GPL carburant (GPLc)

Le GPL carburant est similaire au GPL combustible .Il est composé de 50 à 81% de propane et 19 à 50% de butane (le cas de GTFT: Propane 62%, Butane 38%). Cette proportion varie suivant les pays et suivant les saisons.

Le GPLc est considéré comme un carburant propre, aussi il est souvent faiblement taxé. La combustion de GPLc dans les moteurs à essence est relativement propre: moins d'émission de CO₂, de CO, de NOx. Des études de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) montrent cependant que le GPL est plus ou moins performant en terme de pollution (par rapport à l'essence ou au gazole) suivant les conditions.

3.6.3 GPL dans la climatisation

Deux principaux facteurs sont utilisés

- Pour s'évaporer, les GPL absorbent la chaleur de l'environnement et créent un froid;
- Un moteur fonctionnant aux GPL peut entraîner un compresseur qui comprime le gaz GPL et la détente absorbe la chaleur.

A la base de ces deux principes ont été construits les réfrigérateurs et les climatiseurs.

3.6.4 GPL pour la production d'électricité

Les rythmes attendus de la croissance de la demande mondiale d'électricité dépasseraient largement ceux des autres formes d'énergies finales. Elle atteignait 21,2% en l'an 2010. Les GPL pour la production d'électricité s'avère être une solution privilégiée par rapport aux autres combustibles (charbon, fuel,...etc.), et ce tant du point de vue économique qu'écologique.

3.7 Avantages et inconvénients du GPL

3.7.1 Avantages

Le moteur GPL est souvent présenté comme un moteur écologique, les rejets sont en grande partie neutralisés par le pot catalytique qui les transforme en rejets inoffensifs. Grâce à ce pot catalytique le monoxyde de carbone (CO) est transformé en dioxyde de carbone (CO₂), les hydrocarbures (HC) sont transformés en eau (H₂O) et en dioxyde de carbone (CO₂).

- Combustion du butane:



- Combustion du propane:



Un véhicule équipé au GPL a une consommation de 15% en plus par rapport à un véhicule ordinaire mais le prix du carburant est beaucoup moins cher.

La souplesse et la régularité de fonctionnement allonge la durée de vie des véhicules au-delà des performances des véhicules au gazole. (Environ 150 à 200 000 kilomètres en usage courant).

La révision du moteur est d'environ tous les 250 000 kilomètres au lieu de 15 000 km.

3.7.2 Inconvénients

Le moteur GPL rejette une quantité de CO₂, ce gaz est responsable de l'effet de serre c'est-à-dire qu'il est responsable du réchauffement de la planète donc plus de pluie ou plus de sécheresse selon les endroits.

4. Stockage aérien sous pression

La pression de stockage et la tension de vapeur à la température ambiante dépend uniquement

- De la nature du produit stocké.
- Des conditions atmosphériques.

La réglementation actuelle (française) interdit la construction de nouveau réservoir aérien de plus de 500 m³ et sous talus de plus de 10 000 m³.

Les réservoirs aériens sphériques ou cylindrique sont conçus, calculés, réalisés et protégés conformément aux règles relatives aux appareils à pression. De même, les contraintes liées à l'environnement sont prises en compte (vents violents, séisme, foudre, etc.).

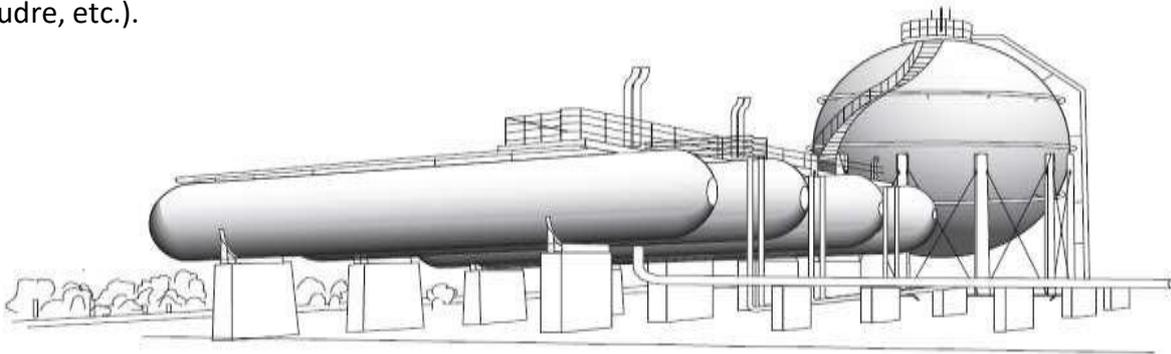


Figure 3.7: Vue extérieure de réservoirs sous pression.

4.1 Réservoirs cylindriques ou Cigares

Ils peuvent être installés verticalement ou horizontalement. Ils ont une capacité limitée (jusqu'à 500 m³) et sont très sensibles à la mise sous vide. Les équipements rencontrés sur ces capacités sont identiques à ceux équipant les sphères.

4.2 Sphères

Les sphères sont largement employées pour les stockages importants de gaz liquéfiés sous forte pression. C'est la forme idéale pour résister à la pression car c'est sur ce type de coque que le niveau des contraintes de membrane reste le plus faible ; c'est ainsi que l'épaisseur d'une enveloppe sphérique est, par exemple, moitié moindre que celle d'une enveloppe cylindrique de même diamètre soumise à la même pression et réalisée avec le même matériau. C'est aussi la forme géométrique qui présente la plus petite surface de paroi pour un volume donné. Toutes ces propriétés contribuent à rendre ces réservoirs très économiques et bien adaptés aux stockages sous pression de grandes capacités.

Les sphères supportent également très bien d'importantes dépressions internes pouvant aller jusqu'au vide total. Comme pour les ballons cylindriques horizontaux, les pertes de produit dues à la variation de la température ambiante ou aux mouvements de produit sont nulles.

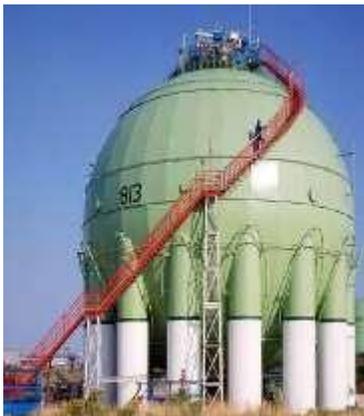


Figure 3.8: sphère sur poteaux.

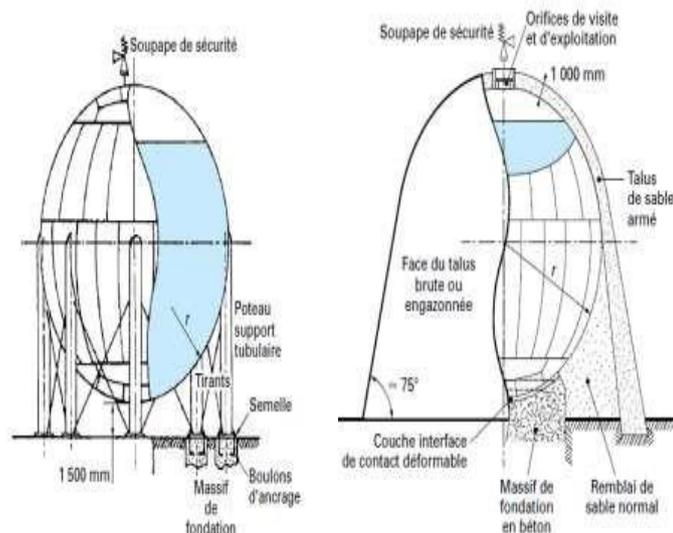


Figure 3.9: Sphère sous talus.

La capacité unitaire des sphères habituellement installées est comprise entre 200 m³ ($\varnothing=7,25\text{m}$) et 5 000 m³ ($\varnothing= 21,25 \text{ m}$), mais des ouvrages de capacités supérieures pouvant atteindre 10 000 m³ ($\varnothing= 26,75 \text{ m}$) sont aussi quelquefois réalisés. Compte tenu de leur géométrie et de leur grande dimension, la construction des sphères est effectuée directement sur le site d'implantation à partir d'éléments transportables préfabriqués en usine.

L'enveloppe sphérique sous pression est constituée d'un ensemble de tôles élémentaires soudées bout à bout et disposées en rangées horizontales entre deux calottes polaires. En général, elle est supportée au niveau de l'équateur par des poteaux verticaux de section tubulaire, espacés de 5 à 6 m, qui prennent appui sur des massifs de fondation. La hauteur de ces poteaux est prévue pour permettre une distance libre d'au moins 1,5 m sous le pôle inférieur.

4.3 Equipements des réservoirs sous pression

La sphère de GPL est équipée de quatre types d'accessoires répartis selon leurs fonctionnements : accessoire d'accès, de contrôle, d'exploitation et de la sécurité.

4.3.1 Accessoires d'accès

- **Escalier:** équipé d'un garde-corps permet l'accès aux point hauts de réservoir, pour la vérification et la lecture des différent valeurs indiquées par les accessoires de contrôle.
- **Trous d'homme:** chaque réservoir doit contient deux trous d'homme l'un en haut et l'autre en bas, permettent l'accès à l'intérieur de la sphère en cas de nettoyage ou de vérification de l'état du métal
- **Une échelle intérieure:** lie les deux trous d'homme, et permet la visite de toute la sphère et de toute la surface intérieur, utilisée lors des inspections réglementaires.

4.3.2 Accessoires de contrôle

- **Indicateur de pression:** situé en haut de la sphère permet de donner la pression de la partie gazeuse de produit stocké.
- **Indicateur de température:** chaque sphère est équipée de deux indicateurs de température, l'un situé en haut et l'autre en bas de la sphère, pour indiquer la température des deuxphases liquide et gazeuse.
- **Indicateur de niveau:** il existe généralement quatre 04 indicateurs de niveau dans chaque sphère, indicateur de niveau bas, indicateur de niveau haut, indicateur de niveau très haut et indicateur de niveau en continu. Ces indicateurs nous donnent le niveau de remplissage et de vidange de la sphère pour éviter les surpressions et les dépressions dans cette dernière pendant ces deux opérations.

4.3.3 Accessoires d'exploitation

Ce sont les différentes tubulaires et équipements placés sur les parties inférieurs et supérieurs de la sphère qui permettent la communication avec l'intérieur de la sphère tels que les vannes de remplissage et vidange , les vannes automatiques, clapet anti retour, vanne de régulation de pressionde gaz tampon , système de purge, conduite vers torche, etc.

4.3.4 Accessoires de sécurité

Sont les organes et les équipements qui assurent la protection de la sphère contre les surpressions, les fuites, les explosions et les incendies. Parmi ces accessoires citons les soupapes de sécurité (déchargement vers torche), les couronnes de refroidissement (système déluge), les détecteurs de gaz et de flammes, isolation anti incendie (ignifugation), dispositif de rétention, clapet de sécurité à commande hydraulique, etc.

Le schéma suivant représente les principaux équipements d'un réservoir sous pression :

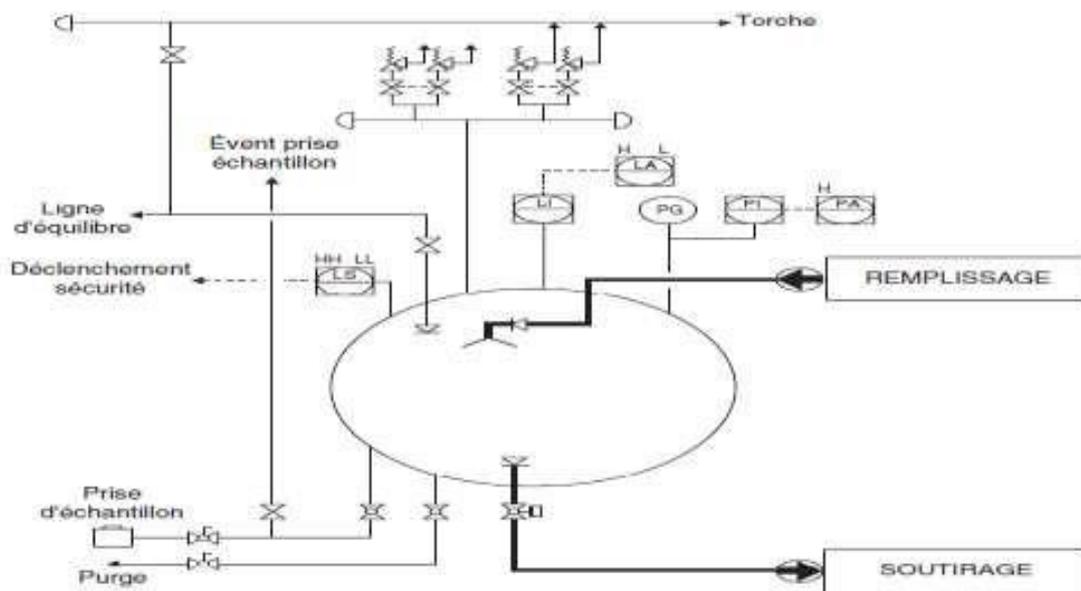


Figure 3.10 : Les principaux équipements d'un réservoir sous pression.

5. Risque liés aux GPL

Le GPL est maintenu à l'état liquide par confinement sous haute pression donc il est liquéfié par un changement modéré de la pression ou de la température en dessous de son point d'ébullition. A l'état gazeux, le GPL est plus lourd que l'air, il a tendance à éteindre le sol, et à l'état liquide la densité GPL est la moitié d'eau (0.5 kg/l), donc l'eau s'accumulera au fond des GPL.

Une fois vaporisé, l'effet d'auto-réfrigération, condense l'air environnant avec formation de glace, c'est le signe de fuites. Ses limites d'inflammabilités comprises entre 2–9 % du volume d'air.

5.1 Fuite de GPL

Une fuite de GPL est caractérisée par la formation d'un nuage gazeux, avec la formation d'une couche claire très inflammable enveloppant ce nuage, en plus de la formation d'un gel à la source de la fuite. Du fait de son poids moléculaire, les GPL ont tendance à éteindre le sol et à s'écouler lentement pour s'accumuler dans les points bas, caniveaux et sous-sol.

1 Litre GPL \longrightarrow 12500 litres mélanges inflammable

La rupture de conduite, d'un équipement ou d'une capacité sous pression peut entraîner une fuite importante de GPL. Ces ruptures sont provoquées par :

- **Endommagement mécanique:** corrosion, érosion, relâchement brusque d'un joint, choc mécanique externe;
- **Endommagement thermique:** rayonnement, jet fire, choc thermique;
- **Erreur opérationnelle:** soupapes de sécurité non fonctionnelles, lors des opérations de vidange de capacité (asphyxie l'opérateur, givrage de la vanne).

Les fuites de GPL peuvent survenir dans les deux phases (liquide ou gaz) de stockage comme:

5.1.1 Fuite de GPL dans la phase gazeuse

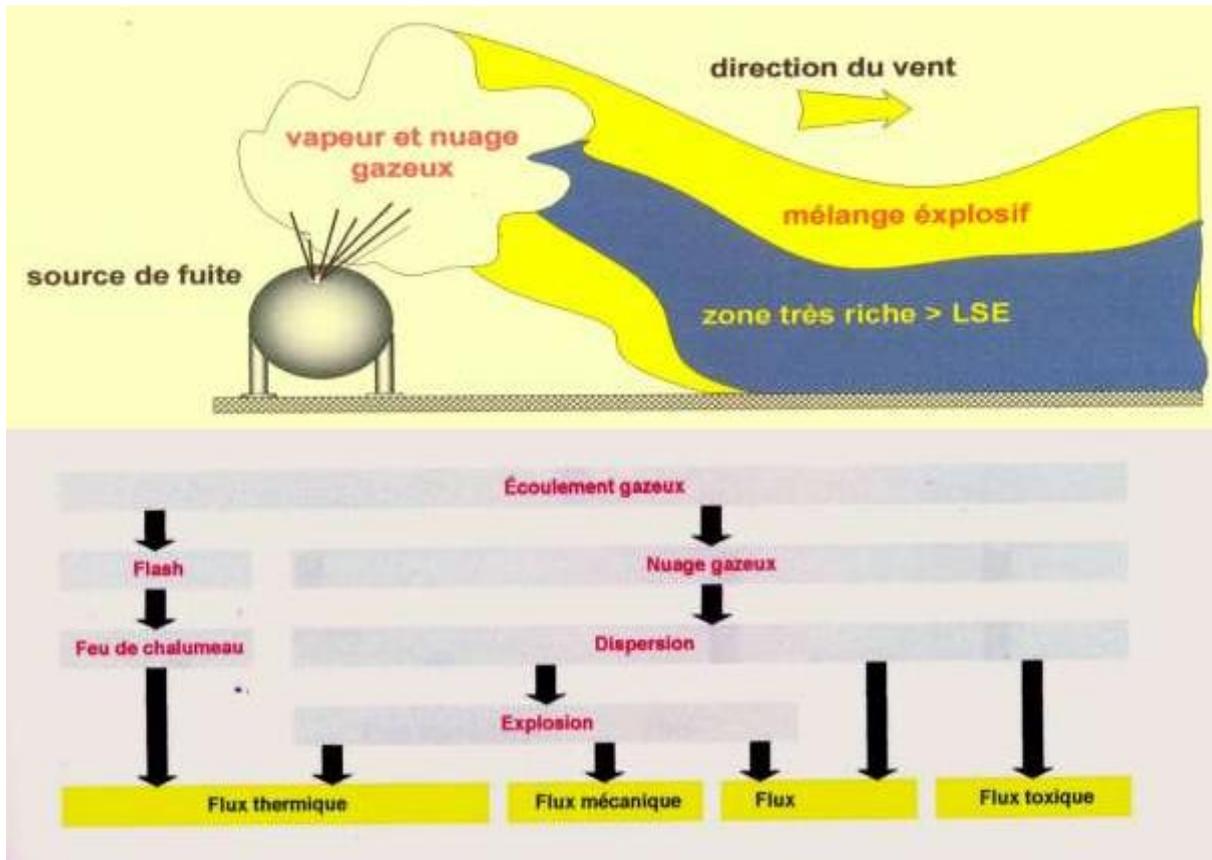


Figure 3.11: Fuite de GPL dans la phase gazeuse.

5.1.2 Fuite de GPL dans la phase liquide

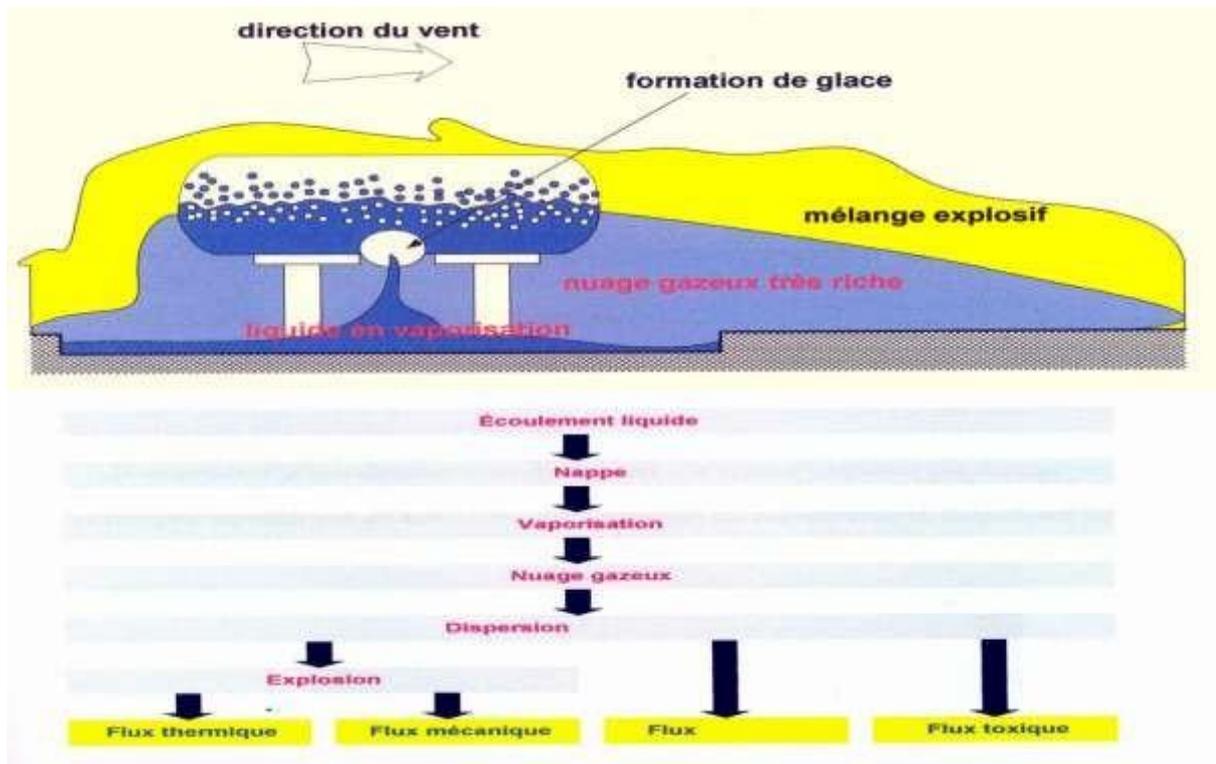


Figure 3.12: Fuite de GPL dans la phase liquide.

5.2 Feux de GPL

Une fuite accidentelle de GPL provoque la formation d'un nuage inflammable, si ce dernier rencontre une source d'inflammation, un feu se produit avec la propagation instantanée de la combustion dans le nuage inflammable. Les caractéristiques de ce feu varient en fonction du scénario de fuite et en résulte un:

- i. Feu de flash (flash fire).
- ii. Feu de nappe (pool fire).
- iii. Feu de chalumeau (jet fire).
- iv. VCE (Vapor Cloud Explosion).
- v. BLEVE (Boiling Liquide Expanding Vapor Explosion).

5.2.1 Feu de flash (flash fire)

Il se produit en champ libre juste après l'événement de la fuite ou un nuage de gaz flotte dans l'air, se rapproche d'une source d'ignition généralement à faible énergie et s'embrase instantanément sans explosion, ensuite il va constituer généralement un feu de chalumeau; le front de flamme se déplace à faible vitesse (moins de 12 m/s) et ne génère pas d'onde de surpression.

5.2.2 feu de nappe (pool fire)

a- Définition

Le terme « feu de nappe » ou « feu de flaque » décrit un incendie résultant de la combustion d'une nappe de combustible liquide. Ce type de feu résulte de la présence simultanée d'une nappe de liquide inflammable portée à une température supérieure à son point éclair et d'un point chaud (étincelle, flamme nue, métal incandescent,...).

D'une manière générale, le phénomène de combustion d'un produit intéresse les vapeurs émises par le produit réchauffé. Pour qu'un produit brûle, il faut donc qu'il émette des vapeurs inflammables. Pour les combustibles liquides, les vapeurs inflammables sont émises par évaporation de la phase liquide.

La combustion a ainsi lieu en phase gazeuse dans la zone qualifiée de « flamme ». Une partie de l'énergie libérée par l'exothermicité de la réaction de combustion est cédée au combustible, entretenant ainsi l'émission de gaz inflammables. Le feu de nappe est donc un phénomène de combustion auto-entretenu.

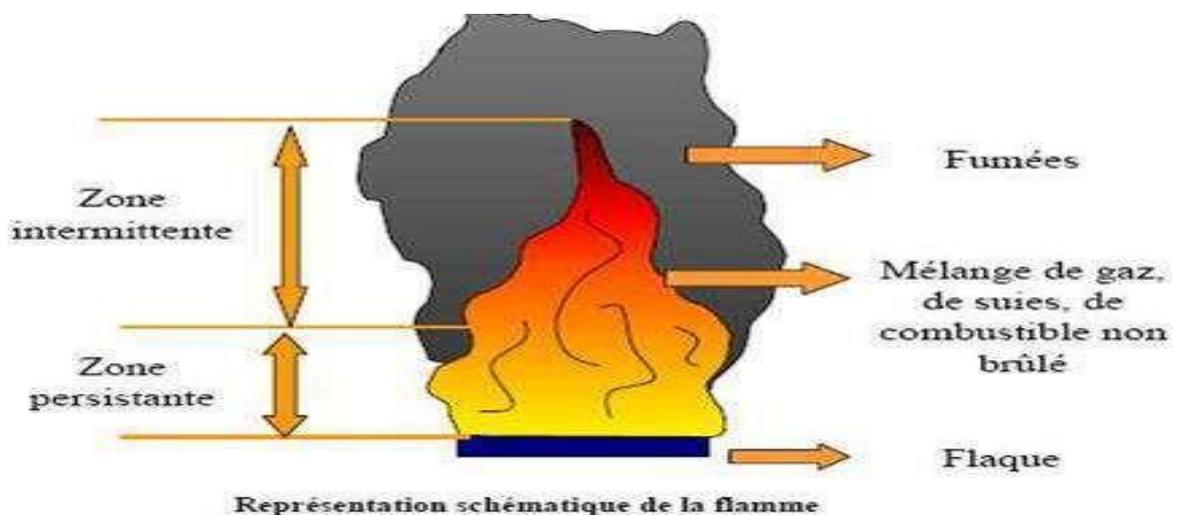


Figure 3.13: Feu de nappe.

b- Processus et conditions d'apparition

La nappe de liquide inflammable résulte fréquemment d'une fuite, plus ou moins importante. Il est à noter que le point chaud en lui-même, s'il est maintenu suffisamment longtemps, peut initier l'incendie d'un liquide dont la température est inférieure au point éclair, le point chaud en lui-même peut porter localement le liquide à une température supérieure à son point éclair, déclenche l'incendie qui se généralise ensuite à toute la nappe.

c- Effets et conséquences

L'impact d'un feu de nappe dépend de la taille de la surface en feu, du produit qui se consume et de la durée de l'incendie. Par contre, si l'incendie se développe à proximité de stockages de matières combustibles, des effets dominos peuvent être observés et les conséquences peuvent être dramatiques (incendie plus violent, explosion...).

De manière générale, les principales conséquences observées de manière récurrente sont la pollution des eaux de surface ainsi que la contamination des sols, voire des eaux souterraines, plus rarement, des blessés ou des morts.

5.2.3 feu de chalumeau/torche (jet fire)

a- Définition

Dans l'environnement industriel, les feux chalumeau appelés également feux torche peuvent survenir suite à des fuites accidentelles de fluides inflammables ou à des évacuations intentionnelles de sous-produits par l'intermédiaire de torchères.

b- Processus et conditions d'apparition

Lorsqu'un jet de combustible gazeux ou diphasique issu d'une fuite accidentelle ou intentionnelle liée à la défaillance d'un équipement (brèche dans une canalisation ou un réservoir, rupture des joints et raccords...) pénètre dans l'air ambiant au repos, le combustible se mélange à l'air par l'effet d'entraînement et de diffusion. Si ce mélange s'enflamme par l'intermédiaire d'une source d'inflammation, le feu de torche prend naissance sous la forme d'une flamme de diffusion.

Le phénomène de feu torche a pour origine un rejet de fluides combustibles, généralement à l'état gazeux ou diphasique, qui s'enflamme:

- Spontanément si sa température est suffisamment élevée.
- En raison de la présence de point chauds.
- Par la présence d'une étincelle liée par exemple au démarrage d'un véhicule situé à proximité.

c- Effets et conséquences

Parmi les conséquences les plus critiques liées à des feux torches survenus accidentellement, il convient de citer les pertes humaines et matérielles (effets dominos) entraînant généralement l'arrêt de la production.

Ce type d'accident est dangereux seulement quand la flamme du chalumeau atteint les équipements avoisinants qui peuvent s'affaiblir et rompre rapidement compte tenu de l'intensité du rayonnement, entraînant ainsi d'avantage de dégagement de GPL et des hydrocarbures. Par ailleurs, quelques éléments observés donnent une idée qualitative des conséquences des feux torche:

- Les débits de fuite qui représentent des quantités importantes de combustible

perdues.

- L'orientation de la flamme qui peut avoir une influence déterminante sur l'occurrence d'effets dominos.
- Les hauteurs de flamme de plusieurs dizaines, voire même de centaines de mètres.



Figure 3.14: Feux de chalumeau (jet fire).

5.2.4 VCE

a- Définition

Un VCE (Vapour Cloud Explosion) est une explosion de gaz à l'air libre, elle se produit suite à une perte de confinement, ou de grands volumes de nuages inflammables combustibles / air se développent avant allumage; l'inflammation extrêmement rapide du mélange dans l'espace libre provoquera des ondes de chocs avec forte radiation thermique et de surpression. Le terme VCE s'applique lorsque des effets de pression sont observés, alors que le terme flash fire est réservé aux situations où la combustion du nuage ne produit pas d'effets de pression. Cependant il s'agit dans les deux cas du même phénomène physique, à savoir la combustion d'un mélange inflammable.

b- Processus et conditions d'apparition

Un VCE comprend généralement les étapes suivantes:

- Fuite ou rejet accidentel d'un gaz ou d'un liquide dans l'atmosphère.
- Mélange avec l'oxygène de l'air pour former un volume inflammable.
- De manière concomitante, dilution et transport de nuage de gaz dont une partie de volume reste ininflammable.
- Inflammation de nuage à cause de rencontre avec une source de chaleur.
- Propagation d'un front de flamme des parties inflammables du nuage associé à l'expansion des gaz brûlés, ce front de flamme agit à la manière d'un piston sur les gaz frais environnants.

Après l'inflammation du nuage une onde de pression se forme et donne naissance à plusieurs phénomènes classés selon la vitesse de propagation de flamme:

La déflagration: combustion où le front de flamme parcourt la masse de gaz avec une célérité subsonique, si la flamme rencontre des obstacles répétés, la combustion accélère, d'où une augmentation de la vitesse du front de flamme et génération d'une onde de choc, pour des vitesses de front de flamme comprises entre 12 et 120 m/s, on parle de déflagration lente avec faible effet de souffle, pour des vitesses supérieures à 120 m/s mais toujours subsoniques, on parle de déflagration rapide avec effet de souffle.

La détonation: combustion où le front de flamme se déplace à une vitesse supersonique (340 à 2000 m/s), avec ou sans présence d'obstacle, il y a génération d'une onde de choc brisante.

Cette vitesse de propagation de la flamme dépend:

- De la concentration du mélange initial;
- Des conditions de température et de pression;
- De l'énergie de la source d'inflammation;
- Des turbulences, obstacles, confinement.

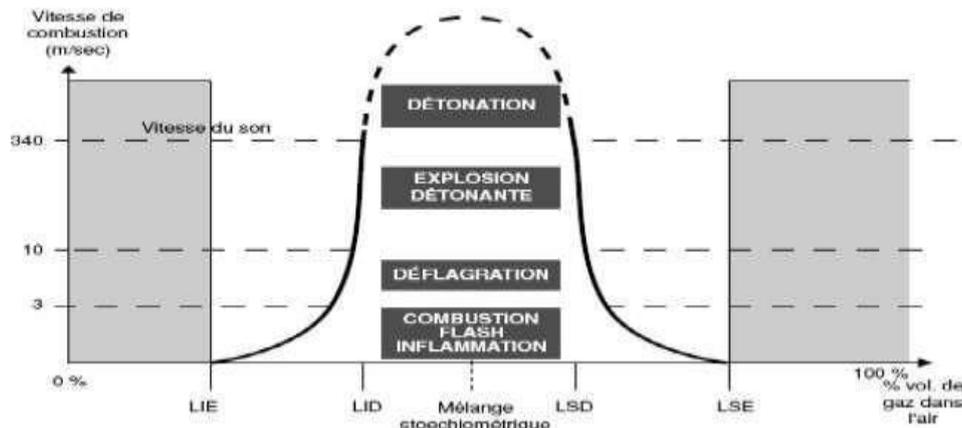


Figure 3.15: Vitesse de combustion.

c- Effets et conséquences

Les effets associés à un VCE sont:

- **Boule de feu:** qui consume ou endommage ce qui se trouve à l'intérieur.
- **Effets thermiques:** les effets thermiques du VCE ne sont pas dus au rayonnement thermique (très court) du nuage enflammé, mais uniquement au passage du front de flamme. Autrement dit, toute personne se trouvant sur le parcours de la flamme est susceptible de subir l'effet létal. De manière générale, l'effet thermique d'un VCE sur les structures se limite à des dégâts superficiels (déformation des plastiques, décollement des peintures,...), et éventuellement à une fragilisation possible de certaines structures métalliques légères. En revanche, le VCE peut être initiateur d'un incendie, ou être suivi d'un feu torche, dont les effets thermiques sont à redouter.
- **Effets de surpression:** Ces effets sont produits par l'effet piston du front de flamme sur les gaz frais. Plus la propagation du front de flamme est rapide et plus son accélération est grande, plus l'amplitude de l'onde de pression est importante. Celle-ci se propage dans l'environnement à la façon d'une onde de choc suivant l'encombrement et dont l'amplitude s'atténue lorsque l'on s'éloigne du centre de l'explosion, de manière inversement proportionnelle à la distance.

Mais il faut noter que les conséquences de VCE dépendent de:

- La masse de gaz combustible concerné, c'est-à-dire du volume de nuage;
- La composition de nuage de gaz;

- L'encombrement de l'espace.

Plus le nuage est important et plus on se rapproche d'une composition combustible/comburant idéale, plus les conséquences sont importantes. Par ailleurs, plus l'espace est encombré (tuyaux, véhicules, convoyeurs...), plus l'explosion sera violente.

5.2.5 BLEVE

C'est un phénomène très dangereux et très destructif, il se produit généralement quand une capacité de GPL est prise dans les flammes suivi d'une augmentation de pression jusqu'à rupture de l'une des parois, il s'en suit alors une brusque vaporisation des liquides formant un aérosol qui s'enflamme instantanément créant une boule de feu qui s'élève dans l'air.

a- Définition

Le mot BLEVE est un acronyme provenant de l'anglais et signifie (boiling liquid expanding vapor explosion) qui veut dire Explosion due aux vapeurs en expansion d'un liquide en ébullition donc le BLEVE est défini comme la vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température d'ébullition à la pression atmosphérique. Les gaz liquéfiés sous pression présentent un risque important en cas de rupture du réservoir, une tuyauterie, ... à l'ébullition-explosion. Tous les stockages de gaz liquéfiés sous pression sont susceptibles d'être le siège d'un BLEVE. En effet, ce phénomène est associé avant tout à un changement d'état à caractère explosif, et non à une réaction de combustion. Aussi, il n'est pas nécessaire que le produit concerné soit inflammable pour parler de BLEVE (exp: explosion d'un cylindre d'oxygène liquide).

b- Processus et conditions d'apparition

Lorsqu'un réservoir est exposé au flux thermique d'un incendie, par exemple une barre de produit enflammé se repend sous le réservoir, par un jet de feu provenant d'un réservoir voisin, ou bien lorsque les flammes viennent lécher les parois du réservoir. Sous l'effet de la chaleur, le liquide dans le réservoir se met à bouillir, la pression dans le réservoir augmente ; le gaz s'échappe alors par une valve de surpression (soupape de sécurité), pouvant produire à cette occasion un jet de feu. Le niveau de liquide baisse donc dans le réservoir. Le gaz conduisant bien moins la chaleur que le liquide, la partie de la paroi du réservoir qui se trouve au-dessus du liquide s'échauffe de manière très importante (dans la partie basse, la chaleur de la paroi est évacuée de l'autre côté par la convection de liquide). La paroi surchauffée s'affaiblit, puis finit par se rompre. Il y a alors une onde de surpression, due à la libération du gaz à la rupture de réservoir. Si le gaz qui s'échappe est inflammable, il y a également une boule de feu alimentée par la vaporisation due à la chute de pression dans le réservoir. Voici les principales étapes du BLEVE:

- Augmentation de pression.
- Rupture du métal situé au-dessus du niveau de liquide.
- Vaporisation brusque des liquides et formation d'un aérosol qui s'enflamme instantanément.
- Formation d'une boule de feu qui s'élève dans les airs dans le cas des gaz inflammable.

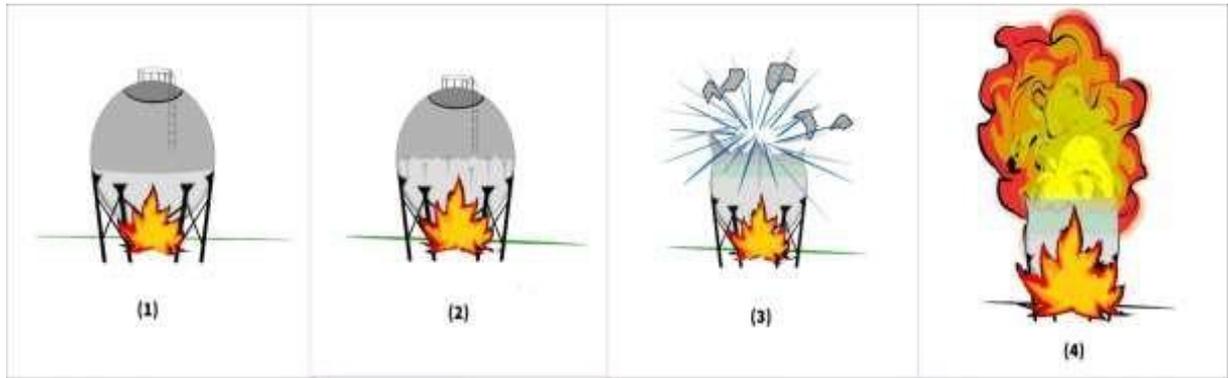


Figure 3.16: Mécanisme de rupture du réservoir.

c- Théorie de BLEVE

La théorie du BLEVE fait appel à la notion de température limite de surchauffe (TLS) qui est définie comme la température maximale que peut avoir un liquide à une pression donnée. Cette température est supérieure au point d'ébullition du liquide. La TLS à la pression atmosphérique est estimée par la formule : $TLS = 0,885 T_c$

TLS : température limite de surchauffe en K
 $T_C =$ température critique en K.

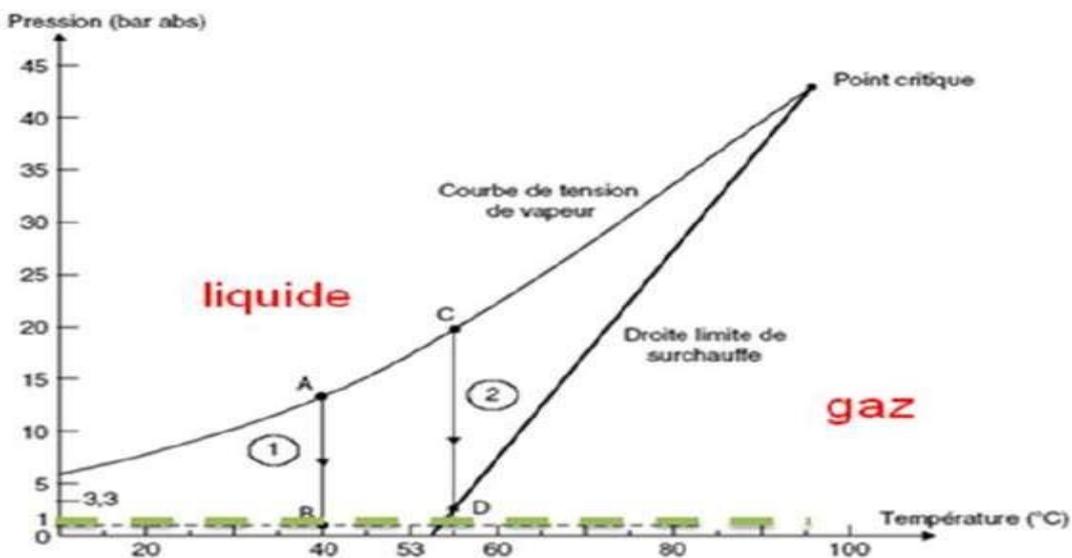


Figure 3.17: Rupture d'un réservoir de propane liquéfié.

Si la pression du réservoir passe brutalement du point A à la pression atmosphérique (point B), le liquide se vaporise en surface en restant, au moins momentanément, surchauffé, à l'état liquide avant de se vaporiser plus ou moins rapidement, un BLEVE n'est pas à craindre.

Si la pression du réservoir passe brutalement du point C à la pression atmosphérique (point D). Il y a nucléation spontanée, une vaporisation homogène, rapide et totale à caractère explosif, car il ne peut subsister à l'état liquide à une température supérieure à sa température limite de surchauffe, donc un BLEVE se produit.

La notion de BLEVE froid ou chaud se réfère uniquement à la température limite de surchauffe (TLS) du produit dont la transformation A-B, qui se produit en dessous de la température limite de surchauffe à pression atmosphérique, est généralement appelée « BLEVE froid ». Visuellement, on a affaire à une explosion plus "molle", plutôt sur le régime de la déflagration avec production d'une boule de feu qui s'élève peu au-dessus de la citerne.

La transformation C-D, qui se produit au-dessus de la température limite de surchauffe à pression atmosphérique, est généralement appelée « BLEVE chaud ». Visuellement, on a affaire à une explosion plus détonante avec élévation de la boule de feu au-dessus de la citerne. Donc lorsque la paroi du réservoir cède la pression chute brutalement on obtiendra deux type de situation :

- Si le produit est à une température inférieure à sa TLS, il se produit une violente ébullition en surface avec des effets non négligeables (ondes de pression, projectiles éventuels, ...) et la température décroît jusqu'à la température d'ébullition normale. Actuellement, de plus en plus, les spécialistes appellent ce phénomène un « BLEVE froid ».
- Si le produit est à une température supérieure à sa TLS, en quelques millisecondes, une violente vaporisation dans la masse se produit par nucléation spontanée. On est donc en présence d'une véritable explosion. L'énergie libérée est capable de propulser des morceaux de réservoirs à plusieurs centaines de mètres. Actuellement, de plus en plus, les spécialistes appellent ce phénomène un « BLEVE chaud ».

En théorie, le BLEVE « froid » engendre des effets moindres que le BLEVE « chaud » car la pression et la température de rupture sont plus basses. De ce fait, le flash du liquide en gaz n'est pas total, une flaque de liquide peut se former au sol et engendrer un feu de nappe. Les niveaux de surpression dans l'environnement sont également plus faibles lors d'un BLEVE « froid », et les fragments sont projetés à des distances assez courtes.

L'occurrence du BLEVE est influencée par plusieurs facteurs et pour bien comprendre le principe d'occurrence de ce phénomène, nous étudierons les modifications des quatre 04 facteurs suivants:

- **La pression intérieure:** Lorsqu'un réservoir est chauffé de quelque manière que ce soit, il se produit une augmentation de la pression intérieure de ce réservoir.
- **Quantité de liquide à l'intérieur:** Plus le réservoir est chauffé, plus la substance à l'intérieur se transforme de l'état liquide à l'état gazeux. Il en résulte donc une diminution de la quantité de liquide à l'intérieur.
- **Surface exposée du contenant:** Le liquide à l'intérieur peut absorber une partie de la chaleur des parois du contenant et en ralentir sa vitesse d'affaiblissement. Lorsque la quantité de liquide diminue, la surface du contenant exposé sans défense à la chaleur augmente.
- **Résistance du contenant:** La surface du contenant étant plus soumise à la chaleur, la résistance du contenant diminue donc de plus en plus. À 400 degrés

Celsius, l'acier perd 30% de sa résistance. À 700 degrés Celsius, elle perd 90% de sa résistance. Lorsque la pression intérieure est supérieure à ce que peut supporter maintenant le réservoir, le contenant se rompt et le BLEVE survient. Il faut également retenir que plus le réservoir n'est petit, plus un BLEVE surviendra rapidement, parce que plus le réservoir est petit, plus il est facile à chauffer, plus la pression augmentera rapidement à l'intérieur, et que, puisqu'il y a moins de liquide à l'intérieur, plus les parois s'affaibliront rapidement.

400 litres	3-4 minutes
4000 litres	5-7 minutes
40000 litres	8-12 minutes

Tableau 3.5: Dimension du réservoir et le temps possible d'occurrence du BLEVE.

d- Effets et conséquences

Le BLEVE se produit instantanément, sans avertissement. On ne peut entendre aucun bruit et on ne peut observer aucun gonflement nous prévenant. Un BLEVE peut générer plusieurs effets dévastateurs :

- **Une boule de feu**

Si le contenu du réservoir est inflammable, il y a alors ignition de la substance lors du BLEVE et une boule de feu en résulte. La boule de feu croît rapidement, s'élève dans les airs puis se fragmente et s'éteint après la consommation du combustible. Des essais effectués par Transport Canada (suite au décès de quelques pompiers à cause d'un BLEVE survenus à la municipalité de Warwick – Québec-) sur des réservoirs contenant du propane ont créé des boules de feu de dimension suivante:

400 litres	18 mètres
4000 litres	38 mètres
40000 litres	81 mètres

Tableau 3.6 : Dimension du réservoir et rayon de la boule de feu.

Si le contenu du réservoir n'est pas inflammable (un cylindre d'oxygène liquide par exemple), il n'y aura pas de boule de feu de produit.



Figure 3.18: Exemple de la boule de feu.

- **Rayonnement thermique**

Si une boule de feu est générée par le BLEVE, un important rayonnement thermique en découlera, les intervenants devront donc respecter une certaine distance minimale face au réservoir afin d'être épargnés par la radiation. Cette distance a été établie à 4 fois le rayon de la boule de feu. Parce que, les émissions de ce front de flamme peuvent atteindre des valeurs de plusieurs centaines de kW/m^2 .

400 litres et moins	90 mètres
4000 litres	150 mètres
40000 litres	320 mètres

Tableau 3.7: Dimension du réservoir et distance minimale d'approche.

- **Onde de surpression (détonation)**

Le BLEVE étant une explosion, il est accompagné d'une détonation et d'un important déplacement d'air. Le seul moyen de ne pas être affecté par ce souffle est la distance. En respectant les normes minimales d'approche, les intervenants demeurent hors de portée des effets d'une détonation.

- **Projection de débris**

La plus dangereuse des conséquences d'un BLEVE est la projection des débris. Le seul constat que les tests ont pu établir face à la projection des débris est qu'ils sont propulsés majoritairement vers les extrémités du réservoir. Cette projection est donc imprévisible et peut parfois atteindre des proportions énormes. Lors des essais, des débris ont atterri à plus de 230 mètres des lieux du BLEVE. Lors d'un incident survenu au Texas, des débris ont même été retrouvés à plus d'un kilomètre. Il faut alors se rappeler que, même si en tant qu'intervenant nous respectons les distances minimales d'approche, des débris peuvent nous atteindre. La meilleure solution est donc de procéder à l'évacuation d'une zone qui a été établie, pour être sécuritaire, à 22 fois le rayon de la boule de feu.

400 litres	400 mètres
4000 litres	800 mètres
40000 litres	1800 mètres

Tableau 3.8: Dimension du réservoir et rayon d'évacuation.



Figure 3.19: Phénomène de BLEVE.

En résumé, les conséquences d'un BLEVE sont dévastatrices. Rappelez-vous que le meilleur moyen de se protéger de ces effets est de se tenir le plus loin possible du réservoir.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons appris d'une façon générale quelques notions sur les GPL, ce qui nous a permis de mieux comprendre les phénomènes dangereux liés à leurs stockages et en particulier le phénomène de BLEVE qui est la crainte des services d'exploitation GPL et les services de lutte contre incendie. Le meilleur moyen de prévenir un BLEVE est d'empêcher qu'une situation potentielle ne survienne. Le territoire devrait être étudié et les endroits identifiés afin de procéder à une planification stratégique, les ressources disponibles sur les lieux, un point d'observation préétabli, un plan d'évacuation ainsi que les sources d'alimentation en eau devraient être identifiées. Toutes irrégularités autour des réservoirs devraient être signalées et les propriétaires en être avisés. Si une situation de BLEVE devait quand même se produire, rappelez-vous la règle d'or « Plus vous êtes loin, moins le danger est grand ».

Chapitre 04:

Evaluation des risques

au niveau de ballon de

reflux et la sphère de

stockage

Introduction

La sécurité industrielle est l'ensemble des moyens humains, matériels et organisationnels, mise en œuvre pour que le travail se déroule sans risque. Les accidents liés aux GPL sont des accidents très destructeurs, entraînant souvent des sinistres graves faisant parfois des victimes et causant d'importants dégâts matériels et une atteinte à l'environnement.

Après la collecte des données d'entrées nécessaires dans les précédents chapitres, on a essayé d'élaborer une étude d'évaluation des risques au niveau du ballon de reflux de GPL V6 1504 et la sphère de stockage de GPL V6 4101 qui présentent un niveau élevé de risque.

1. Evaluation du risque lié au ballon de reflux de GPL V41504/2504

1.1 Présentation du système étudié

1.1.1 Description du ballon de reflux V4 1504/2504

Le GPL (phase gazeuse) distillé à 77,2°C en tête du débutaniseur T6 1501 est condensé (passage en phase liquide) dans le AC 1503 à une température de 65°C. Le GPL condensé est récupéré dans le ballon.

Le ballon de reflux de GPL V4 1504/2504, d'une capacité de 40.8 m³. Est muni d'un système anti-vortex à la sortie de GPL et opérant à une pression de 17,2 barg.

En marche normale, le niveau est de 100% dans le ballon V4 1504, ce qui favorise la stabilité de la pression dans le débutaniseur. Le GPL est distribué via les pompes centrifuges P1 1505A/B d'une part, vers le 1^{er} plateau du débutaniseur et d'autre part, vers les sphères de stockage on-spec V6 4101 ou off-spec V6 4102A/B. L'envoi vers les sphères on-spec ou off-spec est déterminé par l'opérateur, suivant le résultat de l'analyse du GPL

Le tableau suivant présente les données techniques du système étudié:

Repère	V41504
Description	Ballon GPL
Type	Horizontal
Fournisseur/Fabricant	SIMAS
Produit	GPL
Pression de calcul (barg)	21
Pression de service (barg)	17
Température de calcul(°C)	95
Température de service	-27/65
Matériaux	Acier carbone

Tableau 4.1: données technique de la sphère V64101.

La figure suivante présente le P&ID de ballon de GPL V41504 :

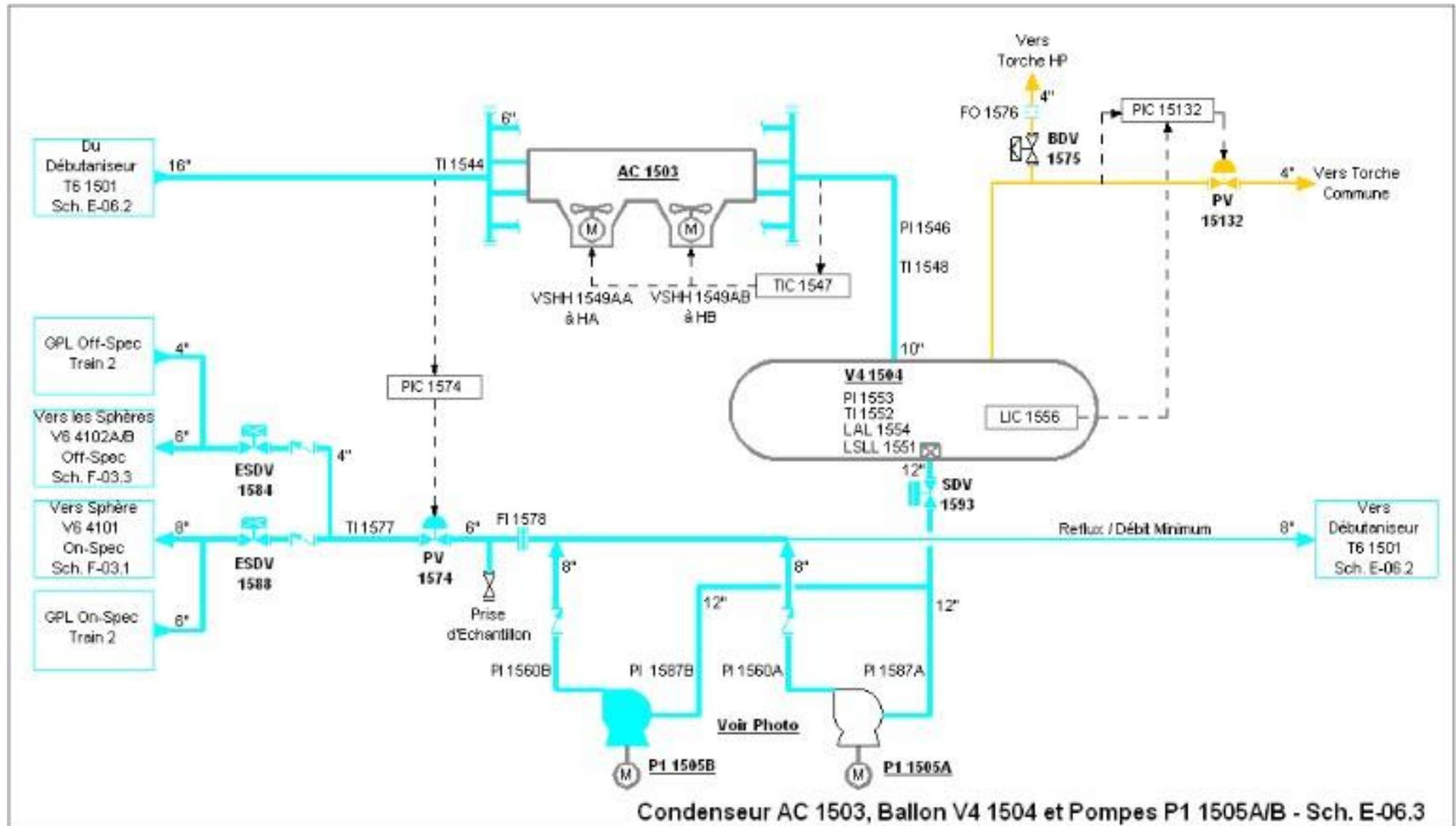


Figure 4.1: Ballon de reflux de GPL V41504.

1.1.2 Décomposition structurelle et fonctionnelle du ballon V4 1504

Afin d'assurer la récupération de GPL en toute sécurité, le ballon de reflux V4 1504 est équipée de plusieurs sous-systèmes. La figure suivante présente l'ensemble du système suivie par la décomposition structurelle.



Figure 4.2: Les sous-systèmes de ballon de reflux de GPL.

1.1.3 Application de la méthode HAZOP sur le ballon de reflux de GPL V41504/2504

- **Etablissement des critères de acceptabilité et de sélection scénario d'accident**

La grille de criticité suivante nous permettra de classer les scénarios à évaluer par rapport aux exigences adoptée par la société concernée.

		Conséquences				probabilité			
						Augmentation de la probabilité			
Gravité		Personnel	Environnement	Public	Bien	P1 Improbable <10 ⁻⁴ Jamais rencontré ou entendu parler mais physiquement possible (ou rarissime)	P2 Peu probable 10 ⁻⁴ -10 ⁻² Déjà(ou pourrait se) rencontré dans une organisation similaire que SH	P3 Probable 10 ⁻² -10 ⁻¹ s'est produit (ou pourrait se produire) au sein de SH pourrait se produire pendant la durée de vie de l'installation	P4 Très probable 1/ans Est produit fréquemment au sein de SH
		Augmentation de la gravité	G1 mineure	Blessures mineures (A.S.A)	Mineur	Pas d'incidence	Pas de dommage pas d'arrêt de production		
G2 sérieux	Blessures significatives (A.A.A)		Pollution interne, maîtrisée	Blessures mineures	Domages mineurs +arrêt bref de la production				
G3 grave	incapacité permanente ou décès		Pollution interne non maîtrisée ou pollution hors limite maîtrisée	Blessures significatives	Domage localisé + arrêts partiel de l'unité				
G4 catastrophique	Plusieurs Décès		Pollution hors limites de longue durée	Décès	Domage important + arrêt total de la production				

Tableau 4.2 : Etude de danger réalisé par DNV sur les Sites STA, HRM, CINA à 2010

Classification de risque	Description
	Acceptable
	ALARP-améliorable
	inacceptable

Tableau 4.3 : Tableau du Niveau de Risque.

• Développement des scénarios d'accidents :

La méthode HAZOP consiste à décomposer notre système en sous-ensembles appelés « nœuds » puis, à l'aide de mots-clés spécifiques et à faire varier les paramètres du système étudié par rapport à ses points de consignes.

Les déviations obtenues sont examinées afin d'en déduire leurs conséquences potentielles pour l'ensemble du système et de déterminer celles conduisant à des risques potentiels.

Dans notre cas, nous avons étudié trois exemples de ces écarts (niveau, pression et température) et nous avons acquis les tableaux suivants:

Site de GTFT (InAmenas)

Nœud: De l'entrée de GPL au ballon de reflux V41504 Jusqu'à la ligne de stockage Paramètre :

Pression de GPL

Mot-clé	Déviation	Causes	Conséquence	Détection	Action prévention	Proposition
Plus	Plus de pression	-Perturbation de PIC1574(PV1574fermé)	-Perturbation procès. (débutaniseur) -GPL vers torche. -Augmentation de niveau de liquide.	-PT15132 -PT1574	-Ouverture de PV par PIC15132. -Ouverture de BDV1575. -Ouverture de la PV1574parPIC.	-Alarme haute pression. -Installation d'un PSHH qui a une action d'ouverture de la BDV1575
		-Présence des légers(C1,C2) -Mal condensation aux aérocondenseursAC1503	-Perturbation procès. (débutaniseur) -GPL vers torche. -Diminution de niveau de liquide dans le ballon. -Augmentation de début de GPL vers stockage.	-PI1553 -PI1587A/B -PAHH1543	-OuverturedePVparPIC15132. -OuverturedeBDV1575.	
		-Déclanchement des pompes de reflux P11505A/B. -ESDV1588Bloquéfermé.	-Perturbation procès. (débutaniseur) -GPL vers torche. -Augmentation de niveau de liquide. -Suppression de la capacité.	-PT15132 -PT1574 -PI1553 -PI 1587A/B -PAHH1543	-Ouverture de PV par PIC15132 -OuverturedeBDV1575 -Permutation des pompes A et B -Envoyer GPL par SDV1584.	

Plus	Plus de pression	-Incendie au voisinage.	-Suppression de la capacité. -Fragilisations des parois. -En dommagement d'équipement. -BLEVE	-PT15132 -PT1574 -PI1553 -PI1587A/B -TT1547 -IR -GDC	-OuverturedeBDV1575 -Réglage de T de GPL auxaérocondenseursAC1503parboucle TIC1547 -Refroidissement par canaux	
Moins	Moins de pression	-PerturbationdePIC1574.	-Vaporisation de GPL -GPL torché. -Perturbation de procès.		-Fermeture dePV1574(manuelle) -Fermeture PV15132	
		-Perturbation PIC15132 ouLIC1556.		-PT 15132 -PT1574	-Fermeture dePV1574 -Fermeture PV15132	-Alarme basse pression
		-BDV1574ouvert.	-Vaporisation de GPL -GPL torché. -Diminution de niveau de GPL dans le ballon. -Perturbation de procès.		-Fermeture deBDV1575.(manuelle)	
		-Fuite de GPL	-Vaporisation de GPL. -Perturbation procès. -Feu -UVCE	-PT 15132 -PT1574 -IR -GDC		

Tableau 4.4: Tableau de la méthode HAZOP de V41504 (pression).

Site de GTFT (InAmenas)

Nœud: De l'entrée de GPL au ballon de reflux V41504 Jusqu'à la ligne de stockage Paramètre :

Niveau de GPL

Mot-clé	Déviaton	Causes	Conséquence	Détection	Action prévention	Proposition
Moins	Moins de Niveau	-Présence des légers	-GPL vers torche. -Perturbation de procès. -Augmentation de débit De reflux. -Cavitation des pompes. -Fuite de GPL. -Incendie ou UVCE.	-LT1556 -LAL1554 -LALL1551 -GDC des pompes	-Arrêt des pompes. -Ouverture de PV15132 (dégager les légers) -Réduction de reflux(FV 1547) -Fermeture SDV1593 -Fermeture PV1574	-Installation d'un détecteur de Gaz au niveau de ballon de reflux. -Installation d'un système de Déluge pour assurer le Refroidissement de ballon en Cas d'un feu au voisinage. -Installation des détecteurs de chaleur(RDH)avec l'action de déclenchement d'un système déluge.
		-Mal condensation -Diminution de production de GPL(cas démarrage)		-Arrêt des pompes. -Démarrage d'aérocondenseurs AC1503. -Ouverture de PV15132 (dégager les légers). -Réduction de reflux(FV 1547). -Fermeture SDV1593. -FermeturePV1574.		

		-Fuite de GPL	-Cavitation des pompes. -Incendie ou UVCE.	-Isolation de la fuite. -Arrêt des pompes. -Fermeture SDV1593. -FermeturePV1574.	
		-Vanne de purge ouverte (erreur opérateur)	-Fuite de GPL. -Incendie UVCE.	-Fermeture de la vanne de purge.	
Moins	Moins de niveau	- Défaillance de LIC2556	-GPL vers torche. -Niveau très bas de GPL dans le ballon -Cavitation des pompes.	-LT1556 -LAL1554 -LALL1551 -GDC des pompes	-Arrêt des pompes. -Fermeture de PV15132(forçage). -Réduction de reflux(FV1547). -Fermeture SDV1593. -FermeturePV1574.
		- PV 2574 ouvert plus que demandé			-Réduction de reflux(FV1547). -Fermeture SDV1593.

Tableau 4.5: Tableau de la méthode HAZOP de V41504 (niveau).

Site de GTFT (InAmenas)

Nœud: De l'entrée de GPL au ballon de reflux V41504 Jusqu'à la ligne de stockage Paramètre:
Température de GPL

Mo t - clé	Déviaton	Causes	Conséquence	Détection	Action prévention	Proposition
Plus	Plus de température	-Mauvaise régulation des aérocondenseurs(TIC Fermé ou déclenchement des aérocondenseurs).	-Perturbation procès. -GPL vers torche. -Augmentation de la pression dans le ballon.	-TT1547	-Démarrage de saérocondenseursAC1503. -Augmentations au débit de reflux. -actionnement de positionneur de TC1503 manuellement -Augmentations au débit de reflux. -Démarrage desaérocondenseursAC1503.	-Installation d'un système de déluge pour assurer le refroidissement de ballon. -Installation d'un TSHH avec l'action de déclenchement d'un système déluge.
		-Mauvaise fonctionnement deTIC1547.		-TI1577		
		-Diminution de débit et pression de reflux.		-TI1552		
		-Feu au voisinage.		-Augmentation de la température et la pression dans le ballon. -Fragilisation des parois.		
Moins	Moins de température	-Mauvaise fonctionnement des aérocondenseurs -Mauvaise régulation TIC1547	-Perturbation des procès(au niveau de débutaniseur) -Sur consommation d'huile	-TIC1547 -TI1577 -TI1552 -TAL	-réglage T par lesaérocondenseursetTIC1547	

Tableau 4.6: Tableau de la méthode HAZOP de V41504 (température).

2. Evaluation du risque lié à la sphère V64101 de stockage de GPL

2.1 Présentation du système étudié

2.1.1 Description de la Sphère V14101

a sphère de stockage du GPL on-spec V6 4101, d'une capacité de 500 m³, a une pression et une température opératoires de 17 barg et 65°C. Le maintien de la pression est assuré par une alimentation en gaz tampon issu du système fuel gas HP et par une évacuation du gaz en excès vers la torche commune. La sphère, isolable à l'entrée et à la sortie par des vannes SDV, dispose d'un système antivortex sur sa sortie de GPL.

Le GPL on-spec est injecté au fond de la sphère afin de maintenir un niveau de liquides dans la ligne d'alimentation et ainsi d'éviter une détente du GPL lors de son entrée dans la sphère. Il est ensuite dirigé vers les pompes Booster P1 4103A/B/C.

Le tableau suivant présente les données techniques du système étudié :

Repère	V64101
Description	Sphère de stockage du GPL on-spec
Type	NA
Fournisseur/Fabricant	CBI
Produit	GPL on-spec
Pression de calcul(barg)	21
Pression de service(barg)	17
Température de calcul(°C)	100
Température de service(°C)	65
Capacité(m ³)	500
Diamètre(m)	9,85
Matériaux	Acier carbone

Tableau 4.7: Données technique de la sphère V6 4101.

La figure suivante présente le P&ID de la sphère V6 4101:

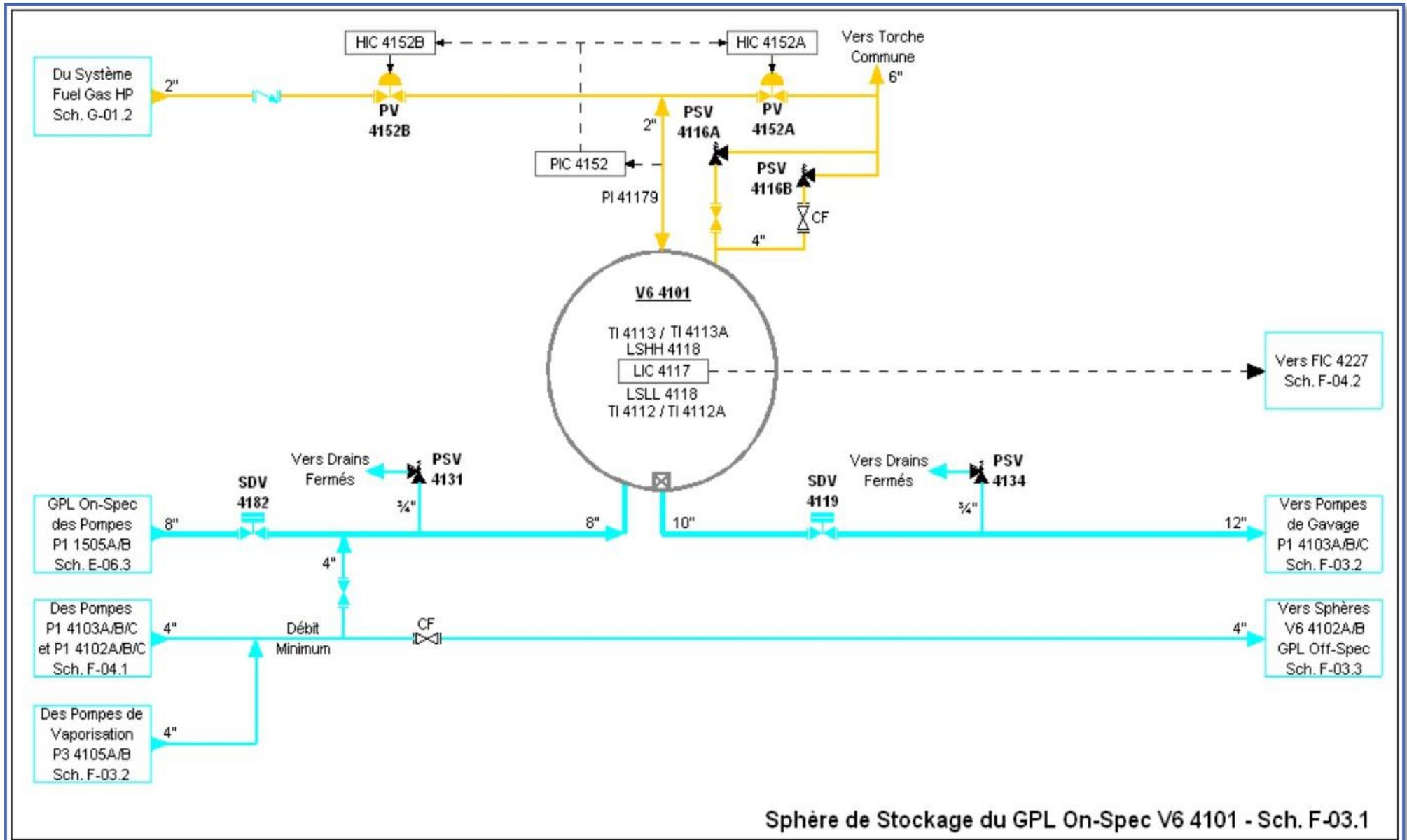


Figure 4.3: Sphère de stockage de GPL V6 4101.

2.1.2 Décomposition structurelle et fonctionnelle de la Sphère V1 4101

Afin d'assurer le stockage et l'expédition de GPL en toute sécurité, la sphère V6 4101 est équipée de plusieurs sous-systèmes. La figure suivante présente l'ensemble du système suivie par la décomposition structurelle.

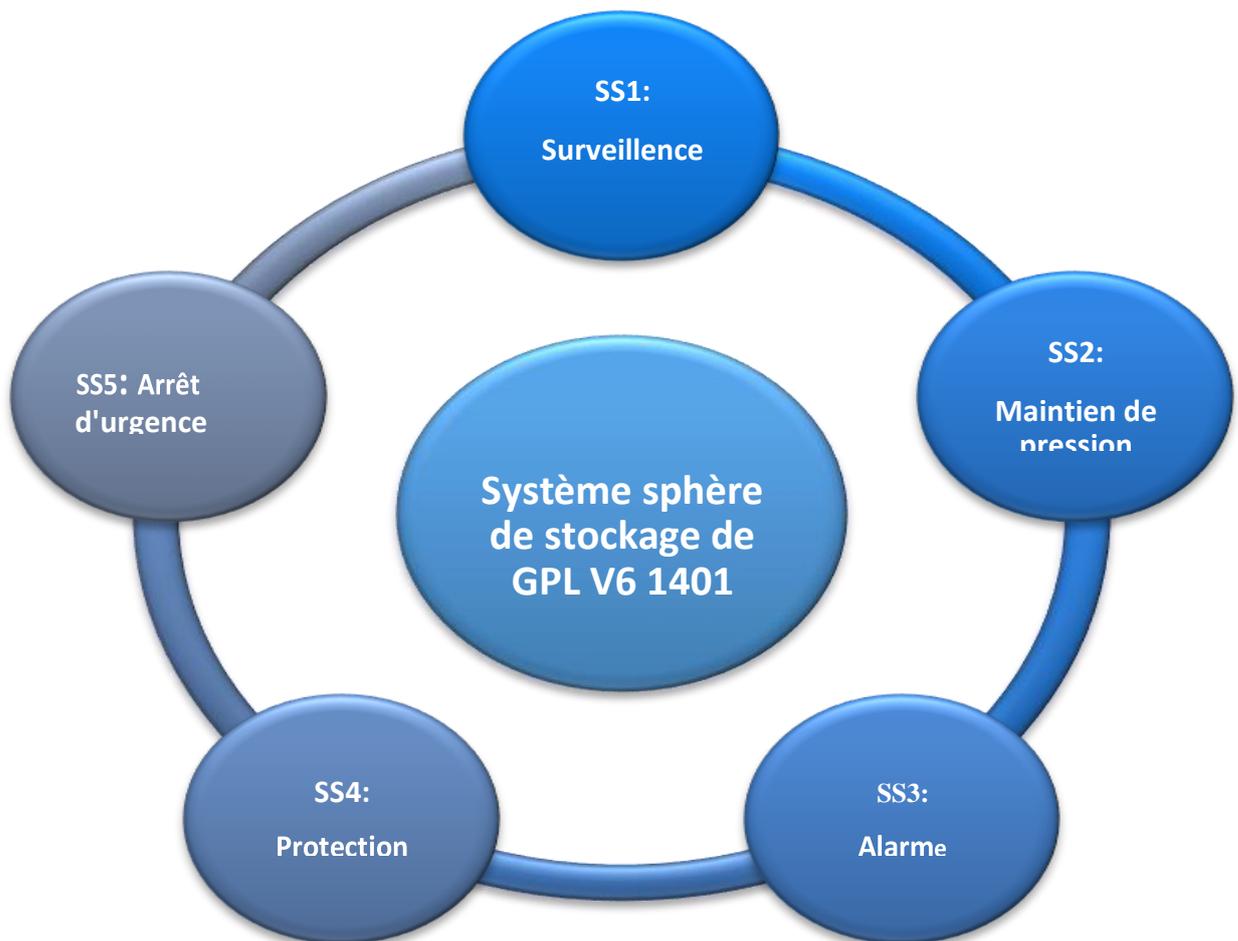


Figure 4.4: Les sous-systèmes de la sphère de stockage de GPL.

2.1.3 Application de la méthode HAZOP sur la sphère de stockage de GPL V6 4101

• Développement des scénarios d'accidents

La méthode HAZOP consiste à décomposer notre système en sous-ensembles appelés « nœuds » puis, à l'aide de mots-clés spécifiques et à faire varier les paramètres du système étudié par rapport à ses points de consignes.

Les déviations obtenues sont examinées afin d'en déduire leurs conséquences potentielles pour l'ensemble du système et de déterminer celles conduisant à des risques potentiels.

Dans notre cas, nous avons étudié trois exemples de ces écarts (niveau, pression et température) et nous avons acquis les tableaux suivants:

Site de GTFT (InAmenas)

Nœud : De l'entrée de GPL au Sphère On-Spec V64101 Jusqu'à la ligne d'expédition

Paramètre: Niveau de GPL

Mot-clé	Déviaton	N°	Cause	Conséquence	Moyennes de détection	Actions préventive	Recommandations
Moins	Moins de niveau	1	- Débit d'expédition > Débit de refoulement	- Diminution de niveau de GPL au 4117.niveaudelasphère. - Cavitation des pompes boosters et - Les pompes d'expédition. - Basse pression dans la sphèreV6 LSHH4118.4101.	- LT -LAL4117. - Opérateur 4117). -	- Diminution de debit d'expédition. - Arrêt des pompes booster P1 4103A/B/Cetlespompesd'expéditio nP14201 A/B/C. - Fermeture de la vanne SDV4119. - Rétablir la situation normale au niveau des trains de production.	/
		2	- Déclanchementdespompe derefuxP1 1505/2505.	- Diminution de niveau de GPL au Niveau de lasphère. - Cavitation des pompes boosters et les pompe d'expédition.			
		3	-Pas de remplissage (une des vannes suivant es fermé pardéfaut:SDV4182 SDV1588/2588P V1574/2574).	- Basse pression dans la sphèreV64101. - Sortie de gaz par les lignes d'expédition. - Fuite de gaz/liquide. - Risque de feu/UVCE.	-LT4117. -LAL4117. - Opérateur (LI4117). -LSHH4118. - Cavitation des pompes boosters et les pompe d'expédition.	- Diminution de debit d'expédition. - Arrêt des pompes booster P1 4103A/B/Cetlespompesd'expéditio nP14201 A/B/C. - Fermeture de la vanne SDV4119.	
		4	-LT4117défaillant.	- Diminution de niveau de GPL au	-Opérateur(LI	-Arrêt des pompes booster P14103	

			(l'expédition sans savoir que le niveau de GPL est trop bas)	Niveau de la sphère. - Cavitation des pompes boosters et les pompe d'expédition. - Basse pression dans la sphere V64101. - Sortie de gaz par les lignes d'expédition.	4117). -LSHH4118. - Cavitation des pompes boosters et les pompe d'expédition.	A/B/Cet les pompes d'expédition P14201A/B/C. - Fermeture de la vanne SDV4119.	
Moins	Moins de niveau	5	-Fuite de GPL.	- Fuite de gaz/liquide. - Risque de feu/UVCE.	-LT4117. -LAL4117. -LSHH4118. - GDC41165A/B/C.	- Arrêt des pompes booster P1 4103A/B/Cet les pompes d'expédition P14201A/B/C. - Fermeture de la vanne SDV4119. - Isolation de la ipossible.	

Tableau 4.8: Tableau de la méthode HAZOP de V64101 (niveau).

Site de GTFT(InAmenas)							
Nœud : De l'entrée de GPL au Sphère On-SpecV64101Jusqu'à la ligne d'expédition							
Paramètre :Pression de GPL							
Mot-clé	Déviaton	N°	Cause	Conséquence	Moyennes de détection	Actions préventive	Recommandations
Plus	Plus de pression	1	-PV4152A Bloqué fermé	- SurpressiondelasphèreV64101. - Augmentation de la temperature dans la sphère. -Augmentation de pression au refoulement des pompes d'expédition P14201A/B/Cce qui cause le déclanchement de ces pompes.	-PT4152. - Opérateur (PI4152, TI4113). -PAH4152.	-PSV4116A/B. - Ouverture de la vane de bypass de PV4152 A ou la vane de bypass de PSV4116 en cas de non fonctionnement dePSV. - Augmentation en débit d'expédition pour diminuer le niveau, donc la pression dans la sphère.	- Installationd'unBDVenpa rallelavecPV4152Aetun PSH au niveau de la sphère qui a l'action suivante: FermeturedeSDV4182eto uverturedeBDV.

Plus	Plus de pression	2	<ul style="list-style-type: none"> -Produit riche en légers (C₁, C₂). 	<ul style="list-style-type: none"> -Surpression de la sphèreV64101. -Augmentation de la temperature dans la sphère. -Augmentation de pression au refoulement des pompe d'expédition P14201A/B/ce qui cause le déclanchement de ces pompes. 	<ul style="list-style-type: none"> -PT4152. - Opérateur (PI4152, TI4113). -PAH4152 	<ul style="list-style-type: none"> -PSV4116A/B. - Ouverture de la vanne de bypass dePSV 4116 en cas de non fonctionnement De PSV. -Renvoi de GPL vers les trains pour un retraitement. 	
		3	<ul style="list-style-type: none"> -Augmentation de niveau de GPL dans la sphèreV64101. 		<ul style="list-style-type: none"> -PT4152. - Opérateur (PI4152, TI4113, LI4117). -PAH4152. -LT4117. 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation en debit d'expédition Pour diminuer le niveau ,donc la pression dans la sphère. - Diminution de la production de GPL aux trains. -Démarrage des pompes de vaporisation P34105A/B. 	
		4	<ul style="list-style-type: none"> -Démarrage des pompes de vaporization de GPLP34105 A/B avec le retour de minimum flow vers la sphere pour une langue durée 		<ul style="list-style-type: none"> -PT4152. - Opérateur (PI4152, TI4113). -PAH4152. 	<ul style="list-style-type: none"> -Arrêt des pompes de vaporisation. -PSV4116A/B. 	
		5	<ul style="list-style-type: none"> - Incendie au voisinage de la sphère V6 4101 (feu de nappe ,feu de torche ...) 	<ul style="list-style-type: none"> -Surpression de la sphèreV64101. -Augmentation de la temperature dans la sphère. -BLEVE. 	<ul style="list-style-type: none"> -PT4152. - Opérateur. -PAH4152. - GDC41165 A/B/C. 	<ul style="list-style-type: none"> - Refroidissement par le déluge11. - Dépressurisation parPSV4116A/B 	<ul style="list-style-type: none"> -Installation d'unTSHH qui a une action de déclanchement de déluge11

Tableau 4.9: Tableau de la méthode HAZOP de V64101 (pression).

Site de GTFT (In Amenas)

Nœud: De l'entrée de GPL au Sphère On-SpecV64101Jusqu'à la ligne d'expédition

Paramètre : Température de GPL

un TAL dans la
sur les côtés gaz et
liquide.

Mot-clé	Déviati on	N°	Caus e	Conséquence	Moyennes dedétection	Actions préventive	Recommandations
Plus	Plus de température	1	- Augmentation de la pression dans la sphère.	- Augmentation de la température et la pression dans la sphère (sur-pressurisation de la sphère)	- TT4112Phaseliquide. - TT4113Phasevapeur.	- Refroidissement par le déluge11. - Dépressurisation parPSV4116A/B.	-Avoir un TAH dans la sphère pour le scôtésgazet liquide. -Installation d'un TSH avec l'action de déclanchement de déluge11.
		2	-Refroidissement insuffisante par les aéros (défautdeprocès).	- Vaporisation de GPL (àpartir de65°C) donc le torchage de GPL.	- Opérateur (TI4112A/4113A). -PT4152. - TT4222A/BetTAH4222 (de la ligne d'expédition).	- Démarrage un nom breplus des aéros ACF1503. - Refroidissement par le déluge11.	
		3	- Démarragedes pompes devaporisation deGPLP3 4105 A/B avec leretourdemimumflow verslasphèrepourunela nguedurée.	- Fragilisation des parois de la sphère.		- Arrêt des pompes de vaporisation. - Refroidissementparledéluge11. - DépressurisationparPSV4116A/B.	
		4	- Incendie au voisinage dela sphère V6 4101 (feu denappe,feudetorche...)	- Augmentation de la température et la pression dans la sphère (sur-pressurisation de la sphère). - Vaporisation de GPL (àpartir de 65°C) dans la sphère. - Fragilisation des parois de la sphère. - Explosion possible(BLEVE).	- TT4112Phaseliquide. - TT4113Phasevapeur. - Opérateur (TI4112A/4113A). -PT4152. -TT4222A/BetTAH4222 (de la ligne d'expédition). -GDC41165A/B/C.	- Refroidissement par le déluge11. - Dépressurisation par PSV4116A/B.	

Tableau 4.10:
Tableau de la

méthode HAZOP de V64101 (température).

3. SIL requis :

Cette partie est consacrée, dans un premier temps, à l'évaluation des SIL requis des différents SIS associés au ballon de GPL V4 1504 et à la sphère de GPL à l'aide de la méthode LOPA. Dans un second temps, la performance réelle des SIS (SIL réel), impliqués dans des scénarios d'accidents dont la fréquence d'occurrence dépasse la valeur tolérable, à l'aide de Ad Donutilisant le module TREE du logiciel GRIF.

La démarche d'évaluation des systèmes instrumentés de sécurité selon la norme CEI 61508

l'évaluation de l'efficacité d'un système instrumenté de sécurité (SIS) se fait par trois étapes qui sont:

a. L'analyse des risques et l'identification des évènements dangereux

Cette étape consiste à l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux (scénarios d'accident), estimer le risque (en termes de gravité et de probabilité) et le comparé avec l'objectif de sécurité (fréquence tolérable). Si cette criticité dépasse la valeur tolérable, il sera nécessaire de mettre en place des barrières de sécurité (SIS).

L'analyse des risques et l'identification des évènements dangereux peuvent être identifiées se nutilisant une des méthodes classiques telles que 'AMDEC et HAZOP.

b. Allocation du niveau d'intégrité de sécurité (SIL requis)

La définition du SIL qui doit être atteint par la fonction de sécurité (SIF) afin de réaliser la réduction nécessaire du risque (SIL requis) et pour cela on utilise par des méthodes particulières le graphe de risque

La figure suivante présente la démarche de la norme CEI61508

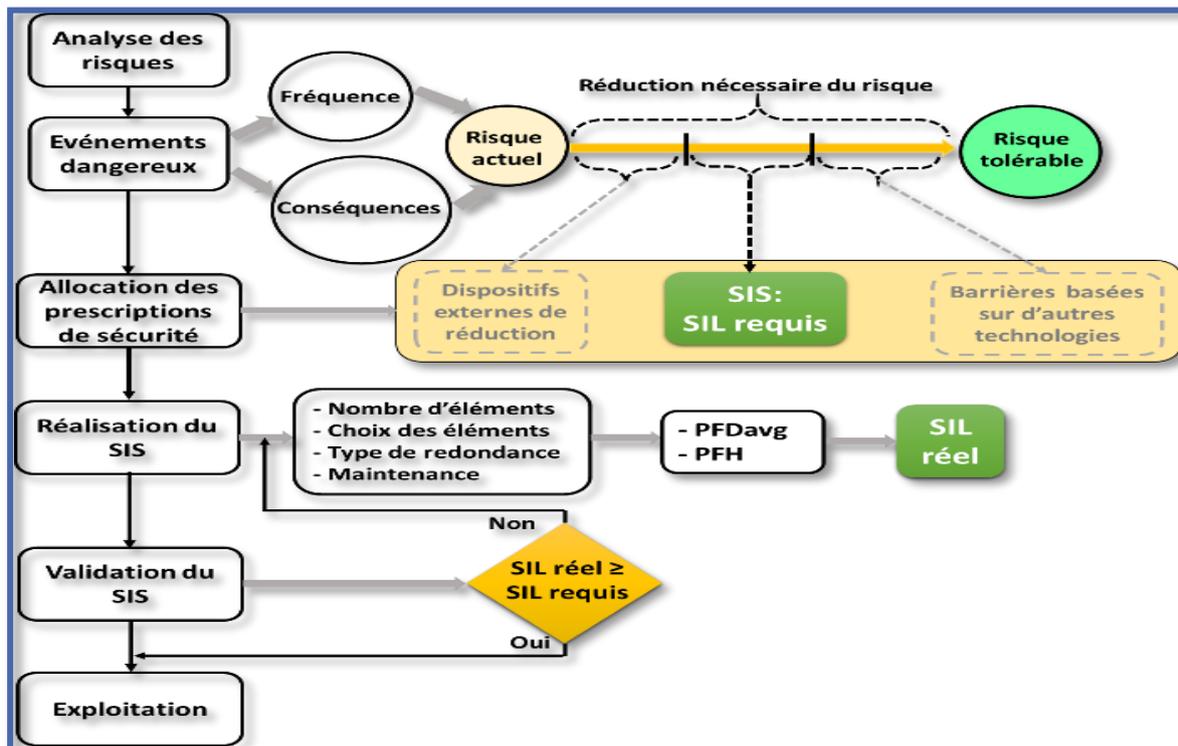


Figure 4.5: Démarche de la CEI61508 (risque et niveau d'intégrité de sécurité).

3.1 Allocation du niveau d'intégrité de sécurité (SIL requis ballon de reflux V41504)

La figure suivante présente les boucles de sécurité étudiée dans cette étape :

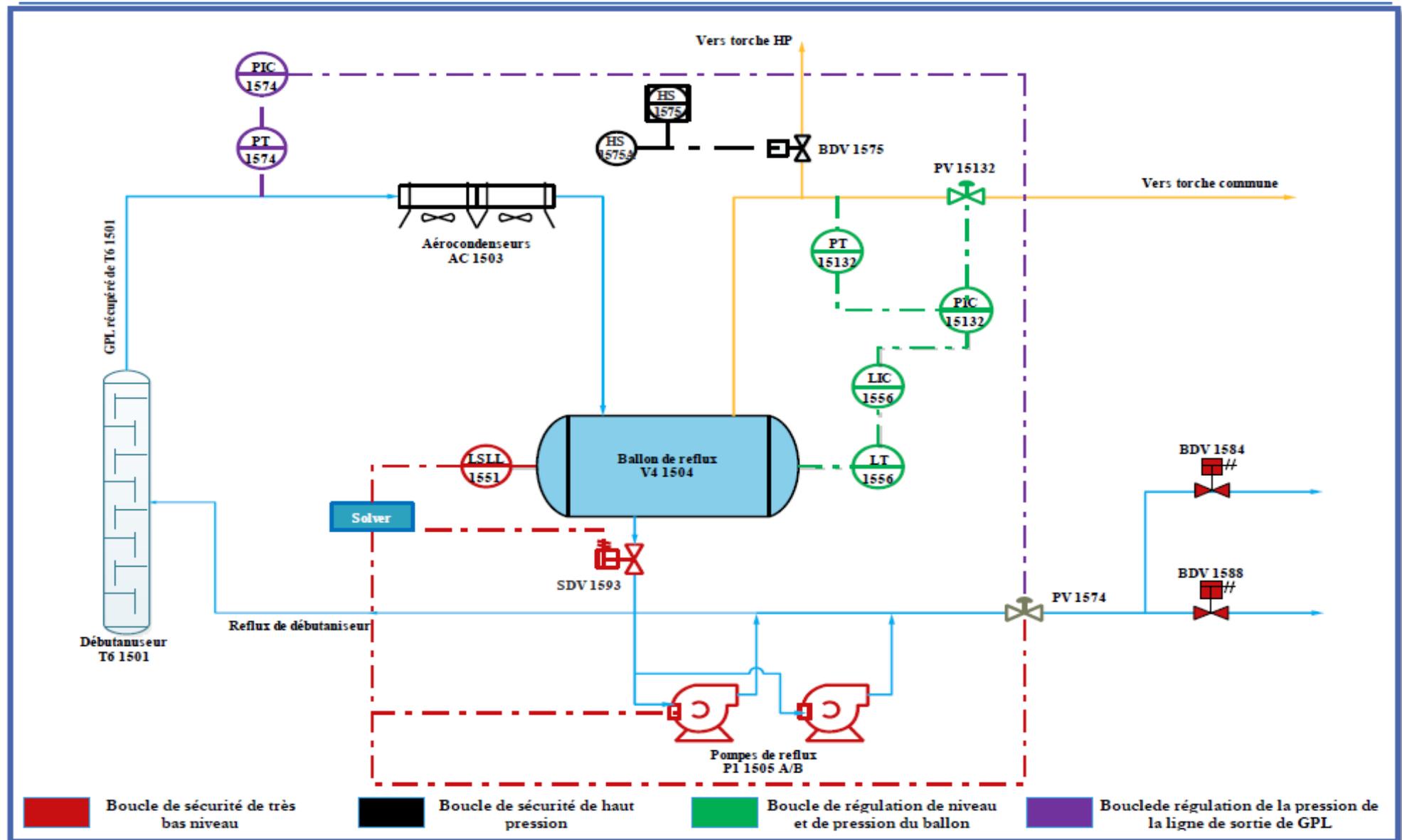


Figure 4.6: Les boucles de sécurité du ballon de GPL V41504.

SIF de très haute pression dans le ballon de reflux V41504

Le tableau présente les fonctions Instrumentées de sécurité de haute pression:

SIFs	Repère	Fonction	Action automatique
Fonction de sécurité de haute pression	HS1575	Action sur la vanneBDV1575 -Ouverture de la vanneBDV1575	.local ou à distancer
	BDV1575	Décompression de la ligne de Gaz en sortie du ballonV4 1504	-Actionnée par opérateur.

. Tableau 4.11 : la fonction de sécurité de haute pression dans le ballon de GPL V41504.

3.1.1 SIF de très bas niveau dans le ballon de reflux V41504

Le tableau présente l'ensemble des fonctions Instrumentées de sécurité de très bas niveau :

SIFs	Repère	Fonction	Action automatique
Boucle de sécurité de très bas niveau	LSSL 1551	Switch de très bas niveau dans le ballon GPL V4 1504	- Alarme LAHH à la salle de contrôle. - Ferme la vanne SDV 1593, sur la sortie de GPL. - Ferme la vanne PV 1574, sur la sortie de GPL - Arrête les pompes de reflux P1 1505 A/B.
	PV 1574	Isolement de la ligne de GPL en sortie du ballon V4 1504	- Fermée sur déclenchement du LSSL 1551.
	SDV 1593	Isolement de la ligne de GPL en sortie du ballon V4 1504	- Fermée sur déclenchement du LSSL 1551.
	P1 1505 A/B	Arrêt de reflux de GPL vers débutaniseur et vers stockage	- Arrêté sur déclenchement du LSSL 1551.
Boucle de régulation de niveau et de pression de ballon V4 1504	LT 1556	Capteur et transmetteur de niveau dans le ballon de reflux	- Transmission du niveau dans le ballon au DCS et LIC 1556.
	LIC 1556	Contrôleur de niveau de GPL dans le ballon.	- Pilote la vanne PV 15132 sur la ligne de gaz en sortie du V4 1504 via le PIC 13132 (régulation en cascade).
	PT 15132	Capteur et transmetteur de niveau dans le ballon de reflux	- Transmission de la pression dans le ballon au DCS et PIC 15132.
	PIC 15132	Contrôleur de la pression du gaz en sortie du ballon.	- Pilote la vanne PV 15132 sur la ligne de gaz en sortie du V4 1504 selon le LIC 1556 (régulation en cascade).
	PV 15132	Vanne régulatrice de la pression dans V4 1504.	- Ouverture selon le signal de PIC 15132.
Boucle de régulation de la pression de la ligne de sortie de GPL	PT 1574	Capteur et transmetteur de niveau dans la ligne d'entrée de AC 1503.	- Transmission de la pression dans la ligne au DCS et PIC 1574.
	PIC 1574	Contrôleur de la pression du liquide en sortie du ballon.	- Pilote la vanne PV 1574 sur la ligne de liquide en refoulement des pompes de reflux.
	PV 1574	Vanne régulatrice de la pression de la ligne de sortie de V4 1504.	- Régulation de la pression de la sortie de GPL

Tableau 4.12: la Fonction de sécurité de très bas niveau au niveau de V41504.

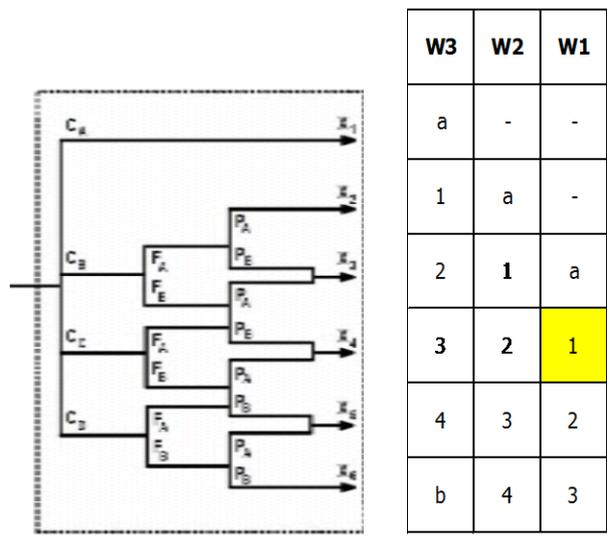
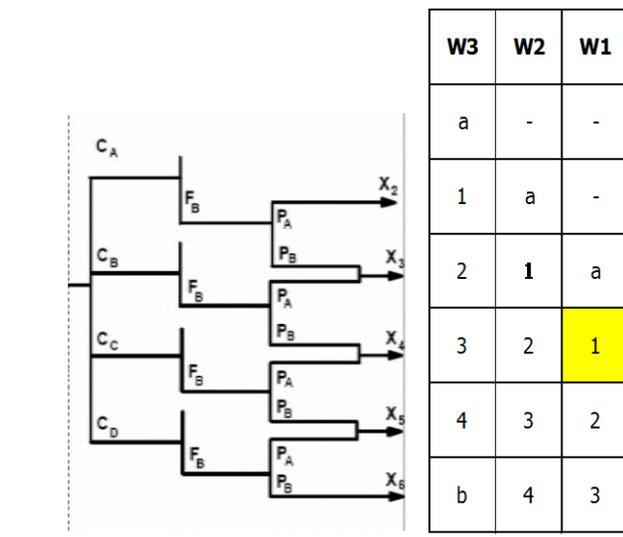
		étude SIL au niveau de ballon de GPL V4 1504								
CLASSIFICATION SIL										
Complexe : GIFT	Equipement : VANNE DE SECURITE	Repère	N° ligne ou équipement							
Zone : Stockage & expedition	P&ID : 082-41-02	LIC_1556	3/4 -BZA-01							
Initiateur	BDV 1575	Élément Final	VANNE BDV 1575							
Caractéristiques techniques										
VANNE DE SECURITE (BDV 1575), montée sur Le ballon de GPL V4 1504										
Classification selon la norme CEI 61508 / CEI 61511										
- Dispositif de d'évitement de dommages matériels		X	- Dispositif de protection (Atténuation de la défaillance)							
- Dispositif de surveillance			- Dispositif de protection (Evitement de l'événement)		X					
Classification - Atteintes aux personnes			Classification pour l'Environnement							
Paramètre de risque		Description		Description						
Conséquence (C)	C _A	Blessures légères aux personnes		Conséquence (C)	C _A	Un dégagement entraînant un dommage mineur qui n'est pas très grave, mais qui est assez important pour être signalé à la direction de l'installation				
	C _B	Blessure permanente grave à une ou plusieurs personnes			C _B	Dégagement dans les limites du site du processus entraînant un dommage significatif				
	C _C	Décès de plusieurs personnes			C _C	Dégagement hors des limites du site du processus entraînant un dommage grave qui peut être évité				
	C _D	Effet catastrophique, beaucoup de gens tués			C _D	Dégagement hors des limites de l'installation de processus, avec un dommage important, qui ne peut pas être évité				
Fréquence de présence dans la zone dangereuse multipliée par Temps d'exposition (F)	F _A	Rares à une exposition plus fréquente dans la zone		Conséquence (C)	Conséquence (C)					
	F _B	Fréquent à une exposition permanente dans la zone								
Possibilité d'éviter Les conséquences des conditions L'événement dangereux (P)	P _A	Possible sous certaines conditions								
	P _B	Presque impossible								
Probabilité de l'occurrence indésirable (W)	W1	Une très faible probabilité que les conséquences se produisent								
	W2	Une légère probabilité que les occurrences se produisent								
	W3	Une probabilité relativement élevée que les conséquences se produisent								
Graphes de risque - Atteintes aux personnes			Graphes de risque - Atteinte à l'environnement							
										
Risque à couvrir (Fonctions)				Paramètres de graph de risque			SIL Requis			
				C	F	P		W1	W2	W3
pression très bas au niveau de pompe P1-4103C , risque de cavitation du pompe booster				C _C	F _A	P _B		W1	SIL 1	
								Paramètres de graph de risque		
				C _A	-	P _B		W2		

Tableau 4.13 : étude SIL au niveau de ballon de GPL V41504 (1)

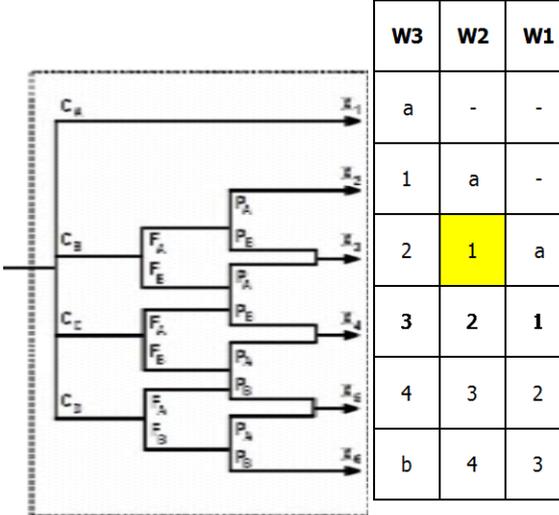
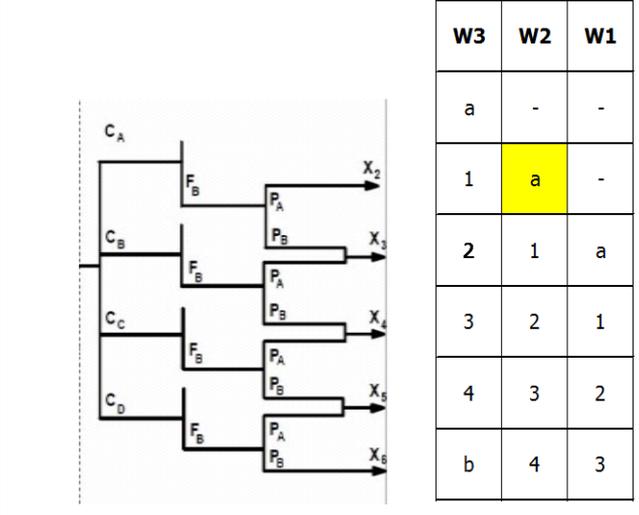
		étude SIL au niveau de ballon de GPL V4 1504										
CLASSIFICATION SIL												
Complexe : GIFT	Equipement : transmetteur de niveau (LT)	Repère	N° ligne ou équipement									
Zone : Stockage & expedition	P&ID : 082-25-03	LT_1551	3/4 -BZA-01									
Initiateur	LSLL 1551	Elément Final	SDV 1593									
Caractéristiques techniques												
switch de niveau tres bas (LSLL 1551), montée sur Le ballon de GPL V4 1504												
Classification selon la norme CEI 61508 / CEI 61511												
- Dispositif de d'évitement de dommages matériels		x	- Dispositif de protection (Atténuation de la défaillance)									
- Dispositif de surveillance			- Dispositif de protection (Evitement de l'événement)		x							
Classification - Atteintes aux personnes			Classification pour l'Environnement									
Paramètre de risque		Description		Description								
Conséquence (C)	C _A	Blessures légères aux personnes		Conséquence (C)	C _A	Un dégagement entraînant un dommage mineur qui n'est pas très grave, mais qui est assez important pour être signalé à la direction de l'installation	X					
	C _B	Blessure permanente grave à une ou plusieurs	X		C _B	Dégagement dans les limites du site du processus entraînant un dommage significatif						
	C _C	Décès de plusieurs personnes			C _C	Dégagement hors des limites du site du processus entraînant un dommage grave qui peut être						
	C _D	Effet catastrophique, beaucoup de gens tués			C _D	Dégagement hors des limites de l'installation de processus, avec un dommage important, qui ne peut pas être						
Fréquence de présence dans la zone dangereuse multipliée par Temps d'exposition (F)	F _A	Rares à une exposition plus fréquente dans la	X									
	F _B	Fréquent à une exposition permanente dans la										
Possibilité d'éviter Les conséquences des conditions L'événement dangereux (P)	P _A	Possible sous certaines conditions										
	P _B	Presque impossible	X									
Probabilité de l'occurrence indésirable (W)	W1	Une très faible probabilité que les										
	W2	Une légère probabilité que les occurrences	X									
	W3	Une probabilité relativement élevée que les										
Graphe de risque - Atteintes aux personnes				Graphe de risque - Atteinte à l'environnement								
												
Risque à couvrir (Fonctions)						Paramètres de graph de risque			SIL Requis			
niveau très bas au niveau de ballon de GPL V4 1504 , risque bleve au ballon de reflux						C	F	P	W1	W2	W3	SIL 1
						C _B	F _A	P _B		W2		
						Paramètres de graph de risque						
						C _A	-	P _B		W2		

Tableau 4.14 : étude SIL au niveau de ballon GPL V41504

3.2 Allocation du niveau d'intégrité de sécurité (SIL requis la sphère de stockage V6 4101)

La figure suivante présente les boucles de sécurité étudiée dans cette étape:

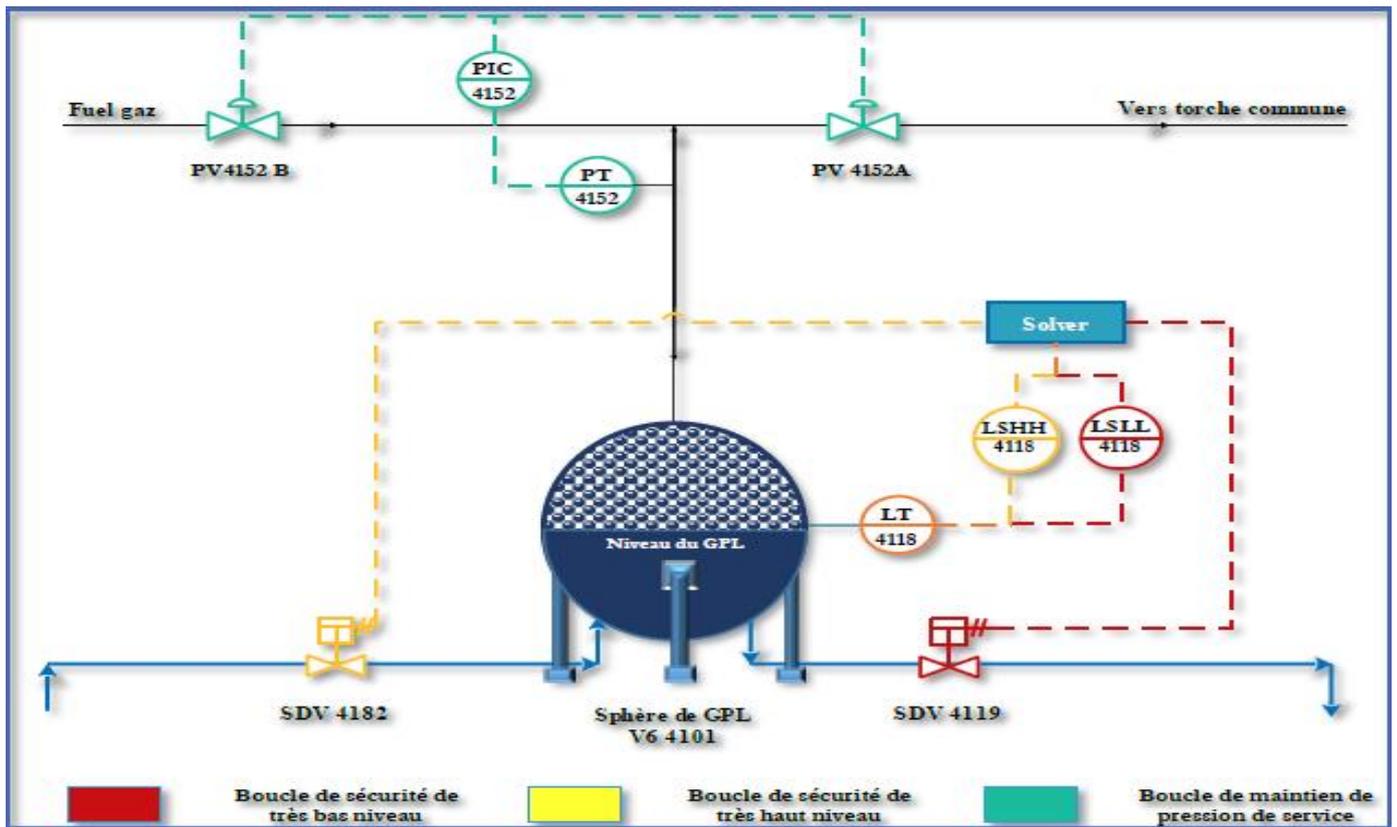


Figure: 4.7 Les boucles de sécurité de la sphère V6 4101.

3.2.1 SIF de haute pression dans la sphère de stockage V6 4101

La sécurité de la sphère contre la surpression est assurée en premier par la SIF de régulation et maintien de pression de service (17barg) puis par la soupape de sécurité (PSV4116_A/B).

Le tableau présente les fonctions instrumentées de sécurité de haute pression (la fonction de maintien de la pression de service) :

Repère	Fonction	Action
PT4152	Capteur et transmetteur de pression dans la sphère on-spec V64101	-transmission de la pression dans la sphère au DCS SetPIC4152
PIC4152	Pression du gaz de maintien de la pression dans la sphère on-spec V64101 (17 barg)	Pilote les vannes: - PV 4152A sur la ligne de gaz en surplus via le HIC4152A, - PV4152B sur la ligne de fuel gas HP via le HIC4152B
PV4152A	Vanne de régulation	Régulation de pression du gaz en surplus dans la sphère on-spec V64101 vers la torche commune (maintien de la pression)
PV4152B	Vanne de régulation	Régulation de pression du gaz tampon injecté dans la sphère on-spec V6 4101 (maintien de la pression)

Tableau 4.15: SIF de régulation de pression dans la sphère.

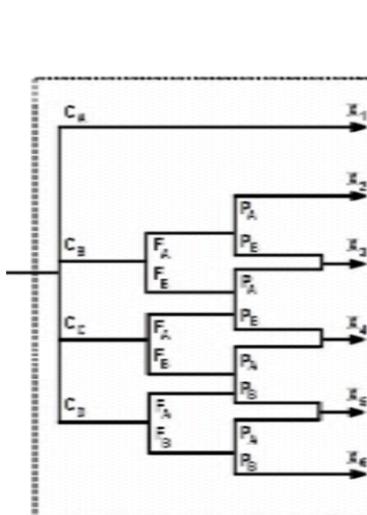
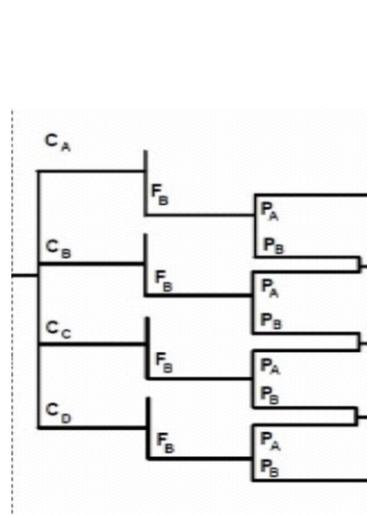
3.2.2 SIF de très bas niveau dans la sphère V64101

Le tableau présente les fonctions Instrumentées de sécurité de très bas niveau :

Repère	Fonction	Seuil de sécurité	Action automatique
LT4118	Capteur et transmetteur De niveau	860mm	Transmission des valeurs de Niveau à LSLL
LSLL4118	Très bas niveau dans la sphère on-spec V64101	860mm	- Alarme LAHH à la salle de contrôle. - Ferme la vanne SDV 4119, sur la sortie de GPL - Arrête les pompes Booster P14103A/B/C
SDV4119	Isolement de la ligne de sortie de GPL on-spec De la sphère V6 4101	/	Ferme sur déclenchement du LSLL4118
PSLL41176 /41177/41178	Très basse pression à l'aspiration des pompes boosters	15 barg	Arrêt des pompes boosters
Pompes booster 4103A/B/C	Assurent le débit minimum des pompes d'expéditions	/	Arrêt sur déclenchement de PSLL41176/41177/41178

Tableau 4.16 : Fonction de sécurité de très bas niveau dans la sphère de GPL.

		étude SIL au niveau de la sphère de stockage V6 4101				
CLASSIFICATION SIL						
Complexe : GFTT	Equipement : VANNE DE SECURITE	Repère	N° ligne ou équipement			
Zone : Stockage & expedition	P&ID : 082-41-02	LT 4118	3/4 -BZA-01			
Initiateur	LSHH 4118	Elément Final	SDV 4182			
Caractéristiques techniques						
switch niveau tres haut (LSHH), montée sur la sphère de stockage V6 4101						
Classification selon la norme CEI 61508 / CEI 61511						
- Dispositif de d'évitement de dommages matériels		X	- Dispositif de protection (Atténuation de la défaillance)			
- Dispositif de surveillance			- Dispositif de protection (Evitement de l'événement)		X	
Classification - Atteintes aux personnes			Classification pour l'Environnement			
Paramètre de risque	Description		Paramètre de	Description		
Conséquence (C)	C _A	Blessures légères aux personnes	Conséquence (C)	C _A	Un dégagement entrainant un dommage mineur qui n'est pas très grave, mais qui est assez important pour être signalé à la direction de l'installation	
	C _B	Blessure permanente grave à une ou plusieurs		C _B	Dégagement dans les limites du site du processus entrainant un dommage significatif	
	C _C	Décès de plusieurs personnes		C _C	Dégagement hors des limites du site du processus entrainant un dommage grave qui peut être	
	C _D	Effet catastrophique, beaucoup de gens tués		C _D	Dégagement hors des limites de l'installation de processus, avec un dommage important, qui ne peut pas être	
Fréquence de présence dans la zone dangereuse multipliée par Temps d'exposition (F)	F _A	Rares à une exposition plus fréquente dans la				
	F _B	Fréquent à une exposition permanente dans la				
Possibilité d'éviter Les conséquences des conditions L'événement dangereux (P)	P _A	Possible sous certaines conditions				
	P _B	Presque impossible				
Probabilité de l'occurrence indésirable (W)	W1	Une très faible probabilité que les				
	W2	Une légère probabilité que les occurrences	X			
	W3	Une probabilité relativement élevée que les				

Graphe de risque - Atteintes aux personnes				Graphe de risque - Atteinte à l'environnement			
							
	W3	W2	W1		W3	W2	W1
	a	-	-		a	-	-
	1	a	-		1	a	-
	2	1	a		2	1	a
	3	2	1		3	2	1
	4	3	2		4	3	2
	b	4	3		b	4	3

Risque à couvrir (Fonctions)	Paramètres de graph de risque					SIL Requis
	C	F	P	W1	W2	
Niveau très élevée de GPL Au niveau de la sphère V6-4101, Risque d'augmentation de pression .	C _D	F _A	P _A		W2	SIL 2
	Paramètres de graph de risque					
	C _B	-	P _A		W2	

Tableau 4.17 : étude SIL au niveau de la sphère de stockage V64101 (1)

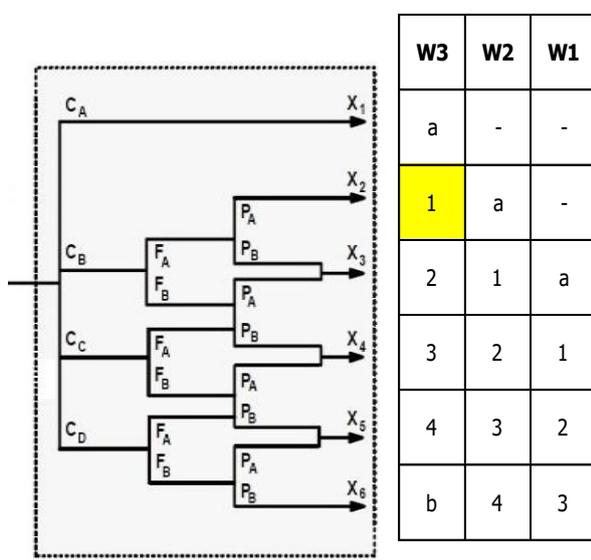
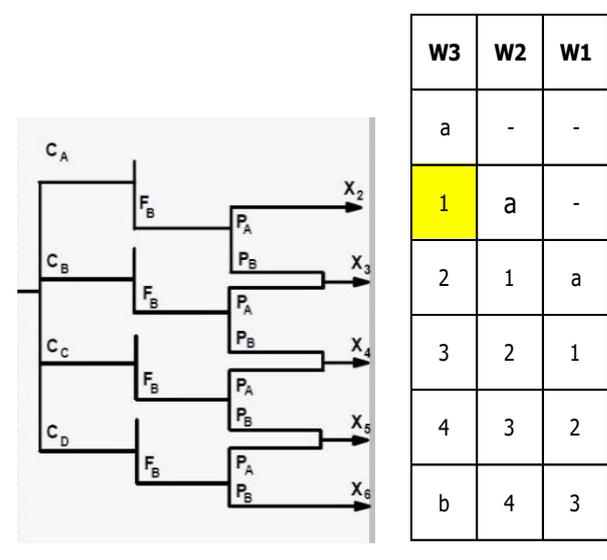
		étude SIL au niveau de la sphère de stockage V6 4101							
CLASSIFICATION SIL									
Complexe : GFTT	Equipement : Transmetteur de niveau (LT)	Repère	N° ligne ou équipement						
Zone : Stockage & expedition	P&ID : 082-41-01	LT-4118	3-GBA-01						
Initiateur	LSLL 4118	Elément Final	SDV 4119						
Caractéristiques techniques									
Switch de Niveau très bas (LSLL-4118), montée sur la sphère de stockage GPL V6 4101									
Classification selon la norme CEI 61508 / CEI 61511									
- Dispositif de d'évitement de dommages matériels		x	- Dispositif de protection (Atténuation de la défaillance)						
- Dispositif de surveillance			- Dispositif de protection (Evitement de l'événement)		x				
Classification - Atteintes aux personnes			Classification pour l'Environnement						
Paramètre de risque		Description		Description					
Conséquence (C)	C _A	Blessures légères aux personnes		Conséquence (C)	C _A	Un dégagement entraînant un dommage mineur qui n'est pas très grave, mais qui est assez important pour être signalé à la direction de l'installation	x		
	C _B	Blessure permanente grave à une ou plusieurs personnes, décès d'une personne	x						
	C _C	Décès de plusieurs personnes							
	C _D	Effet catastrophique, beaucoup de gens tués							
Fréquence de présence dans la zone dangereuse multipliée par Temps d'exposition (F)	F _A	Rares à une exposition plus fréquente dans la zone dangereuse	x	C _B		Dégagement dans les limites du site du processus entraînant un dommage significatif			
	F _B	Frequent à une exposition permanente dans la zone dangereuse							
Possibilité d'éviter Les conséquences des conditions L'événement dangereux (P)	P _A	Possible sous certaines conditions	x	C _C		Dégagement hors des limites du site du processus entraînant un dommage grave qui peut être			
	P _B	Presque impossible							
Probabilité de l'occurrence indésirable (W)	W1	Une tres faible probabilité que les indésirables se soient au quelques		C _D		Dégagement hors des limites de l'installation de processus, avec un dommage important, qui ne peut pas être			
	W2	Une légère probabilité que les occurrences indésirables se produisent et ne							
	W3	Une probabilité relativement élevée que les occurrences indésirables se produisent et	x						
Graphe de risque - Atteintes aux personnes				Graphe de risque - Atteinte à l'environnement					
									
Risque à couvrir (Fonctions)				Paramètres de graph de risque (atteintes aux personnes)			SIL Requis		
Niveau très élevée de GPL Au niveau de la sphère V6-4101, Risque d'augmentation de pression .				C	F	P		W1	W2
				C _B	F _a	P _a			W3
				Paramètres de graph de risque (atteintes à l'environnement)					
				C _a	-	P _B			W3

Tableau 4.18 : étude SIL au niveau de la sphère de stockage V64101

	étude SIL au niveau des pompes booster A/B/C	
--	---	--

CLASSIFICATION SIL

Complexe : GTFT	Equipement : transmetteur de niveau	Repère	N° ligne ou équipement
Zone : Stockage & expedition	P&ID : 082-41-02	LT 4117	3/4 -BZA-01
Initiateur	PSLL 41176	Elément Final	Pompe A/B/C

Caractéristiques techniques

Switch de pression très bas (PSLL-41176), montée sur les pompes booster

Classification selon la norme CEI 61508 / CEI 61511

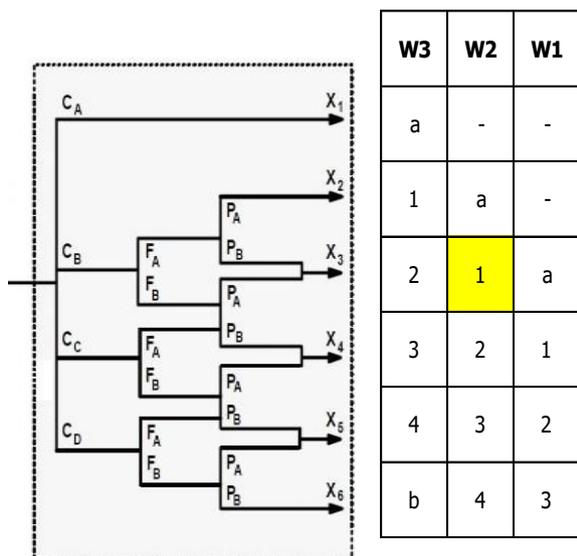
- Dispositif de d'évitement de dommages matériels	x	- Dispositif de protection (Atténuation de la défaillance)	
- Dispositif de surveillance		- Dispositif de protection (Evitement de l'événement)	x

Classification - Atteintes aux personnes

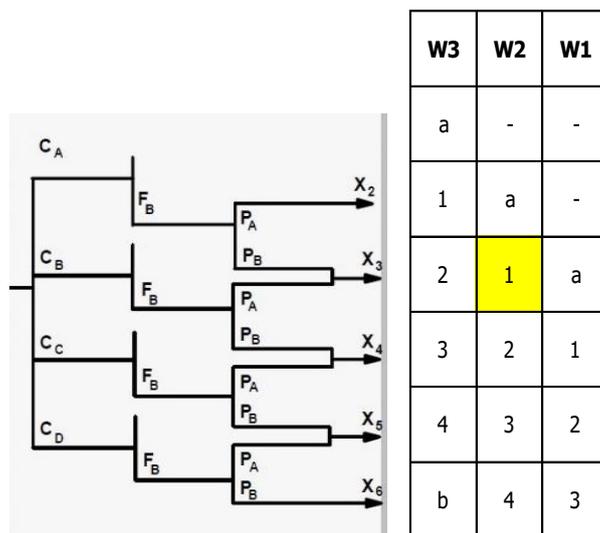
Classification pour l'Environnement

Paramètre de risque	Description	Paramètre de risque	Description	
Conséquence (C)	C _A Blessures légères aux personnes	Conséquence (C)	C _A Un dégagement entraînant un dommage mineur qui n'est pas très grave, mais qui est assez important pour être signalé à la direction de l'installation	
	C _B Blessure permanente grave a une ou plusieurs personnes décès d'une personne		X	
	C _C Décès de plusieurs personnes			
	C _D Effet catastrophique, beaucoup de gens tués			
Fréquence de présence dans la zone dangereuse multipliée par Temps d'exposition (F)	F _A Rares a une exposition plus fréquente dans la zone dangereuse	Conséquence (C)	C _B Dégagement dans les limites du site du processus entraînant un dommage significatif	
	F _B Fréquent a une exposition permanente dans la zone dangereuse			
Possibilité d'éviter Les conséquences des conditions L'événement dangereux (P)	P _A Possible sous certaines conditions		C _C Dégagement hors des limites du site du processus entraînant un dommage grave qui peut être	
	P _B Presque impossible		X	
Probabilité de l'occurrence indésirable (W)	W1 Une tres faible probabilité que les indésirables se soient aux quelques	Conséquence (C)	C _D Dégagement hors des limites de l'installation de processus, avec un dommage important, qui ne peut pas être	
	W2 Une légère probabilité que les occurrences indésirables se produisent et ne		X	
	W3 Une probabilité relativement élevée que les occurrences indésirables se produisent et			

Graphes de risque - Atteintes aux personnes



Graphes de risque - Atteinte à l'environnement



Risque à couvrir (Fonctions)

pression très bas au niveau des pompes P1-4103A/B/C , risque de cavitation du pompes booster

Paramètres de graph de risque
(atteintes aux personnes)

C F P W1 W2 W3

C_a F_A P_B W2

Paramètres de graph de risque
(atteintes à l'environnement)

C_A - P_B W2

SIL Requis

SIL 1

Tableau 4.19: étude SIL au niveau des pompes booster A/B/C

3.3 Mise en œuvre de la méthode des graphes des risques(SIL) :

Dans le tableau suivant on peut voir les niveaux SIL retenus pour chaque fonction de sécurité instrumentée, avec le résumé des données utilisées pour l'évaluation du risque

Niveaux SIL retenus pour chaque fonction de sécurité instrumentée.											
SIF N°	Équipement	TagSIF	Initiateur	Actionneur	Action associée	But fonction	C	F	P	W	SIL
1	Ballon de reflux V4 1504	BDV 1575	HS 1575	SDV 1593	Fermeture de la vanne SDV 1593	Eviter l'explosion du ballon de reflux	C3	F1	P2	W1	SIL1
2	Ballon de reflux V4 1504	LSLL 1551	LT 1551	SDV 1593	Fermeture de la vanne SDV 1593	Eviter l'explosion du ballon de reflux	C2	F1	P1	W2	SIL1
3	Sphere V6 4101	LSHH 4118	LT 4118	SDV 4182	Fermeture de la vanne d'alimentation	Pour éviter la sur pression de la sphère + BLEVE	C4	F1	P1	W2	SIL2
4	Sphere V6 4101	LSLL 4118	LT 4118	SDV 4119	Fermeture de la vanne de sortie + arrêt pompes	Pour éviter l'endommagement des pompes + implosion au sphère	C2	F1	P1	W3	SIL1
5	P1 4103 A	PSLL 41176		P1 4103 A	Arrêt pompe A	Eviter la cavitation du pompe A	C1	-	-	W3	SILa
6	P1 4103 B	PSLL 41177		P1 4103 B	Arrêt pompe B	Eviter la cavitation du pompe B	C1	-	-	W3	SILa
7	P1 4103 C	PSLL 41178		P1 4103 C	Arrêt pompe C	Eviter la cavitation du pompe C	C1	-	-	W3	SILa
8	P1 4103 A/B/C	RDH 41216	T flux thermique	-XS 7089 -RVDY 41215	Declanchement delugue + arrêt pompe	Protection des pompes	C3	F1	P1	W2	SIL1
9	Delegue 14	PSH 41217	Poignee local	-XS 7084 -RVDY 41215	Declanchement delugue	Extraction feu	C3	F1	P1	W2	SIL1

Tableau 4.20: Niveaux SIL retenus pour chaque fonction de sécurité instrumentée.

Conclusion générale :

L'industrie pétrolière représente une importance particulière pour l'économie mondiale et plus particulièrement pour l'économie Algérienne, néanmoins cette activité présente des risques très importants qui peuvent porter gravement atteinte aux personnes, aux installations et à l'environnement.

Afin de répondre aux risques liés à l'industrie pétrolière, la mise en place d'un système de gestion des risques « qui est souvent définie comme étant un système itératif » est nécessaire et indispensable, ce système nous aidera à la mise en place d'un certain nombre de barrière de sécurité, qui nous permettrons de maîtriser les risques identifiés en réduisant leur niveau de Probabilité et/ou le niveau de gravité

L'objet premier de notre travail était l'évaluation des risques liés à un ballon de reflux de GPL et une sphère de stockage de GPL en utilisant différentes techniques. Cinq scénarios ont été jugés inacceptables suite à une cotation à l'aide de la matrice des risques. Cette étape a montré la présence d'un risque résiduel, dont son maîtrise nécessite des résultats plus pointus et plus détaillés, ce qui n'est pas le cas pour la HAZOP car ne traite pas tous les scénarios à cause de leurs complexités. On a essayé de formuler des recommandations permettre de garantir un niveau de risque acceptable.

De ce fait, on a utilisé la méthode des graphes des risques qui nous a permet de déterminer le niveau d'intégrité de sécurité requis (SIL requis) au niveau de tous les instruments de l'unité, on a étudié un total de 9 fonctions de sécurité instrumentées.

Références bibliographique

Références bibliographiques

1- Ouvrages

[1] Documents de département hygiène, sécurité et environnement (HSE) et département Exploitation (XP) de l'entreprise GTFT.

[2] BUREAU VERITAS - Service Risques Industriels, Etudes de danger des unités industrielles de centre de Production du groupement TFT (EDD), 2016.

[3] Rudall Blanchard Associates Ltd, Etude d'impact environnemental _Groupement TFT, 2007, 380 pages.

[4] Impact Conseil, Manuelle opératoire d'exploitation Groupement TFT, 2010.

2- Thèses et Mémoires

[5] Badis GUEHAM, Analyse des risques liés au stockage de GPL par la méthode HAZOP avec modélisation des résultats par le logiciel PHAST Cas de l'usine de traitement de gaz du GTFT, Mémoire de fin de formation MSP IAP 2017

[6] BENIKHLEF Hadjer, Gestion des risques par l'application de la méthode HAZOP/SIL aux processus de production d'acide nitrique. Site FERTIAL /Arzew , Mémoire de master académique en sécurité industrielle et environnement , soutenu à IMSI université d'Oran 2

3- Rapports et articles scientifiques et/ou techniques

[7] INERIS, Outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle, Oméga 7, 2003, 99 pages.

[8] INERIS, Evaluation des performances des Barrières Techniques de Sécurité, Oméga 10, 2008, 87 pages.

[9] INERIS, Evaluation Démarche d'évaluation des Barrières Humaines, Oméga 20, 2009, 66 pages.

[10] evaluation-du-niveau-de-sil-des-fonctions-instrumentees-de-securite-sif-notions-essentielles-0540_0540

4- Normes et article réglementaire

Références bibliographique

[11] CEI 61508, sécurité fonctionnelle des systèmes E/ E/ EP relatifs à la sécurité, 2009.

[12] CEI 61511-3, Sécurité fonctionnelle–SIS pour le secteur des industries de transformation – Partie 3 : Conseils pour la détermination des niveaux exigés d'intégrité de sécurité, 2003.

[13] ICSI, Fréquence des événements initiateurs d'accidents et disponibilité des barrières de protection et de prévention, Résumé des travaux, 2006, 18 pages.

[14] www.aria.developpement-durable.gouv.fr.

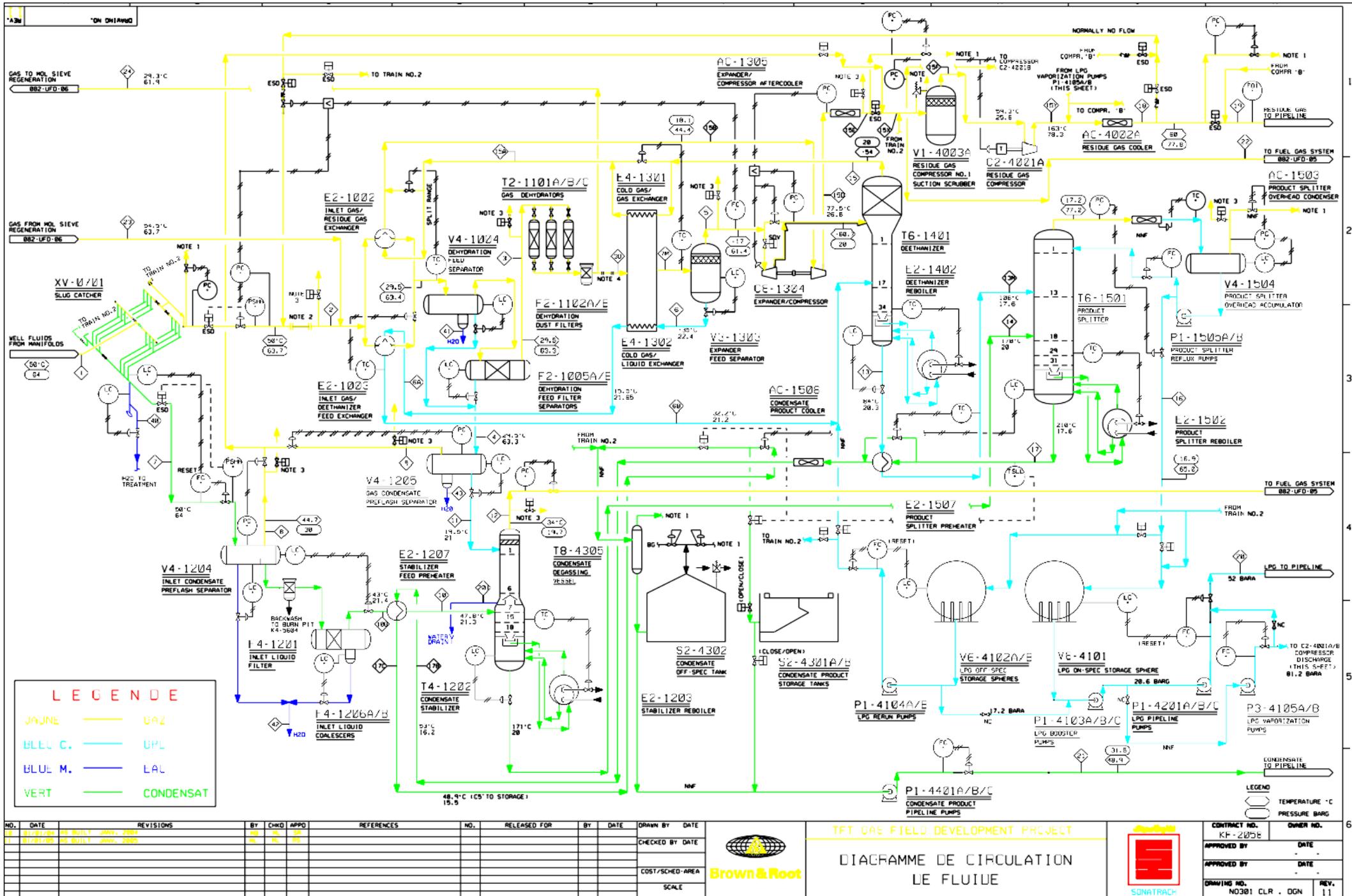
[15] www.inrs.fr.

[16] www.ineris.fr.

Références bibliographique

Annexe A : Diagramme de circulation de fluide (PFD)

annexes

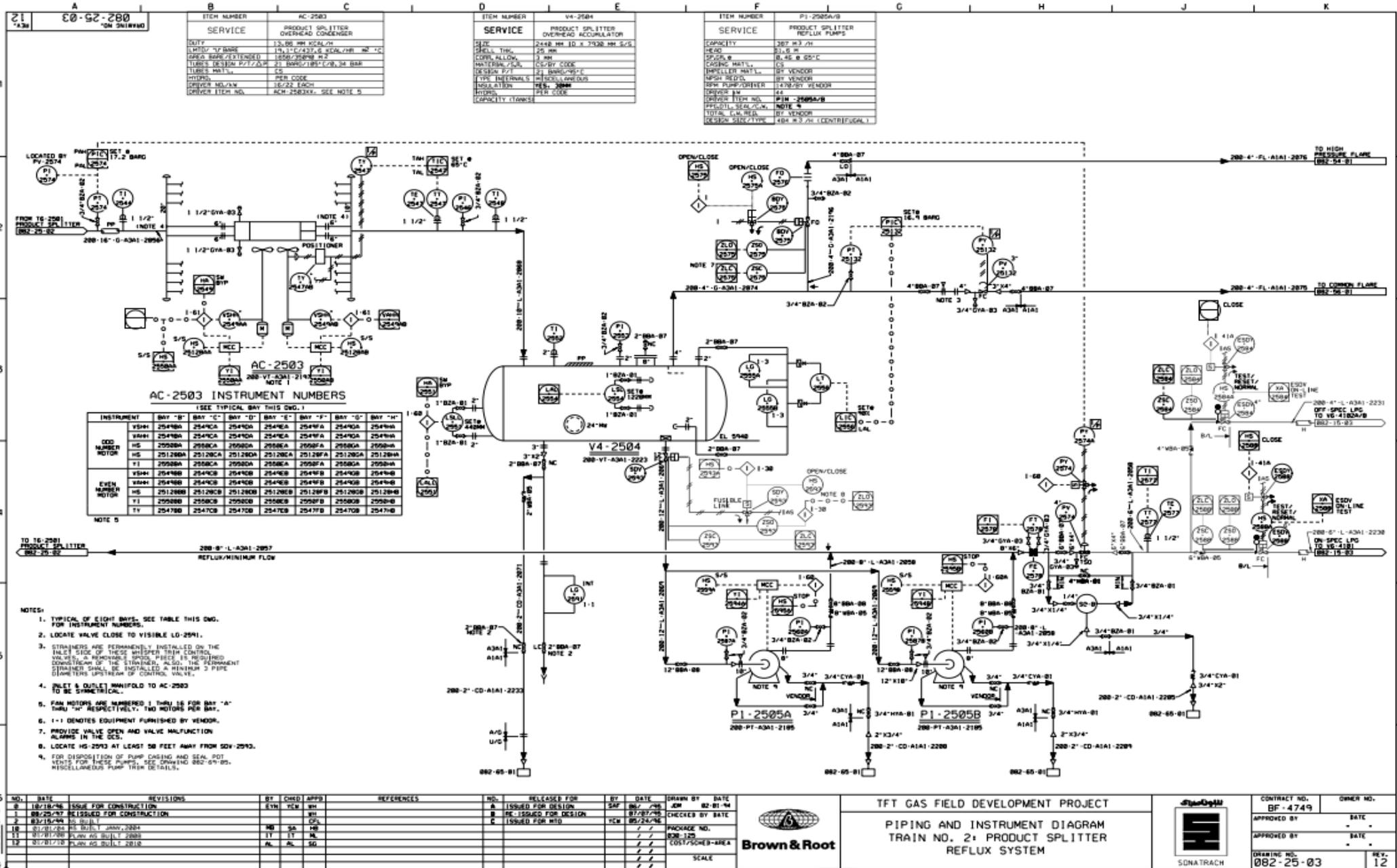


annexes

ANNEXE B : P&ID des systèmes étudiés

annexes

annexes



annexes

