

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université du 20 Août 1955 SKIKDA



Institut des sciences et techniques Appliquées (ISTA)

Département : Hygiène, Sécurité et Environnement

Mémoire

En vue de l'obtention de diplôme du Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité des Procédés Pétroliers et Gaziers

Thème :

**Etude SIL d'une installation industrielle
CAS : Ballon de reflux GPL 10-V-8 au niveau
de la Raffinerie de Skikda**

Présenté et soutenu publiquement le : 30/06/2025

Par :

- ABDENNEBI Assila
- BENHABROU Douha

Devant le jury :

| | | | |
|-----------------------|-----|---------------------|-------------------------|
| Encadreur : | Dr. | Innal fares | U- 20 Août 1955. Skikda |
| Président de jury : | Dr. | Zennir youcef | U- 20 Août 1955. Skikda |
| Examineur : | Dr. | Hamaidia mohyiddine | U- 20 Août 1955. Skikda |
| Rapporteur de stage : | Ing | Dib khawla | Complexe RA1K |

2^{ème} Promotion

2024 / 2025

Dédicaces

Dédicaces. A

*Grace à Dieu qui m'a éclairé le chemin vers cette
réussite.*

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents

*Mes chers frères Saber et Achref et Ma seule et chère
sœur Doura*

Maroua et Sidra

Mon grand père et Ma grande famille

Mes chères amies

*Toutes les personnes qui m'ont soutenu, même par une
simple prière*

Toutes les personnes proches de mon cœur.

Assila.....

Dédicaces. B

*Louange à Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé
la force, la patience et la persévérance tout au long de
ce parcours.*

Je dédie ce mémoire avec amour et gratitude :

*À mes chers parents, pour leur soutien inconditionnel,
leurs sacrifices et leurs prières constantes,*

*À mon cher frère AZIZ et ma chère sœur ROUMAÏSSA,
pour leur affection et leur présence bienveillante,*

*À mon binôme ASSILA, pour la collaboration, l'entraide
et la confiance partagée,*

*Et à tous ma famille et mes amis, pour leurs encourage-
ments, leur motivation et leur amitié sincère.*

À vous tous, ce travail vous est dédié du fond du cœur.

DOHA....

REMERCIEMENT

REMERCIEMENT

Avant tout, nous remercions dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant tous nos années d'étude.

Nous remercions notre encadreur : Mr. INNAL Fares d'avoir accepté de diriger ce travail et pour le suivi continu tout le long de la réalisation de ce mémoire.

Nous n'oublierons pas de remercier nos enseignants du département, pour les efforts qu'ils ont fournis durant notre cursus afin de nous amener jusqu'au bout de la formation.

*Nous tenons à remercier vivement tout le personnel du Complexe RAIK pour leur accueil et leur aide tout au long de la réalisation de ce travail spécialement
Menikar Ilyas et Khawla Dib*

Nous remercions aussi tous le personnel du groupement rencontrés lors des recherches effectuées et qui ont accepté de répondre à nos questions avec une grande compréhension et générosité.

Enfin, nos derniers remerciements vont à nos familles, nos amis et à tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Merci...

Assila...

Doha...

Liste des figures

| CHAPITRE | Numéro | Titre des figures | Page |
|------------|---------------------|---|------|
| I | Figure I.1 | <i>Courbe de Farmer</i> | 5 |
| | Figure I.2 | <i>Scénario d'accident</i> | 6 |
| | Figure I.3 | <i>Processus de gestion des risques</i> | 7 |
| | Figure I.4 | <i>Considération typique en choisissant le type d'analyse et la profondeur de l'étude</i> | 9 |
| | Figure I.5 | <i>Schéma générique d'un SIS</i> | 14 |
| | Figure I.6 | <i>Typologie des Barrières de sécurité</i> | 15 |
| | Figure I.7 | <i>Concept d'analyse par couches de protection (LOPA)</i> | 21 |
| II | Figure II.1 | <i>Structure générale de la norme IEC 61508</i> | 26 |
| | Figure II.2 | <i>IEC 61508 et ses normes sectorielles</i> | 28 |
| | Figure II.3 | <i>Structure générale de la norme IEC 61511</i> | 30 |
| | Figure II.4 | <i>Relation générale entre IEC 61508 et IEC 61511</i> | 31 |
| | Figure II.5 | <i>Réduction du risque : Concepts généraux</i> | 32 |
| | Figure II.6 | <i>Les éléments constitutifs d'un SIS</i> | 34 |
| | Figure II.7 | <i>Fonction instrumentée de sécurité</i> | 35 |
| | Figure II.8 | <i>Phase 9 du cycle de vie (réalisation des SIS)</i> | 38 |
| | Figure II.9 | <i>Risque tolérable et ALARP</i> | 40 |
| | Figure II.10 | <i>Schéma général de graphe de risque selon la norme IEC 61511</i> | 44 |
| | Figure II.11 | <i>Exemple de matrice de gravité des événements dangereux selon la norme CEI 61508</i> | 45 |
| III | Figure III.1 | <i>Phénomène d'UVCE</i> | 52 |
| | Figure III.2 | <i>Les étapes de réalisation de BLEVE chaud</i> | 52 |
| | Figure III.3 | <i>Consommation énergétique en Algérie</i> | 53 |
| | Figure III.4 | <i>Représentation géographique de la RA1K dans la zone industrielle de Skikda</i> | 55 |
| | Figure III.5 | <i>Vue Aérienne de la Raffinerie de Skikda</i> | 56 |
| | Figure III.6 | <i>Structure générale de la raffinerie de Skikda RA1K</i> | 56 |
| | Figure III.7 | <i>Schéma des unités de la raffinerie de Skikda</i> | 58 |
| | Figure III.8 | <i>Organigramme général du département HSE</i> | 58 |
| | Figure III.9 | <i>Le choix de l'unité Topping 10-11 comme unité</i> | 59 |

| | | | |
|-----------|----------------------|---|----|
| | | <i>d'étude.</i> | |
| | Figure III.10 | <i>L'installation Stabilisateur-A</i> | 61 |
| | Figure III.11 | <i>Le schéma simplifié du ballon de reflux V-8 et ses Système de sécurité</i> | 63 |
| IV | Figure IV.1 | <i>Structure de la fonction instrumentée de sécurité « SIF : LALL-2151 »</i> | 74 |
| | Figure IV.2 | <i>Structure de la fonction instrumentée de sécurité « SIF : LAHH-2151 A »</i> | 74 |
| | Figure IV.3 | <i>Structure de la fonction instrumentée de sécurité «SIF : LAHH-2151 B »</i> | 75 |
| | Figure IV.4 | <i>Structure de la fonction instrumentée de sécurité «SIF : LALL-2155 »</i> | 75 |
| | Figure IV.5 | <i>Les Paramètres fiabilistes de transmetteur de niveau de SIF : LALL-2151 par logiciel GRIF (module SIL)</i> | 83 |
| | Figure IV.6 | <i>Les Paramètres fiabilistes de l'unité logique de SIF : LALL-2151 par logiciel GRIF (module SIL)</i> | 83 |
| | Figure IV.7 | <i>Les Paramètres fiabilistes de l'actionnaire (pompe) de SIF : LALL-2151 par logiciel GRIF (module SIL)</i> | 84 |
| | Figure IV.8 | <i>Les Paramètres fiabilistes de l'actionnaire (vanne de sécurité) de SIF : LALL-2151 par logiciel GRIF (module SIL)</i> | 84 |
| | Figure IV.9 | <i>Les PFD et la contribution de chacun des sous-ensembles des éléments de SIF : LALL-2151 par logiciel GRIF (module SIL)</i> | 84 |
| | Figure IV.10 | <i>Les Paramètres fiabilistes des sous-ensembles des éléments de SIF : LALL-2155 par logiciel GRIF (module SIL)</i> | 86 |
| | Figure IV.11 | <i>Les PFD et la contribution de chacun des sous-ensembles des éléments de SIF : LALL-2155 par logiciel GRIF (module SIL)</i> | 86 |
| | Figure IV.12 | <i>Les Paramètres fiabilistes des sous-ensembles des éléments de SIF : LAHH-2151 A par logiciel GRIF (module SIL)</i> | 87 |
| | Figure IV.13 | <i>Les PFD et la contribution de chacun des sous-ensembles des éléments de SIF : LAHH-2151 A par logiciel GRIF (module SIL)</i> | 87 |
| | Figure IV.14 | <i>Données de calcul pour le phénomène du BLEVE</i> | 88 |

| | | |
|---------------------|---|----|
| | <i>modélisé par logiciel ALOHA</i> | |
| Figure IV.15 | <i>Cartographie des zones menacées par les effets de surpression de BLEVE modélisé par logiciel ALOHA</i> | 89 |
| Figure IV.16 | <i>Données de calcul pour le phénomène du BLEVE modélisé par logiciel ALOHA</i> | 90 |
| Figure IV.17 | <i>Cartographie des zones menacées par les effets de surpression de l'explosion modélisé par logiciel ALOHA</i> | 90 |

Liste des tableaux

| CHAPITRE | Numéro | Titre des tableaux | Page |
|------------|----------------------|--|------|
| I | Tableau I.1 | <i>Grille de l'acceptabilité du risque</i> | 9 |
| | Tableau I.2 | <i>Exemples de dispositifs actifs et passifs</i> | 12 |
| | Tableau I.3 | <i>Critères de performance d'une barrière de sécurité</i> | 15 |
| | Tableau I.4 | Exemple de mots-guides fondamentaux et de leurs significations génériques | 16 |
| | Tableau I.5 | <i>Exemple de tableau HAZOP pour un exemple introductif</i> | 18 |
| | Tableau I.6 | <i>Exemple de compte-rendu de l'analyse LOPA</i> | 21 |
| | Tableau I.7 | <i>Domaines d'expertise des différents participants à une revue LOPA</i> | 21 |
| II | Tableau II.1 | <i>Les différents niveaux de SIL définis par la norme IEC 61511</i> | 37 |
| | Tableau II.2 | <i>Exemple de classification de risques</i> | 42 |
| | Tableau II.3 | <i>Interprétation des classes de risques</i> | 42 |
| | Tableau II.4 | <i>Paramètres de risques relatifs au danger selon la norme IEC 61511</i> | 43 |
| | Tableau II.5 | <i>Légende de la classification des paramètres de risques selon la norme IEC 61511</i> | 44 |
| III | Tableau III.1 | <i>Composition du GPL</i> | 49 |
| | Tableau III.2 | <i>Répartition de la capacité totale de transformation de l'entreprise</i> | 54 |
| | Tableau III.3 | <i>Unités de la raffinerie et leurs capacités de production</i> | 57 |
| | Tableau III.4 | <i>Différents systèmes de sécurité protégeant le ballon de reflux V-8</i> | 64 |
| IV | Tableau IV.1 | <i>Grille de criticité adopte par SONATRACH</i> | 67 |
| | Tableau IV.2 | <i>Tableau du Niveau de Risque</i> | 68 |
| | Tableau IV.3 | <i>Application de la méthode HAZOP sue le ballon de reflux de GPL V-8</i> | 69 |
| | Tableau IV.4 | <i>Fréquences d'occurrences des causes initiatrices</i> | 76 |

| | | |
|---------------------|---|----|
| Tableau IV.5 | <i>PF_D des couches de protections</i> | 77 |
| Tableau IV.6 | <i>Paramètres fiabilistes des composants du système à étudier</i> | 77 |
| Tableau IV.7 | <i>Tableau LOPA et calculs des PF_D_{avg} des SIFs de ballon de reflux de GPL V-8</i> | 79 |
| Tableau IV.8 | <i>Distances des effets de BLEVE sur l'homme</i> | 89 |
| Tableau IV.9 | <i>Distances des effets de l'explosion sur l'homme.</i> | 91 |

Liste des abréviations

| | |
|------------------|---|
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| IEC/CEI | <i>Commission Electrotechnique Internationale</i> |
| HAZID | <i>HAZard IDentification</i> |
| HAZOP | <i>HAZard and Operability</i> |
| APD | <i>Analyse Préliminaire de Dangers</i> |
| SIS | <i>Système Instrumenté de Sécurité</i> |
| EUC | <i>Equipement Under Control</i> |
| DPS | <i>Dynamic Positioning System</i> |
| SRECS | <i>Safety Related Electrical Control System</i> |
| IC | <i>Instrumentation and Control</i> |
| BPCS | <i>Base Process Control System</i> |
| E/ E/ PE | <i>Electriques / Electroniques/ Electroniques Programmables</i> |
| SIF | <i>Fonction Instrumentée de Sécurité</i> |
| SIL | <i>Safety Integrity Level</i> |
| ALARP | <i>As Low As Reasonably Practicable</i> |
| LOPA | <i>Layer Of Protection Analysis</i> |
| AMDEC | <i>Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets et Criticité</i> |
| GPL | <i>Gaz Pétrolier Liquéfié</i> |
| RA1K | <i>RAffinerie 01 de sKida</i> |
| GNL | <i>Gaz Naturel Liquéfié</i> |
| UVCE | <i>Unconfined Vapeur Cloud Explosion</i> |
| BLEVE | <i>Boiling Liquid Expanding Vapeur Explosion</i> |
| NAFTEC | <i>Société nationale de raffinage de pétrole</i> |
| SONATRACH | <i>SOciété NAtionale de TRAnsport des HydroCarbures</i> |
| HSE | <i>Hygiène, Sécurité et Environnement</i> |
| BRI | <i>Brut résidu Importé</i> |
| P& ID | <i>Piping and Instrumentation Diagramme</i> |
| LIC | <i>Level Indicating Controller</i> |
| PIC | <i>Pressure Indicating Controller</i> |
| FIC | <i>Flow Indicating Controller</i> |
| LAH/LAHH | <i>Level Alarm High/ Level Alarm High High</i> |
| LAL/LALL | <i>Level Alarm Low/ Level Alarm Low Low</i> |
| FAH/FAHH | <i>Flow Alarm High/ Flow Alarm High High</i> |
| FAL/FALL | <i>Flow Alarm Low/ Flow Alarm Low Low</i> |
| PAH/PAHH | <i>Pressure Alarm High/ Pressure Alarm High High</i> |
| PAL/PALL | <i>Pressure Alarm Low/ Pressure Alarm Low Low</i> |
| AAH | <i>Hydrocarbon Gas Alarm High</i> |

| | |
|------------|----------------------------------|
| PSV | <i>Pressure Safety Valve</i> |
| PV | <i>Pressure Valve</i> |
| UV | <i>Utility Valve</i> |
| FV | <i>Flow Valve</i> |
| AI | <i>Hydrocarbon Gas Indicator</i> |
| LI | <i>Level Indicator</i> |
| PI | <i>Pressure Indicator</i> |
| TI | <i>Temperature Indicator</i> |
| E | <i>Échangeur</i> |
| EA | <i>Échangeur à Air</i> |

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Sommaire

Introduction générale

| | |
|---|----|
| CHAPITRE I : <i>Gestion des risques et barrières de sécurité</i> | |
| I.1. Introduction | 1 |
| I.2. Notions générales sur la sécurité industrielle | 1 |
| I.3. Gestion des risques | 5 |
| I.4. Barrière de sécurité | 11 |
| I.5. Les méthodes d'analyse des risques | 15 |
| I.6. Conclusion | 23 |

| | |
|---|----|
| CHAPITRE II : <i>Le Système instrumentation de sécurité et les méthodes d'allocations du SIL</i> | |
| II.1. Introduction | 24 |
| II.2. Cadre normatif relatif à la sécurité fonctionnelle : IEC61508 et IEC61511 | 24 |
| II.3. Réduction du risque nécessaire | 31 |
| II.4. Système de sécurité | 33 |
| II.5. Evaluation du risque et détermination du niveau d'intégrité de sécurité | 38 |
| II.7. Conclusion | 47 |

| | |
|--|----|
| CHAPITRE III : <i>Présentation du complexe RA1K et du ballon de reflux de GPL V-8</i> | |
| II.1. Introduction | 48 |
| III.2. Généralités sur le GPL | 48 |

| | |
|---|----|
| III.3. Présentation du complexe RA1K et du ballon de reflux de GPL V-8 | 53 |
| III.4. Conclusion | 66 |

| | |
|---|----|
| CHAPITRE IV : Évaluation des risques au niveau de ballon de reflux de GPL V-8 | |
| IV.1. Introduction | 67 |
| IV.2. Evaluation des risques au niveau de ballon de reflux de GPL V-8 via les méthodes HAZOP et LOPA | 67 |
| IV.3. Analyse de la Conformité des SIFs : Estimation de la PFD_{avg} et du SIL Réel à l'aide de GRIF via logiciel GRIF – Module SIL | 83 |
| IV.4. Modélisation des conséquences d'un BLEVE à l'aide d'ALOHA | 88 |
| IV.5. Conclusion | 91 |

Conclusion générale

Annexe

Table des matières

Références bibliographiques

Résumé

Introduction

Générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le développement continu des installations industrielles et l'essor technologique dans le domaine des hydrocarbures ont permis d'atteindre des niveaux de productivité et d'efficacité élevés. Toutefois, cette complexité croissante des procédés s'accompagne également de nouvelles sources de risques, notamment en lien avec le stockage de produits inflammables comme le gaz de pétrole liquéfié (GPL). Les incidents majeurs tels les explosions, les incendies ou les fuites de substances dangereuses, constituent des menaces significatives pour la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement. D'où la nécessité d'intégrer, dès la conception des unités de procédé, des dispositifs rigoureux de gestion des risques industriels.

Dans ce contexte, les systèmes instrumentés de sécurité (SIS) jouent un rôle important dans la prévention des scénarios accidentels. La norme CEI 61508 ainsi que sa norme sectorielle CEI 61511, fournissent un cadre normatif reconnu à l'échelle internationale permettant d'identifier, de concevoir, de mettre en œuvre et de maintenir des fonctions de sécurité efficaces, évaluées en termes de Niveau d'Intégrité de Sécurité (SIL). Cette norme exige une approche structurée fondée sur l'analyse des risques pour justifier les niveaux de performance attendus des fonctions de sécurité instrumentée.

Le présent travail s'inscrit dans cette démarche en proposant une étude SIL appliquée à un ballon de reflux du GPL, équipement clé dans le procédé de stabilisation des hydrocarbures légers. Ce ballon, opérant sous pression, est exposé à divers phénomènes dangereux tels que la surpression, les fuites de gaz inflammables...etc. Ainsi, une défaillance de cet équipement peut engendrer des conséquences graves sur le plan humain, matériel et environnemental.

L'approche adoptée repose sur l'utilisation successive des méthodes HAZOP (Hazard and Operability Study) et LOPA (Layer of Protection Analysis). L'analyse HAZOP permet une identification systématique des déviations de fonctionnement possibles à partir des conditions normales d'exploitation, tandis que la méthode LOPA, de nature semi-quantitative, permet d'évaluer les fréquences d'occurrence des scénarios accidentels et de vérifier si les barrières de sécurité existantes associées au ballon de reflux sont suffisantes pour respecter les

critères de risque acceptable. Cette démarche aboutit à la quantification du SIL requis pour chaque fonction de sécurité critique identifiée.

Le présent travail, en plus de l'introduction, est composé de quatre chapitres :

Le premier chapitre : notions générales sur la sécurité industrielle, Gestion des risques, barrière de sécurité. Les méthodes utilisées dans le cadre de ce travail, HAZOP et LOPA, seront décrites.

Le deuxième chapitre : *Les Systèmes instrumentés de sécurité et méthodes d'allocations du SIL.*

Le troisième chapitre : Présentation de l'entreprise, identification de ses différentes installations et description *du ballon de reflux de GPL V-8*

Le quatrième et dernier chapitre : la quantification du SIL requise pour les fonctions critiques identifiées

Enfin, on termine notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Gestion des risques et barrières de sécurité

I.1. Introduction

La sécurité industrielle représente un enjeu majeur dans la gestion des installations et des processus industriels. Assurer la sécurité des opérations nécessite une compréhension approfondie des risques et des mécanismes de prévention.

Ce chapitre présente les concepts fondamentaux liés à la sécurité industrielle, en mettant l'accent sur la gestion des risques, les différents types de barrières de sécurité, et les méthodes d'analyse des risques, telles que HAZOP et LOPA. Ces outils permettent d'identifier, d'évaluer et de contrôler les risques potentiels afin de garantir la sécurité des personnes, des équipements et de l'environnement dans le cadre des activités industrielles.

I.2. Notions générales sur la sécurité industrielle

I.2.1. Notion de sécurité

Dans le cadre des systèmes industriels, la sécurité consiste à mettre en œuvre des moyens évitant l'apparition de dangers. Elle s'énonce alors par l'absence de risque inacceptable, selon la norme CEI 61508 [CEI 61508, 2010].

Par ailleurs, la sécurité ne doit pas être définie en termes d'absence totale de danger. En effet, l'absence totale de danger n'est pas nécessairement un idéal à atteindre. À la rigueur, cela peut même être hasardeux [Maslow, 2013].

Selon l'ISO/IEC Guide 51 la sécurité est l'absence de risque intolérable

Selon l'ISO/IEC Guide 51, les termes "risque acceptable" et "risque tolérable" sont considérés comme des synonymes [ISO/IEC Guide 51, 2014].

I.2.2. Principes généraux de protection

Nous pouvons distinguer les mesures de sécurité par leur mode d'action : les sécurités passives et les sécurités actives [Sellak, 2007].

I.2.2.1. Sécurités passives

La sécurité passive désigne tous les éléments mis en jeu afin de réduire les conséquences d'un accident lorsque celui-ci n'a pu être évité. Elle agit par sa seule présence, sans intervention humaine ni besoin en énergie (exemple : bâtiment de confinement, cuvette de rétention, etc.).

Cependant, il ne faut pas réduire la sécurité passive à la limitation des conséquences des accidents (l'isolation électrique est une mesure passive et préventive)

I.2.2.2. Sécurités actives

La sécurité active désigne tous les éléments mis en jeu afin d'éviter les accidents. Elle nécessite une action, une énergie et un entretien (exemple : détecteur, vannes, etc.).

I.2.3. Notion de danger

Selon la norme de sécurité CEI 61508 [CEI 61508, 2010] le danger est défini comme une nuisance potentielle pouvant porter atteinte aux biens (détérioration ou destruction), à l'environnement, ou aux personnes.

Selon la norme ISO 45001 le danger est Source susceptible de causer traumatisme et pathologie

Les dangers peuvent inclure les sources susceptibles de causer un dommage ou des situations dangereuses, ou des circonstances d'exposition potentielle conduisant à des traumatismes et pathologies [ISO 45001, 2018]

Il convient de noter que la notion de danger est entourée d'une certaine ambiguïté, en raison de la multiplicité des termes utilisés selon les normes et les auteurs. Cette confusion est renforcée par le fait que les dictionnaires associent fréquemment les termes "danger" et "risque", les présentant parfois comme synonymes. Ainsi, de nombreuses personnes les emploient de manière interchangeable. Même certains documents officiels ou textes réglementaires contribuent à cette confusion en ne distinguant pas clairement ces deux notions.

I.2.4. Notion de risque

Le risque donne une mesure de la combinaison de deux facteurs qui sont la gravité d'un danger (ou sa conséquence) et la fréquence d'occurrence. Sa réduction peut être obtenue par la prévention (réduction de la fréquence d'occurrence) ou la protection (réduction de la gravité).

Selon [ISO Guide 73, 2009] le risque est l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs

Un effet est un écart positif et/ou négatif, par rapport à une attente.

Les objectifs peuvent avoir différents aspects (par exemple buts financiers, de santé et de sécurité, ou environnementaux) et peuvent concerner différents niveaux (niveau stratégique, niveau d'un projet, d'un produit, d'un processus ou d'un organisme tout entier).

Un risque est souvent caractérisé en référence à des événements et des conséquences potentiels ou à une combinaison des deux.

Un risque est souvent exprimé en termes de combinaison des conséquences d'un événement (incluant des changements de circonstances) et de sa vraisemblance.

L'incertitude est l'état, même partiel, de défaut d'information concernant la compréhension ou la connaissance d'un événement, de ses conséquences ou de sa vraisemblance [ISO Guide 73, 2009]

De manière plus formelle, un risque peut être mesuré par sa criticité, qui est fonction de sa probabilité et de sa gravité :

$$C = P \times G$$

Le critère de Farmer (figure I.1) permet de définir les notions de risque acceptables et inacceptables.

En effet, la courbe de Farmer permet une classification du risque en deux sous-ensembles disjoints, correspondants au domaine du risque acceptable et à celui du risque inacceptable.

- Risque courant : forte probabilité et faible gravité (risque acceptable).
- Risque moyen : probabilité moyenne et gravité moyenne.
- Risque majeur : probabilité faible et gravité très importante (par exemple, accident mortel), c'est la zone du risque inacceptable.

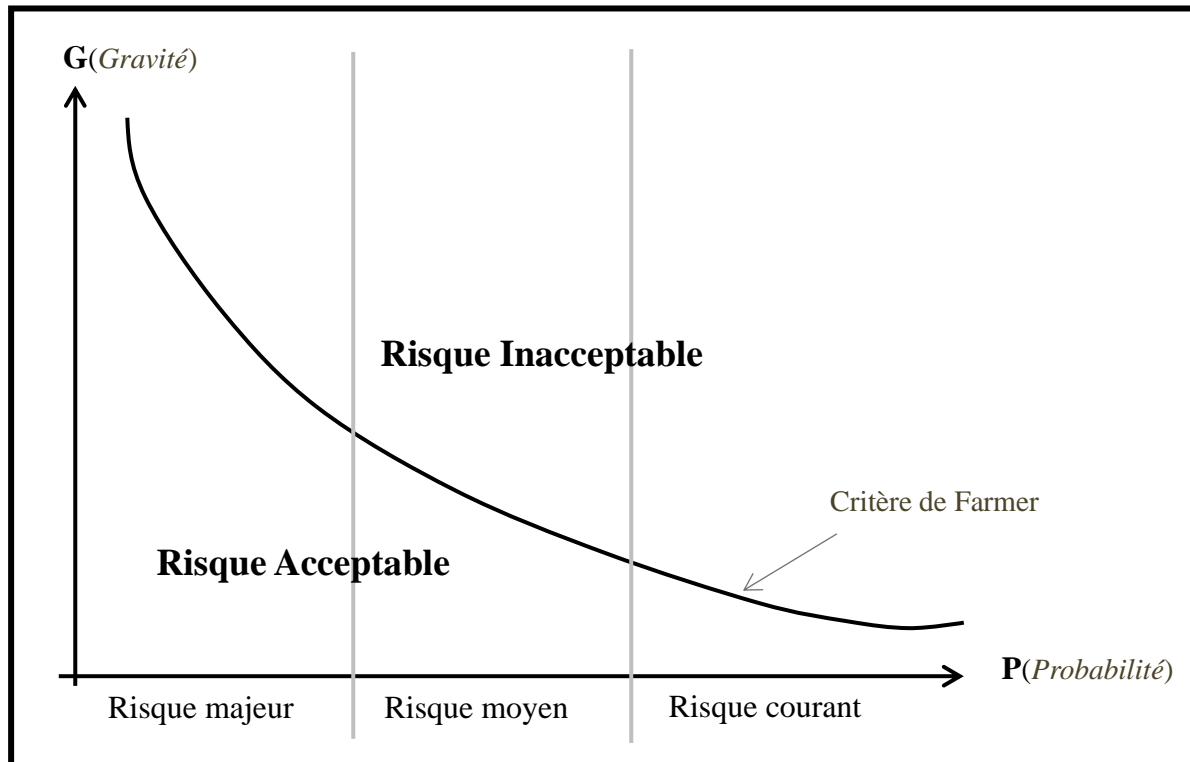


Figure I.1: Courbe de Farmer [Farmer, 1967].

I.2.5. Phénomène dangereux et situation dangereuse

- Un **phénomène dangereux** est Libération d'énergie ou de substance produisant des effets susceptibles d'infliger un dommage à des cibles vivantes ou matérielles. C'est une source potentielle de dommages [Techs ING].
- Une **situation dangereuse** est une Situation dans laquelle des personnes, des biens ou l'environnement sont exposés à un ou plusieurs dangers [ISO/IEC Guide 51, 2014]

La situation dangereuse (ou à risque), notée (SD), résulte de la conjonction d'un danger (D) et d'un événement contact (EC) qui met le système en présence ou au contact du danger

Cette configuration de l'état du système en présence de danger est modélisée par l'expression [CEI 61508, 2010] :

$$SD = D \cap EC$$

La situation à risque est définie par la nature et le potentiel de dangerosité et la vraisemblance de ce potentiel. De même l'événement redouté final ou accident (A) résulte de la conjonction de la situation dangereuse et d'un événement amorce (EA) qui déclenche la

dangereusité sur le ou les éléments vulnérables du système. Cette configuration accidentelle est modélisée par l'expression [CEI 61508, 2010] :

$$A = SD \cap EA = D \cap EC \cap EA$$

La gravité des conséquences directes et indirectes de l'accident, notée $G(A)$ correspond au montant des dommages en termes de perte ou préjudice mesurable.

Le scénario d'accident qui en résulte est visualisé sur le diagramme de la figure ci-dessous :

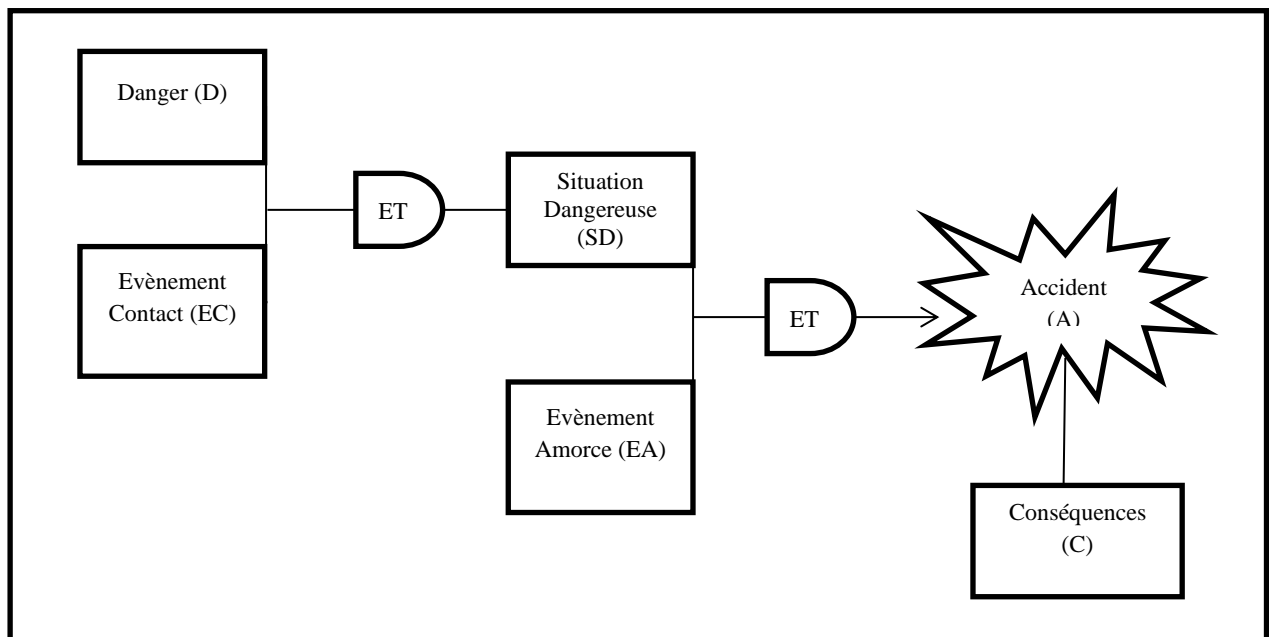


Figure I.2: Scénario d'accident [Desroches et al, 2003].

I.2.6. Dommage

Blessure physique et/ou atteinte à la santé des personnes, aux biens ou à l'environnement

[IEC 61882, 2016]

I.2.7. Accident

Selon la norme ISO 45001 [ISO 45001, 2018], l'accident est un événement imprévu entraînant la mort, une détérioration de la santé, des lésions, des dommages ou autres pertes.

I.3. Gestion des risques

I.3.1. Définition

La gestion des risques ou management des risques peut être définie comme l'ensemble des activités coordonnées menées en vue de réduire les risques à un niveau jugé tolérable ou acceptable à un moment donné et dans un contexte donné. Cette définition, cohérente avec les concepts présentés dans [ISO/CEI Guide 73, 2002] s'appuie ainsi sur un critère d'acceptabilité du risque.

FERMA [FERMA, 2002] identifie la gestion des risques comme « un processus continu d'amélioration qui commence avec la définition de la stratégie et se poursuit avec l'exécution de celle-ci. Elle devrait traiter systématiquement de tous les risques qui entourent les activités de l'organisation, que celles-ci soient passées, présentes et surtout futures ».

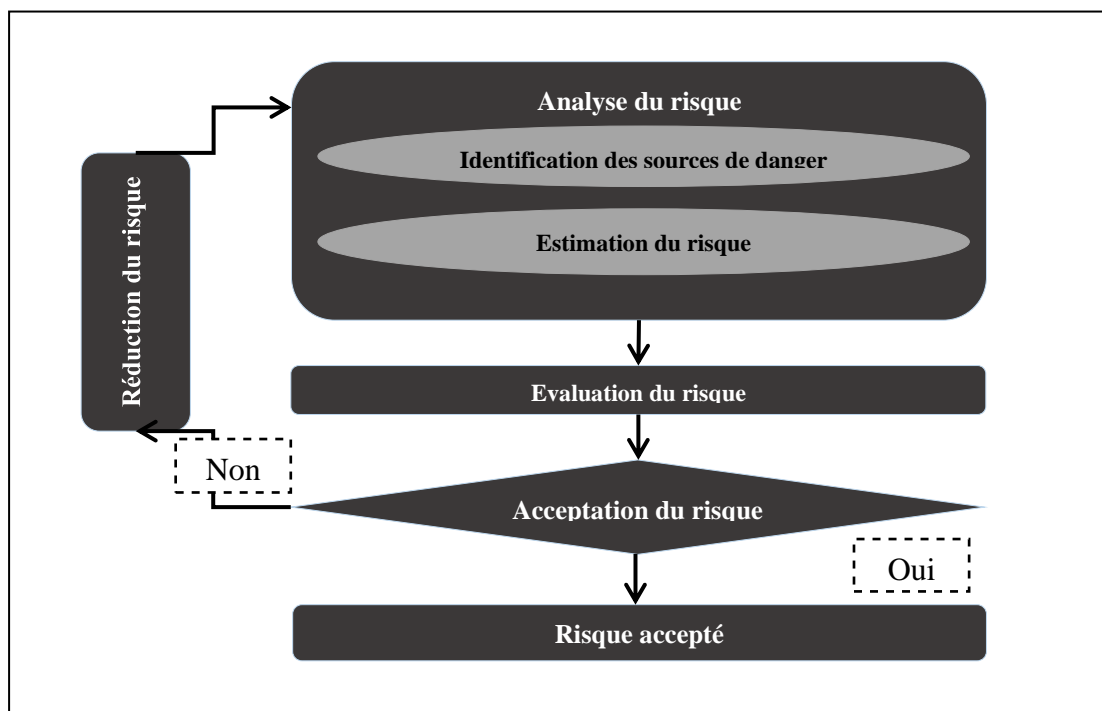


Figure I.3 : *Processus de gestion des risques [ISO/CEI Guide 51, 1999].*

I.3.2. Approche

De manière classique, la gestion du risque est un processus itératif qui inclut notamment les phases suivantes :

I.3.2.1. L'analyse des risques [ISO/CEI Guide 51, 1999 / INERIS, 2006]

C'est l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque selon le guide.

L'analyse des risques a pour but d'identifier les sources de danger ainsi que les situations susceptibles d'engendrer des dommages aux personnes, aux biens ou à l'environnement.

Elle permet également de mettre en évidence les barrières de sécurité existantes, qu'il s'agisse de prévention (pour éviter la survenue d'une situation dangereuse) ou de protection (pour en limiter les conséquences).

Des outils d'analyse comme le HAZID (*Hazard Identification*), le HAZOP (*Hazard and Operability Study*) ou l'APD (*Analyse Préliminaire de Dangers*) sont utilisés afin d'assurer une évaluation rigoureuse et structurée des risques.

Une fois les dangers identifiés, il est nécessaire d'estimer les risques associés, en évaluant à la fois la probabilité de leur occurrence et la gravité de leurs conséquences sur les personnes, les biens et l'environnement. Cette estimation peut être qualitative, semi-quantitative ou quantitative, selon le niveau de précision souhaité

I.3.2.1.1. Analyses qualitatives

Cette analyse consiste à qualifier certains paramètres de la sûreté de fonctionnement d'un système précédemment étudié.

Lors de cette étape on définit clairement l'objectif de l'étude et on précise les limites de résolution de l'analyse.

La considération des éléments précédents, doit aboutir à la proposition d'une décomposition du système en composants, puis on procédera ensuite aux choix judicieux des méthodes les plus adaptées aux objectifs de l'étude au système à analyses et aux moyens dont on dispose. Ce qui permet par la suite d'aboutir à une modélisation du système et des défaillances l'affectant [ENSPM, 2006].

I.3.2.1.2. Analyses Semi quantitatives

Des catégories d'entrée sont combinées numériquement où obtenir schématiquement une valeur (pseudo-quantitative) numérique du risque. Ces valeurs sont souvent alors réunies dans les catégories qui sont définies qualitativement. La (figure I.4) reflète les considérations typiques en choisissant le type d'analyse et la profondeur d'étude [ENSPM, 2006].

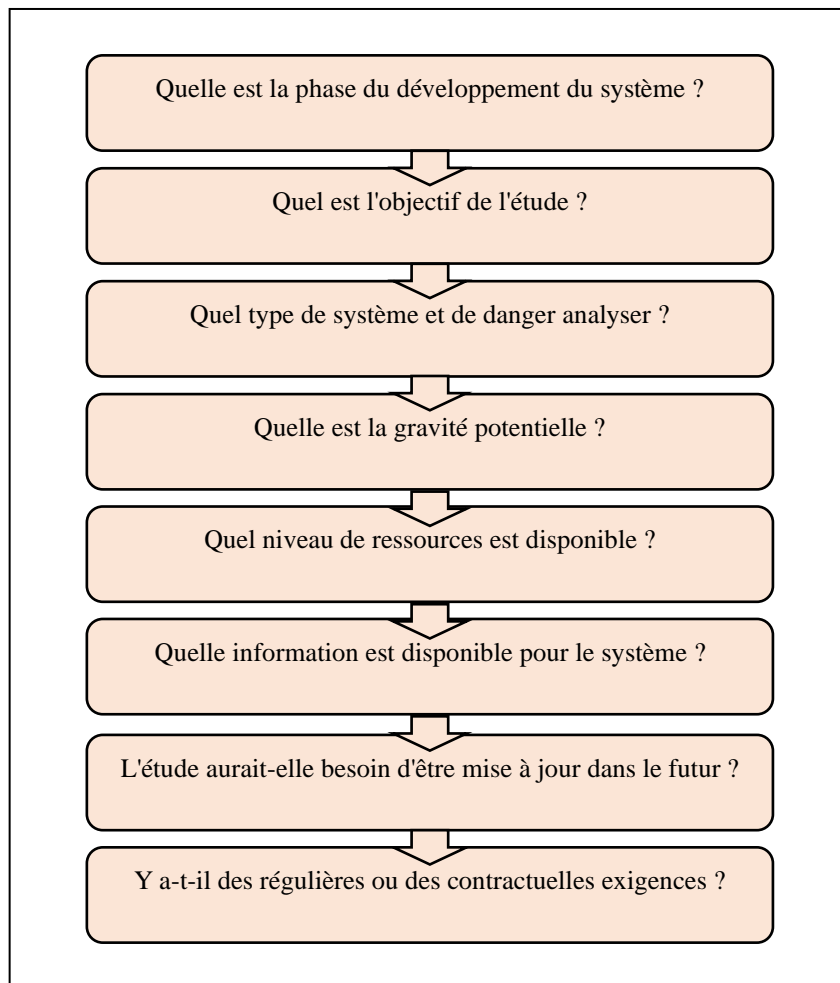


Figure I.4: *Considération typique en choisissant le type d'analyse et la profondeur de l'étude*
[ENSPM, 2006].

I.3.2.1.3. Analyses quantitatives

En utilisant les résultats de l'analyse qualitative réalisée précédemment, et si l'on dispose de données de fiabilité relatives aux événements élémentaires et d'informations relatives aux Systèmes (données statistiques, données expérimentales...).

L'analyse quantitative permet de quantifier les paramètres de la sûreté de fonctionnement du système étudié. Il en résulte donc que l'analyse de défaillance a de nombreux objectifs, à titre d'exemple on cite la probabilité d'occurrence d'un événement donné, le bon fonctionnement d'un système pendant une durée donnée

Les résultats de l'analyse peuvent être utilisés pour le choix de solutions et dans la prise de décision [ENSPM, 2006].

L'analyse des risques occupe une place centrale dans processus de gestion des risques.

I.3.2.2. L'évaluation du risque

Après avoir estimé le risque, on doit le comparer aux critères d'acceptabilité établis préalablement par l'entreprise/organisation concernée. Cette évaluation permet de prendre une décision sur l'acceptabilité ou l'inacceptabilité de chaque risque [ISO/CEI Guide 51, 1999], c'est –à-dire, déterminer s'il convient d'accepter le risque tel qu'il est ou bien de le réduire.

Le processus de l'évaluation des risques comporte [KAHALERRAS, 2007] :

- L'identification des dangers
- La compréhension de la nature de ces dangers
- L'évaluation des conséquences (à cours et à long terme)
- L'évaluation de la probabilité de leur occurrence.

L'acceptation du risque peut dépendre de facteurs éthiques, moraux, économiques ou politiques. Pour ce qui concerne le domaine des risques accidentels, la décision d'acceptation des risques repose également dans les mains des autorités compétentes [INERIS, 2006].

I.3.2.3. Acceptation du risque

La définition du risque tolérable donnée dans le guide [ISO/CEI Guide 51, 1999] est :

« Risque accepté dans un certain contexte et fondé sur les valeurs admises par la société ».

La définition de critères d'acceptabilité du risque est une étape clé dans le processus de gestion du risque.

Si le risque est jugé acceptable le processus de gestion sera terminé et le risque jugé sera surveillé (gestion des risques résiduels). Dans le cas contraire. Le processus continue en passant à l'étape de réduction.

Tableau I.1: Grille de l'acceptabilité du risque [ENSPM, 2006].

| Echelle de gravité (ordre décroissant A à E) | Echelle de probabilité (ordre croissant E à A) | | | | |
|--|--|---|---|---------------------|---|
| | E | D | C | B | A |
| désastreux | | | | | |
| catastrophique | | | | Risque inacceptable | |
| sérieux | Risque ALARP | | | | |
| modéré | | | | | |
| mineur | Risque acceptable | | | | |

Chaque scénario encore positionné dans cette zone rouge devra faire l'objet d'une démarche de réduction du risque par la mise en œuvre de barrière jusqu'à atteindre un niveau de risque tolérable et au pire ALARP [ENSPM, 2006].

I.3.2.4. Maîtrise ou réduction du risque

Désigne l'ensemble des actions ou dispositions entreprises en vue de diminuer la probabilité (par la prévention) ou la gravité des dommages (par la protection) associés à un risque particulier jusqu'à un niveau aussi bas que raisonnablement praticable (ALARP). Ce processus vient généralement après l'évaluation du risque [CEI 50126, 2000] :

- ❖ La prévention des accidents se rapporte à l'élimination de dangers ou sur la diminution de l'occurrence d'événements redoutés par l'amélioration de la sécurité des dispositifs de contrôle ou par l'implantation des moyens empêchant l'apparition ou la propagation des dangers (SIS...).
- ❖ La protection vient après l'échec des moyens de prévention et se rapporte à l'atténuation des conséquences d'un accident par des moyens limitant les dommages (systèmes de secours, procédures d'urgence).

I.3.3. Importance de l'analyse des risques

L'analyse des risques permet de tenir compte du contexte particulier de l'installation étudiée en considérant notamment [HSE SONATRACH] :

- ❖ Les conditions particulières d'exploitation : phase normale ou transitoire (arrêt, démarrage)
- ❖ L'environnement immédiat de l'installation considéré (possibilité de synergies d'accidents ou d'effets dominos...)
- ❖ L'environnement général du site (cibles potentielles d'un accident majeur, agression externe.).

I.4. Barrière de sécurité

I.4.1. Définition

Les barrières de sécurité, se désignent par plusieurs nomenclatures tels que « les systèmes de sécurité », « systèmes de défense », « éléments pour la maîtrise des risques », « mesures de maîtrise des risques (MMR) », « les éléments importants pour la sécurité (EIPS) » ou encore « les couches de protection ».

Une barrière de sécurité désigne l'ensemble des éléments nécessaires et suffisants pour assurer une ou plusieurs fonctions de sécurité [INERIS, 2009]. Ce terme regroupe à la fois des dispositifs techniques et organisationnels, instrumentaux, mécaniques ou procéduraux permettant de prévenir l'apparition d'un événement redouté ou d'en limiter ses conséquences [INERIS, 2005].

I.4.2. Objectif

Réduire le niveau de risque à un niveau considéré comme acceptable (ou tolérable si ALARP).

I.4.3. Les différents types des barrières de sécurités

On peut identifier, d'une manière générale trois grands types de barrières de sécurité [INERIS, 2008] :

I.4.3.1. Les Barrières Techniques de Sécurité (BTS)

D'une part, sont constituées d'un dispositif de sécurité ou d'un système instrumenté de sécurité (SIS) qui s'oppose à l'enchaînement d'évènements susceptibles d'aboutir à un accident.

I.4.3.1.1. Dispositif de sécurité

Les dispositifs de sécurité sont des éléments unitaires, autonomes, ayant pour objectif de remplir une fonction de sécurité dans sa globalité. Ces dispositifs peuvent être classés en deux catégories :

- **Dispositif passif** : qui ne met en jeu aucun système mécanique (ressort, Levier...) pour remplir sa fonction de sécurité et qui ne nécessite ni action humaine (hors intervention de type maintenance), ni action d'une mesure technique, ni source d'énergie externe pour remplir sa fonction.
- **Dispositif actif** : qui met en jeu un système mécanique (ressort, levier...) pour remplir sa fonction. Il peut nécessiter une source d'énergie externe pour fonctionner.

Tableau I.2: Exemples de dispositifs actifs et passifs [Nguyen, 2008].

| Dispositif actif | Dispositif passif |
|---|--|
| Soupape de sécurité | Murs de confinement |
| Clapet anti-retour | Toit flottant de bacs |
| Double clapet de rupture | Murs coupe-feu sans ouverture |
| Clapet excès de débit | Talus de réservoirs |
| Events de respiration de bacs avec ressorts | Events de respiration de bacs sans ressort |

I.4.3.1.2. Système Instrumenté de Sécurité (SIS)

Le système instrumenté de sécurité est une combinaison de capteurs, d'unités de traitement et d'actionneurs ayant pour objectif de remplir une fonction ou sous-fonction de sécurité. Un SIS nécessite une source d'énergie extérieure pour initier ses composants et mener à bien sa fonction de sécurité.

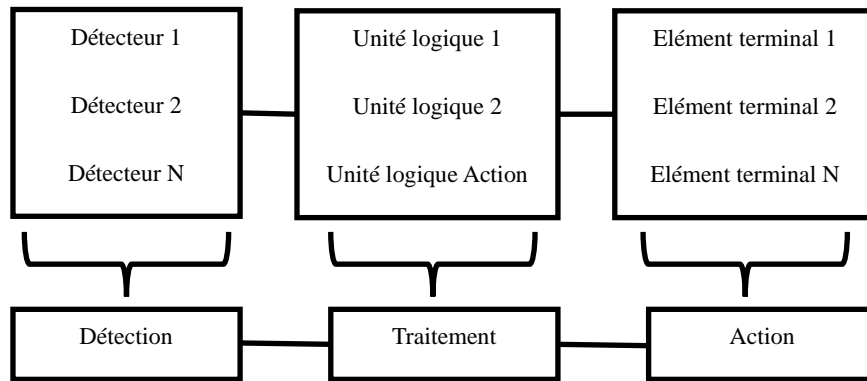


Figure I.5 : Schéma générique d'un SIS [Nguyen, 2008].

I.4.3.2. Les Barrières Organisationnelles de Sécurité (BOS)

Les barrières organisationnelles de sécurité correspondent à des activités humaines, activités qui ne sont pas liées à une barrière technique de sécurité, qui s'oppose à l'enchaînement d'évènements susceptibles d'aboutir à un accident, on les nomme ainsi barrières humaines de sécurité. Comme les barrières techniques de sécurité, les barrières organisationnelles de sécurité se définissent par la fonction de sécurité qu'elles assurent vis-à-vis d'un scénario d'accident. Exemples de barrières humaines de sécurité :

- Opération de contrôle de l'étanchéité d'un circuit conditionnant la mise en service d'un circuit.
- Action de fermeture manuelle d'une vanne suite à la détection visuelle d'une augmentation anormale de la pression d'un équipement.

I.4.3.3. Les Systèmes à Action Manuelle de Sécurité (SAMS)

Combinaison des deux types de barrières précédentes (BTS et BOS). Ce sont des barrières mixtes à composantes techniques et humaines : l'opérateur est en interaction avec les éléments techniques du système de sécurité qu'il surveille ou sur lesquels il agit.

Pour ce type de barrière, on trouve le système de protection incendie, vanne manuelle d'isolement de la canalisation, arrêt d'urgence manuel à distance. Par exemple, la mise en position de sécurité d'une vanne de sécurité par actionnement manuel d'un bouton d'arrêt d'urgence suite à une détection de fuite de gaz au cours d'une ronde de surveillance est assimilée à une barrière à action manuelle de sécurité.

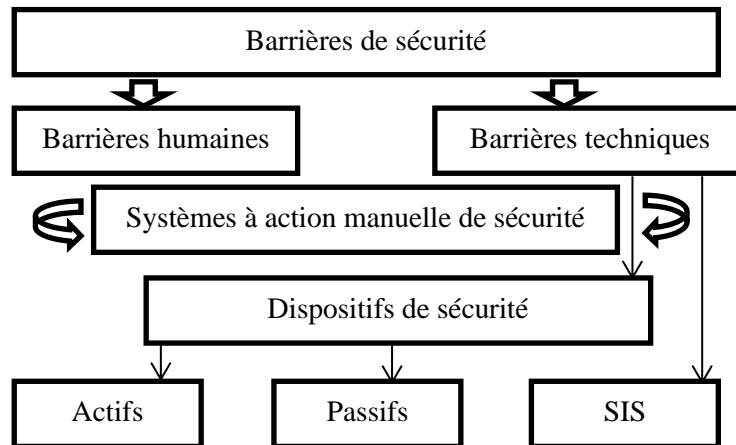


Figure I.6 : Typologie des Barrières de sécurité [INERIS, 2005].

Pour maîtriser les risques d'accidents, les barrières de sécurité comportent plusieurs fonctions [INERIS ARAMIS, 2004] :

- **Fonction d'évitement** : il s'agit de rendre un événement impossible. Cette fonction désigne généralement des modifications profondes des installations et est à rapprocher du concept des procédés intrinsèquement plus sûrs.
- **Fonction de prévention** : il s'agit de limiter la probabilité d'occurrence d'un événement, sans toutefois pouvoir le rendre impossible. Cette fonction couvre aussi la fonction de détection.
- **Fonction de détection** : il s'agit de détecter un événement. Cette fonction seule ne suffit pas généralement à assurer la maîtrise de l'accident et doit être associée à d'autres fonctions comme contrôler ou limiter notamment.
- **Fonction de contrôle** : il s'agit de maîtriser le déroulement d'une dérive afin de ramener le système dans un état opérationnel sûr.

I.4.4. Les critères de performance des barrières de sécurité

Pour qu'une barrière de sécurité soit considérée comme efficace, elle doit répondre à cinq critères fondamentaux : **efficacité**, **temps de réponse**, **niveau de confiance**, **indépendance**, et **testabilité**.

Afin de faciliter la compréhension, nous avons choisi de présenter ces informations sous forme de tableau

Tableau I.3: Critères de performance d'une barrière de sécurité [INERIS, 2005].

| Critère | Définition | Spécificités / Différences |
|----------------------------|---|--|
| Efficacité | Capacité à assurer la fonction de sécurité prévue, dans le contexte d'usage et sur une durée définie | Évalue la performance fonctionnelle de la barrière dans des conditions normales. |
| Temps de réponse | Temps écoulé entre la sollicitation et l'exécution complète de la fonction de sécurité. | Mesure la rapidité de réaction globale de la barrière. |
| Niveau de confiance | Probabilité que la barrière remplisse sa fonction lorsqu'elle est sollicitée, conformément aux objectifs de réduction du risque. | Indicateur de fiabilité lié à la probabilité de défaillance . |
| Indépendance | La barrière ne doit pas être affectée par l'événement initiateur qu'elle est censée maîtriser. Elle doit rester opérationnelle indépendamment de cet événement. | Assure que la barrière n'est pas compromise par l'événement qu'elle est censée maîtriser. |
| Testabilité | Capacité à tester périodiquement la barrière pour s'assurer de son bon fonctionnement. | Critère opérationnel qui garantit la maintenance de l'efficacité dans le temps . |

I.5. Les méthodes d'analyse des risques

Dans ce qui suit nous allons décrire les deux méthodes suivantes : HAZOP et LOPA, car nous allons les mettre en œuvre au chapitre IV.

I.5.1. La méthode HAZOP

I.5.1.1. Définition

Une étude HAZOP est un processus détaillé réalisé par une équipe spécialisée, destiné à identifier les risques et les problèmes d'exploitabilité. Les études HAZOP s'attachent à l'identification des écarts potentiels par rapport à l'intention de conception, à l'examen de leurs causes possibles et à l'évaluation de leurs conséquences [IEC 61882, 2016].

I.5.1.2. Principe

La méthode de type HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermo-hydrauliques pour lesquels il est primordial de maîtriser des paramètres comme la pression, la température, le débit ... L'HAZOP considère les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. De ce fait, elle est centrée sur le fonctionnement du procédé. Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne, maille, nœud), la génération (conceptuelle) des dérives est effectuée de manière systématique par la conjonction :

- De mots – clé comme par exemple « Pas de », « Plus de », « Moins de », « Trop de » (Tableau)
- Des paramètres associés au système étudié. Des paramètres couramment rencontrés sont la température, la pression, le débit, la concentration, mais également le temps ou des opérations à effectuer.

Mots-clés + Paramètre = Dérive

Tableau I.4 : Exemple de mots-guides fondamentaux et de leurs significations génériques [IEC 61882, 2016].

| Mot-guide | Signification |
|--------------|--|
| NE PAS FAIRE | Négation totale de l'intention de conception |
| PLUS | Augmentation quantitative |
| MOINS | Diminution quantitative |
| EN PLUS DE | Modification/augmentation qualitative |
| PARTIE DE | Modification/diminution qualitative |
| INVERSE | Contraire logique de l'intention de conception |
| AUTRE QUE | Remplacement total |

Le groupe de travail doit ainsi s'attacher à déterminer les causes et les conséquences potentielles de chacune de ces dérives et à identifier les moyens existants permettant de détecter cette dérive, d'en prévenir l'occurrence ou d'en limiter les effets. Le cas échéant, le groupe de travail pourra proposer des mesures correctives à engager en vue de tendre vers plus de sécurité.

A l'origine, l'HAZOP n'a pas été prévue pour procéder à une estimation de la probabilité d'occurrence des dérives ou de la gravité de leurs conséquences. Cette méthode est donc parfois qualifiée de qualitative. En pratique, elle peut être couplée à une estimation de la criticité.

Néanmoins, dans le domaine des risques accidentels majeurs, une estimation a priori de la probabilité et de la gravité des conséquences des dérives identifiées s'avère souvent nécessaire [IEC 61882, 2016].

Dans ce contexte, l'HAZOP doit donc être complétée par une analyse de la criticité des risques sur les bases d'une technique quantitative simplifiée, telle que la méthode LOPA.

I.5.1.3. Déroulement

Il convient, pour mener l'analyse, de suivre les étapes suivantes :

1. Dans un premier temps, choisir une ligne ou une maille. Elle englobe généralement un équipement et ses connexions, l'ensemble réalisant une fonction dans le procédé identifiée au cours de la description fonctionnelle ;
2. Choisir un paramètre de fonctionnement ;
3. Retenir un mot – clé et étudier la dérive associée ;
4. Vérifier que la dérive est crédible. Si oui, passer au point 5, sinon revenir au point 3 ;
5. Identifier les causes et les conséquences potentielles de cette dérive ;
6. Examiner les moyens visant à détecter cette dérive ainsi que ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets ;
7. Proposer, le cas échéant, des recommandations et améliorations ;
8. Retenir un nouveau mot – clé pour le même paramètre et reprendre l'analyse au point 3 ;
9. Lorsque tous les mots – clé ont été considérés, retenir un nouveau paramètre et reprendre l'analyse au point 2 ;
10. Lorsque toutes les phases de fonctionnement ont été envisagées, retenir une nouvelle ligne et reprendre l'analyse au point 1 [IEC 61882, 2016].

Notons de plus que, dans le domaine des risques accidentels, il est souvent nécessaire de procéder à une estimation de la criticité des dérives identifiées.

Un exemple de tableau pouvant être utilisé pour résumer les résultats de l'étude est présenté au (tableau I.5).

Tableau I.5 : Exemple de tableau HAZOP pour un exemple introductif [IEC 61882, 2016]

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|---|--|---|--|--|--|--|--|
| TITRE DE L'ETUDE: EXEMPLE DE PROCEDE | | | | | | FEUILLE: 1 de 4 | | | |
| N° du dessin: | | N° DE REVISION: | | | | DATE: jeudi 17 décembre 1998 | | | |
| COMPOSITION DE L'EQUIPE: | | LB, DH, EK, NE, MG, JK | | | | DATE DE LA REUNION: mardi 15 décembre 1998 | | | |
| PARTIE CONSIDEREE: | | Conduit de transfert du réservoir d'approvisionnement A au réacteur | | | | | | | |
| INTENTION DE CONCEPTION: | | Matériau: A Source: Réservoir pour A | | Activité: Transférer en continu à un débit supérieur à B Destination: Réacteur | | | | | |

| N° | Mot-guide | Élément | Ecart | Causes possibles | Conséquences | Moyens de maîtrise existants | Commentaires | Actions exigées | Responsable actions |
|----|--------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------|------------------------|--|---------------------|
| 1 | NE PAS FAIRE | Matériau A | Absence du matériau A | Réservoir d'approvisionnement A vide | Pas d'écoulement de A dans le réacteur Explosion | Aucun apparent | Situation inacceptable | Prévoir l'installation sur le réservoir A d'une alarme de niveau bas, ainsi que d'un déclencheur à seuil bas pour arrêter la pompe B | MG |
| 2 | NE PAS FAIRE | Transférer A (à un débit > B) | Aucun transfert de A n'a lieu | Pompe A arrêtée, conduit obstrué | Explosion | Aucun apparent | Situation inacceptable | Mesurage du débit du matériau A, ainsi qu'une alarme de niveau bas, et un déclenchement de la pompe B en cas d'écoulement faible | JK |

I.5.1.4. Avantage et limites

Les avantages de la méthode HAZOP incluent ce qui suit :

- Elle permet d'examiner un système, un processus ou un mode opératoire de manière systématique afin d'identifier comment celui-ci peut échouer à atteindre son objectif.
- Elle permet à une équipe multidisciplinaire de procéder à un examen détaillé et approfondi.
- Elle identifie les problèmes potentiels au stade de la conception d'un processus.
- Elle génère des solutions et des traitements du risque.
- Elle est applicable à un large éventail de systèmes, de processus et de modes opératoires.
- Elle permet de prendre en compte de manière explicite les causes et conséquences d'une erreur humaine.
- Elle permet de consigner par écrit le processus qui peut être utilisé pour effectuer les contrôles préalables.

Les limites incluent ce qui suit :

- Elle peut prendre beaucoup de temps et donc être onéreuse.

- Elle a tendance à être répétitive et à examiner plusieurs fois les mêmes questions, ce qui peut poser des problèmes de concentration.
- Elle nécessite un niveau élevé de documentation ou de spécification de système/processus et de mode opératoire.
- L'attention peut porter exclusivement sur la recherche de solutions plutôt que sur les raisons qui motivent une action (ceci peut être limité par une approche progressive).
- La discussion peut porter essentiellement sur des détails de conception et non sur des questions plus larges ou externes.
- Elle est limitée par le projet de conception et la conception elle-même, ainsi que par le domaine d'application et les objectifs imposés à l'équipe.
- Le processus repose en grande partie sur l'expertise des concepteurs, qui peuvent avoir du mal à rester suffisamment objectifs quant aux problèmes liés à leurs conceptions.

[IEC 61882, 2016]

I.5.2. La méthode LOPA (*Layer of Protection Analysis*)

I.5.2.1. Définition

La méthode LOPA a été développée à la fin des années 1990 par le CCPS (Center for Chemical Process Safety) [CCPS, 2001]. LOPA signifie Layer Of Protection Analysis (Analyse des niveaux (ou des couches) de protection). C'est une méthode orientée barrière.

Contrairement aux techniques d'évaluation des risques purement qualitatives, l'analyse des couches de protection permet d'estimer la fréquence d'un événement redouté. Cette méthode intègre les couches de protection de l'entreprise, tant organisationnelles¹ que techniques. Les dimensions organisationnelles, prises en compte dans ce cadre, n'ont pas vocation à être exhaustives [David et al, 2006]. La méthode LOPA évalue la réduction du risque en analysant la contribution des différentes couches (des caractéristiques intrinsèques du process jusqu'aux mesures de secours) en cas d'accident. Elle est utilisée pour déterminer quel SIL est assigné à chaque FIS et elle permet de déterminer combien de couches de protection sont nécessaires pour ramener le risque à un niveau tolérable. L'objectif est de calculer le risque résiduel exprimé en fréquence d'accident par an, ce qui impose de quantifier les fréquences d'occurrence des événements initiateurs et les probabilités de défaillances de chaque couche.

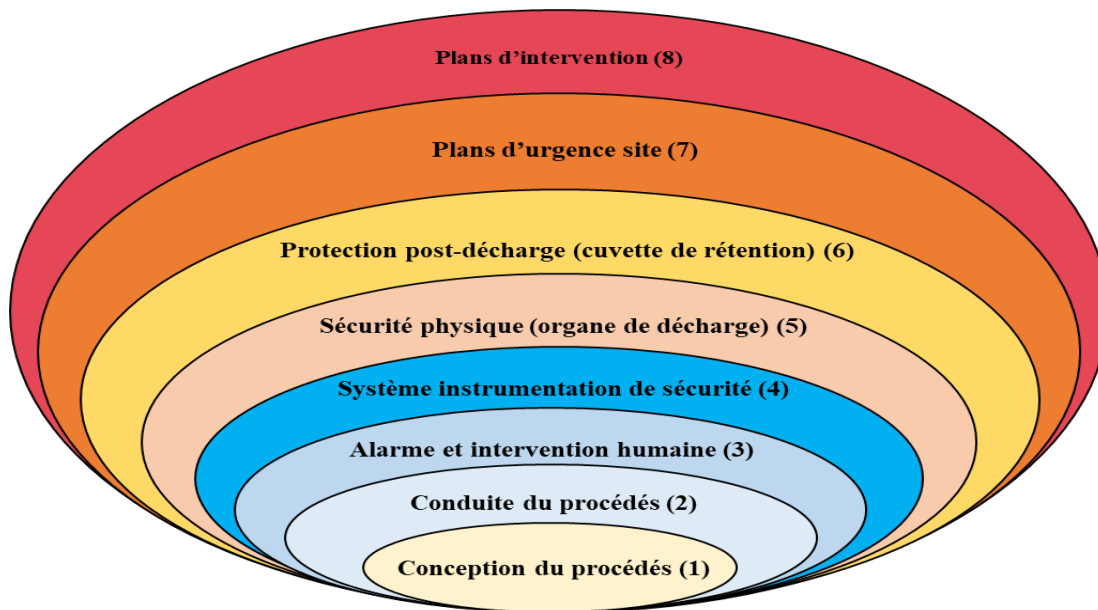


Figure I.7 : Concept d'analyse par couches de protection (LOPA) [CCPS, 2001].

I.5.2.2. Principales étapes de la méthode LOPA [CCPS, 2001].

La méthode LOPA peut être décomposée en six principales étapes :

1. *Établissement de critères de sélection des scénarios à évaluer* : Cette étape est un préalable à l'analyse de risques. Elle fournit le moyen de limiter la durée de l'étude en ne considérant que les scénarios significatifs en termes de conséquences. Le critère peut être un critère d'intensité (quantité de produit rejeté, flux mesuré à la source) ou un critère de conséquence qui intègre implicitement l'existence d'enjeux aux alentours.

2. *Développement des scénarios d'accident* : les scénarios d'accident sont développés sur la base d'une analyse de risques utilisant des outils traditionnels tels que l'AMDEC ou l'HAZOP.

3. *Identification des fréquences d'événements initiateurs* : une analyse détaillée des scénarios est entreprise en considérant chaque combinaison d'événements initiateurs associés à une conséquence. La fréquence d'occurrence de chaque événement initiateur est estimée sur la base de données internes de retour d'expérience ou de données issues de la littérature.

4. *Identification des dispositifs de sécurité* et de leurs probabilités de défaillance à la demande (PFD) pour chaque scénario.

5. Estimation du risque : la fréquence du scénario d'accident est alors estimée en multipliant la fréquence de l'événement initiateur et les (PFD) des barrières de sécurité applicables.

6. Evaluation du risque par rapport aux critères d'acceptabilité : la dernière étape de la méthode consiste à s'assurer que le risque est maîtrisé, c'est-à-dire qu'il est bien inférieur aux critères d'acceptabilité qui ont été fixés au préalable. LOPA n'impose pas de type de critère prédéfini et se base généralement sur une grille de criticité comportant une limite d'acceptabilité en termes de gravité et de fréquence.

Un exemple de tableau LOPA est donné ci-après.

Tableau I.6 : Exemple de compte-rendu de l'analyse LOPA [CEI 61511, 2016].

| # | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------|--|-----------------------|---|------------------|---|-------------|--|--------------------------|------------------|-------------|-----|---|--|-----|
| | | | | | PROTECTION LAYERS | | | | | | | | | |
| Impact event | Severity level/ Tolerable frequency | Initiating cause | Initiation frequency (events/yr) | Process design | BPCS | Alarms etc. | | | | | | | | |
| 1 | Reactor rupture | E 10 ⁻⁵ | Coolant H2O control fails | 10 ⁻¹ | No | No | No | PSVs 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 1 (PSVs) | Yes | 3 (Depress.) 10 ⁻³ | 10 ⁻⁵ | S-1 |
| 2 | Reactor rupture | E 10 ⁻⁵ | Agitator motor drive fails | 10 ⁻¹ | No | No | No | PSVs 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 1 (PSVs) | Yes | 3 (Depress.) 10 ⁻³ | 10 ⁻⁵ | S-1 |
| 3 | Reactor rupture | E 10 ⁻⁵ | Area wide loss of normal electrical power | 10 ⁻¹ | No | No | No | PSVs 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 1 (PSVs) | Yes | 3 (Depress.) 10 ⁻³ | 10 ⁻⁵ | S-1 |
| 4 | Reactor rupture | E 10 ⁻⁵ | Cooling water pump power failure | 10 ⁻¹ | No | No | No | PSVs 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 1 (PSVs) | Yes | 3 (Depress.) 10 ⁻³ | 10 ⁻⁵ | S-1 |
| 5 | Reactor rupture | E 10 ⁻⁵ | Double charge of initiator | 10 ⁻¹ | No | No | No | PSVs 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 1 (PSVs) | Yes | 3 (Depress.) 10 ⁻³ | 10 ⁻⁵ | S-2 |
| 6 | Reactor damage hydraulic over-pressure | S 10 ⁻⁴ | Overfill reactor, control system failure | 10 ⁻¹ | No | No | Level (400 LSH) and weigh cell (300 WTH) alarms 10 ⁻¹ | PSVs 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 1 (PSVs) | Yes | 3 (Depress.) 10 ⁻³ (SIL 1 req'd) | 10 ⁻⁶ (10 ⁻⁴ req'd) | S-2 |
| 7 | Reactor rupture | E 10 ⁻⁵ | Temp. control fails add excess steam | 10 ⁻¹ | No | No | No | PSVs 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 1 (PSVs) | Yes | 3 (Depress.) 10 ⁻³ | 10 ⁻⁵ | S-1 |
| 8 | Release of VCM | S 10 ⁻⁴ | Agitator seal fails | 10 ⁻¹ | Spot ventilation at reactor seal 10 ⁻¹ | No | No | No | 10 ⁻² | 0 | Yes | 2 (Depress.) 10 ⁻² | 10 ⁻⁴ | S-3 |

Severity level E—extensive; S—severe; M—minor (see Table F.8); Likelihood values are events per year; other numerical values are probabilities.

I.5.2.3. Domaine d'expertise

Tableau I.7 : Domaines d'expertise des différents participants à une revue LOPA [BOULAHIA, 2018].

| | |
|------------------------|---|
| Sécurité | <ul style="list-style-type: none"> -Définition des scénarios d'accidents. -Évaluation des fréquences d'occurrence des événements initiateurs. -Évaluation des conséquences et des niveaux de gravité qui y sont associés. -Évaluation de la probabilité de défaillance des barrières de sécurité. |
| Instrumentation | <ul style="list-style-type: none"> -Définition de l'architecture des fonctions instrumentées de sécurité (SIF). |

| | |
|----------------------------------|---|
| | -Évaluation de la probabilité de défaillance des SIF. -Connaissances sur les exigences des normes relatives au SIL (IEC 61508– 61511). |
| Procédé | -Connaissance du fonctionnement du procédé (permet d'identifier les dérives, définir des modes et seuils de détection, etc.). |
| Maintenance et Inspection | -Connaissance des fréquences d'inspection des équipements (données qui influent sur la fréquence d'occurrence des événements de type « perte de confinement »). -Connaissance des périodes de test pour les barrières de sécurité (données nécessaires à l'évaluation de la probabilité de défaillance des SIF). -Connaissance des temps de réparation des barrières de sécurité (données nécessaires à l'évaluation de la probabilité de défaillance des SIF). |
| Exploitation | -Connaissance du fonctionnement des installations. |

I.5.2.4. Avantage et limites de la méthode

La méthode LOPA présente plusieurs avantages :

- C'est un outil performant et efficace d'évaluation des risques et de prise de décision quant aux mesures de protection et de réduction.
- C'est un outil simple et flexible permettant de déterminer la réduction apportée par chaque mesure de réduction en lui attribuant une probabilité de défaillance.
- Elle permet de déterminer le SIL (*Safety Integrity Level : niveau d'intégrité de sécurité*) associé au SIS.
- C'est un outil d'aide à la décision quant à l'acceptabilité du risque.
- En la comparant à d'autres méthodes d'analyse des risques telles que l'arbre de défaillance, la méthode LOPA exige moins de temps et moins de coûts pour sa réalisation. Cette caractéristique lui confère la possibilité d'être appliquée à un grand nombre de scénarios qui sont quantitativement difficiles à évaluer.

Cependant, la méthode LOPA présente également des limites :

- LOPA est un outil qui ne peut pas être appliqué pour étudier tous les scénarios d'accidents surtout ceux qui présentent des combinaisons des défaillances.
- LOPA suppose l'indépendance entre les événements initiateurs et les barrières de sécurité.
- L'objectivité et l'efficacité des résultats de LOPA dépendent de la disponibilité des données, alors qu'en réalité on ne peut pas se passer des jugements d'experts et des bases de données. LOPA utilise des données sous forme de grandeurs typiques pour la fréquence de l'événement initiateur, la gravité de la conséquence et les probabilités de défaillance à la demande des couches de protection pour évaluer le risque d'un scénario. Les données sur les défaillances

utilisées devraient être représentatives de l'industrie ou du système étudié [OUAZRAOUI, 2014].

I.6. Conclusion

En résumé, la sécurité industrielle repose sur des principes rigoureux visant à prévenir les risques et à garantir la sécurité des travailleurs, des équipements et de l'environnement. Les méthodes de gestion des risques, en combinaison avec les différentes barrières de sécurité, constituent une approche proactive permettant de minimiser les dangers potentiels. Dans ce chapitre nous avons décrit deux principales méthodes utilisées dans l'évaluation des risques dans l'industrie de procédés : HAZOP et LOPA. Elles sont des outils essentiels dans cette démarche, car elles permettent d'identifier les scénarios à risque et de définir des actions de contrôle adaptées. Ainsi, la mise en œuvre de ces pratiques assure non seulement la sécurité des opérations, mais contribue également à l'amélioration continue des systèmes de gestion des risques dans le secteur industriel.

Nous allons appliquer ces deux méthodes sur un système industriel dans le quatrième chapitre.

CHAPITRE II

Les systèmes instrumentés de sécurité

II.1. Introduction

La sécurité fonctionnelle est un pilier essentiel dans les systèmes industriels complexes, visant à prévenir les risques et à garantir des opérations sûres. Ce chapitre explore les normes IEC 61508 et IEC 61511, qui établissent les lignes directrices pour la conception et la gestion des systèmes de sécurité fonctionnels. Nous aborderons également des concepts clés tels que la réduction nécessaire du risque, l'évaluation des risques et le principe ALARP (As Low As Reasonably Practicable). Enfin, nous examinerons la détermination du niveau d'intégrité de sécurité (SIL) à travers des méthodes peuvent être qualitatives telles que le graph de risque et la matrice de gravité, ou des méthodes quantitatives, suivant le contexte, les exigences des décideurs et les outils et données disponibles, permettant une allocation efficace du SIL en fonction des scénarios identifiés.

II.2. Cadre normatif relatif à la sécurité fonctionnelle : IEC61508 et IEC61511

II.2.1. Norme IEC 61508

II.2.1.1. Domaine d'application

La norme IEC 61508 [CEI 61508, 2010] est une norme internationale qui porte plus particulièrement sur les systèmes E/E/PE, c'est-à-dire les (systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables) de sécurité. La norme propose une approche opérationnelle pour mettre en place un système de sécurité E/E/PE, en partant de l'étude des exigences de sécurité (avec une définition du périmètre couvert, une analyse et une évaluation du risque) et en prenant en compte toutes les étapes du cycle de vie du système E/E/PE. Un des intérêts de cette norme est d'être générique et donc d'être applicable dans tous les secteurs où la sécurité peut être traitée avec des systèmes E/E/PE : industries manufacturières, industries des process continus, pharmaceutiques, nucléaires, ferroviaires, etc.

II.2.1.2. Structure générale de la norme

Cette norme comprend 7 parties (figure II.1), afin de couvrir les multiples aspects des systèmes E/E/PE :

- 61508-1 : Prescriptions générales.
- 61508-2 : Prescriptions propres aux systèmes E/E/PE.

- 61508-3 : Prescriptions relatives au logiciel.
- 61508-4 : Définitions et abréviations.
- 61508-5 : Exemples de méthodes pour déterminer le niveau d'intégrité de la sécurité.
- 61508-6 : Guides pour l'application des parties 2 et 3 de la norme.
- 61508-7 : Tour d'horizon des techniques et des mesures.

Signalons que la partie 6 est seulement informative. Les méthodes qui y sont données ne sont pas obligatoires.

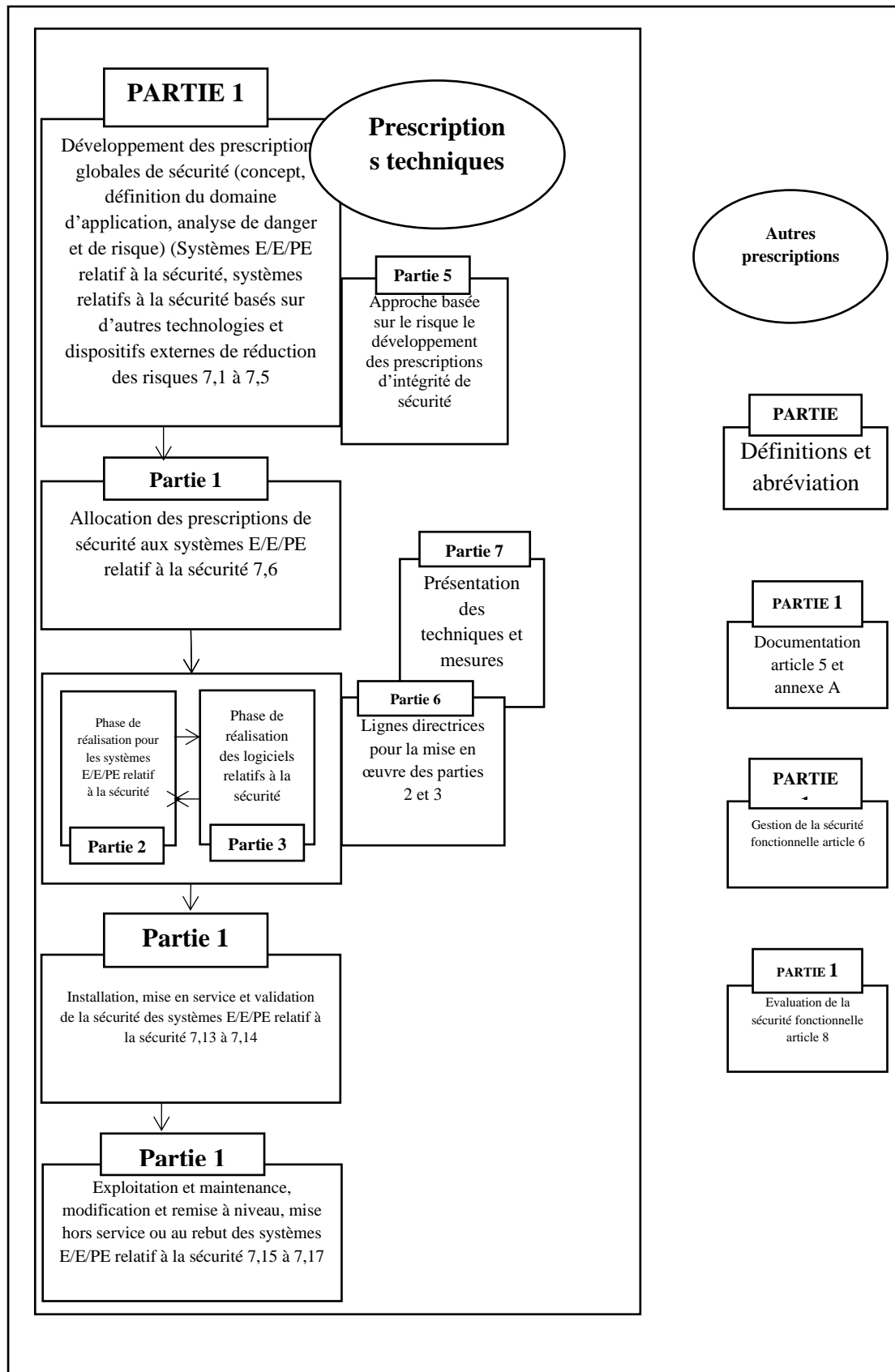


Figure II.1 : Structure générale de la norme IEC 61508 [CEI 61508, 2010]

II.2.1.3. Objectifs de la norme

L'IEC 61508 [CEI 61508, 2010] a pour but de :

- Fournir le potentiel des technologies E/E/PE pour améliorer à la fois les performances économiques et de sécurité,
- Permettre des développements technologiques dans un cadre global de sécurité,
- Fournir une approche système, techniquement saine, suffisamment flexible pour le futur,
- Fournir une approche basée sur le risque pour déterminer les performances des systèmes concernés par la sécurité,
- Fournir une norme générique pouvant être utilisée par l'industrie, mais qui peut également servir à développer des normes sectorielles (par exemple : machines, usines chimiques, ferroviaires ou médicales) ou des normes produit (par exemple : variateurs de vitesse),
- Fournir les moyens aux utilisateurs et aux autorités de réglementation d'acquiescer la confiance dans les technologies basées sur l'électronique programmable,
- Fournir des exigences basées sur des principes communs pour faciliter :
 - Une compétence améliorée de la chaîne d'approvisionnement des fournisseurs de sous-systèmes et de composants à des secteurs variés,
 - Des améliorations de la communication et des exigences (c'est-à-dire de clarifier ce qui doit être spécifié),
 - Le développement de techniques et de mesures pouvant être utilisées par tous les secteurs, augmentant de ce fait la disponibilité des ressources,
 - Le développement des services d'évaluation de la conformité si nécessaire.

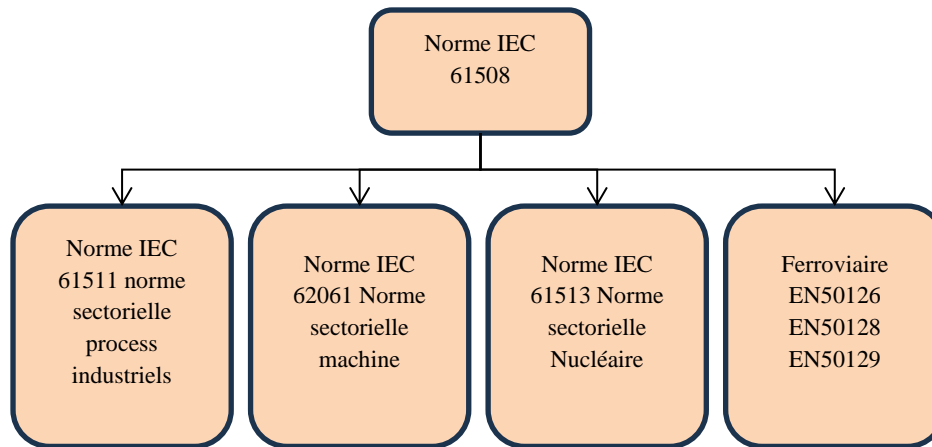


Figure II.2 : IEC 61508 et ses normes sectorielles

L'IEC 61508 [CEI 61508, 2010] est une norme assez complexe à appréhender parce qu'elle est très générale. C'est pour cela que ses concepteurs ont développé des normes sectorielles s'appliquant à des secteurs bien précis. Ces principales normes sont :

- L'IEC 61511 [CEI 61511, 2016] : Cette norme concerne les process industriels. Dans les sections suivantes, nous détaillerons les principes de cette norme.
- L'IEC 62061 [CEI 62061, 2021] : la norme IEC 62061 est une norme spécifique au secteur des machines dans le cadre de l'IEC 61508 [CEI 61508, 2010]. Elle est destinée à faciliter la spécification du fonctionnement des systèmes de commande élec triques relatifs à la sécurité par rapport aux dangers significatifs des machines. Elle donne un cadre spécifique au secteur des machines pour la sécurité fonctionnelle d'un SRECS (système de commandes électriques relatif à la sécurité de machines). Elle couvre unique ment les aspects du cycle de vie de sécurité relatifs à l'allocation des exigences de sécurité jusqu'à la validation de la sécurité.

On peut conclure que cette norme est destinée à être utilisée par les concepteurs de machines, les fabricants et les intégrateurs de systèmes de commande et autres, impliqués dans la spécification, la conception et la validation d'un SRECS.

- L'IEC 61513 [CEI 61513, 2011] : la norme IEC 61513 établit les prescriptions relatives aux systèmes et équipements d'instrumentation et de contrôle commande (systèmes d'IC) utilisés pour accomplir les fonctions importantes pour la sûreté des centrales nucléaires. Notons que les systèmes d'IC importants pour la sûreté peuvent être réalisés

à l'aide de composants traditionnels câblés, de composants informatiques ou d'une combinaison des deux.

Cette norme souligne en particulier les relations entre :

- ✓ Les objectifs de sûreté de la centrale nucléaire et les exigences relatives à l'architecture globale des systèmes d'IC importants pour la sûreté ;
- ✓ L'architecture globale des systèmes d'IC et les exigences applicables à chacun des systèmes d'IC importants pour la sûreté.

II.2.2. Norme IEC 61511

II.2.2.1. Domaine d'application

La norme IEC 61511 [CEI 61511, 2016] concerne les SIS qui sont basés sur l'utilisation d'une technologie E/E/PE. Elle permet de définir des exigences relatives aux spécifications, à la conception, à l'installation, à l'exploitation et à l'entretien d'un SIS, de telle manière qu'il puisse être mis en œuvre en toute confiance, et ainsi établir et/ou maintenir les processus dans un état de sécurité convenable. Dans le cas où d'autres technologies sont utilisées pour les unités logiques, il convient aussi d'appliquer les principes fondamentaux de cette norme. Cette norme concerne également les capteurs et les éléments terminaux des SIS, quelle que soit la technologie utilisée. Cette norme est spécifique à la production industrielle par processus dans le cadre de l'IEC 61508 [CEI 61508, 2010]. Nous pouvons ainsi conclure que l'IEC 61511 est destinée aux intégrateurs et aux utilisateurs, alors que l'IEC 61508 [CEI 61508, 2010] est une norme générique difficile à mettre en œuvre et donc destinée surtout aux fabricants et fournisseurs de systèmes E/E/PE.

II.2.2.2. Structure générale de la norme

La norme IEC 61511 [IEC 61511-1 : 2016] comprend les parties suivantes :

- Partie 1 : Cadre, définitions, exigences pour le système, le matériel et le logiciel.
- Partie 2 : Lignes directrices pour l'application de l'IEC 61511-1.
- Partie 3 : Guide pour la détermination des niveaux d'intégrité de sécurité requis

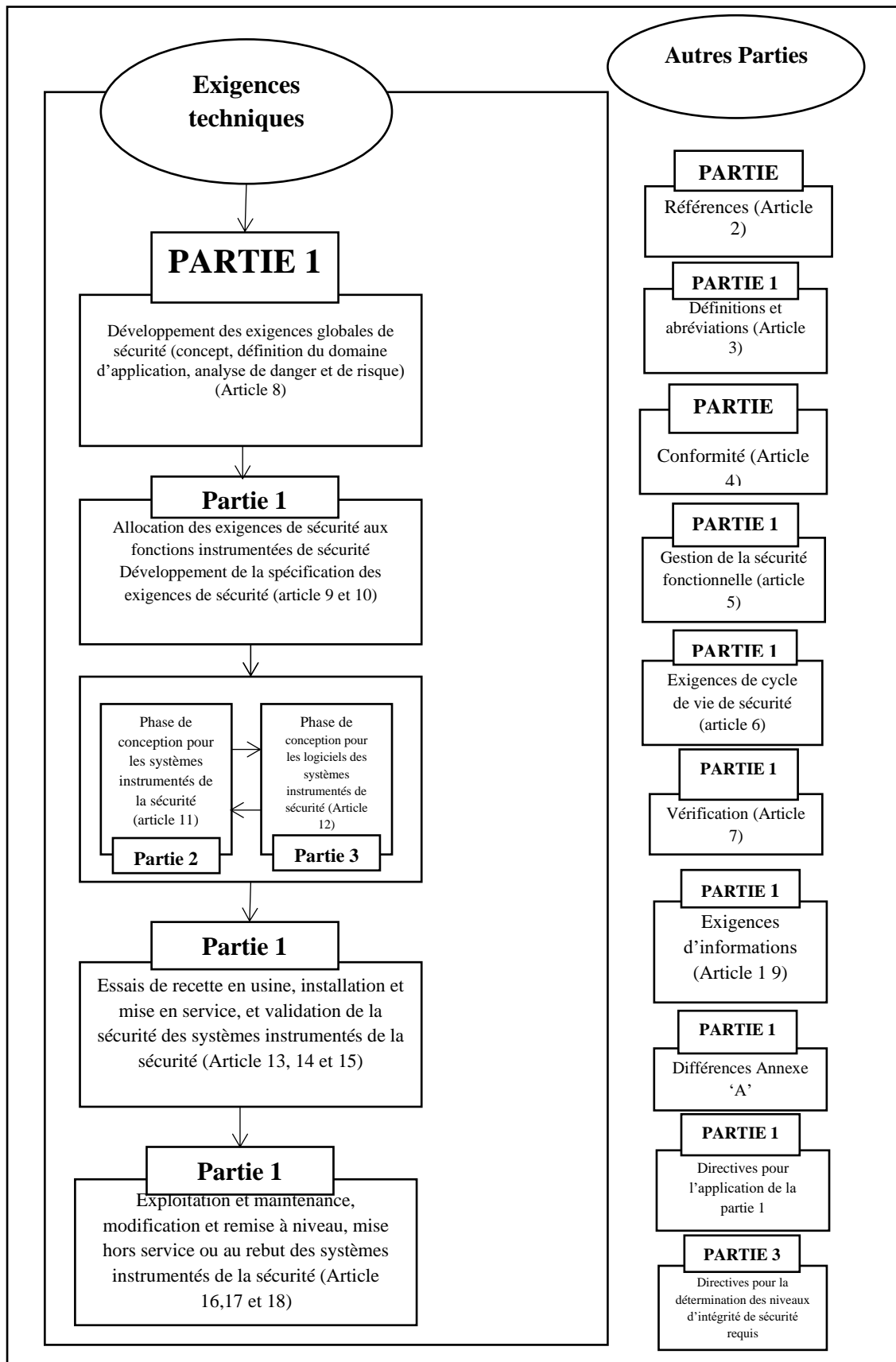


Figure II.3 : Structure générale de la norme IEC 61511 [IEC 61511-1 : 2016]

II.2.2.3. Objectifs de la norme

Cette norme présente une approche relative aux activités liées au cycle de vie de sécurité, pour satisfaire à ces normes minimales. Cette approche a été adoptée afin de développer une politique technique rationnelle et cohérente. Dans la plupart des cas, la meilleure sécurité est obtenue par une conception de processus de sécurité intrinsèques, chaque fois que cela est possible, combinée, au besoin, avec d'autres systèmes de protection, fondés sur différentes technologies (chimique, mécanique, hydraulique, pneumatique, électrique, électronique, électronique programmable) et qui couvrent tous les risques résiduels identifiés.

Pour faciliter cette approche, cette norme nécessite :

- De réaliser une évaluation des dangers et des risques pour identifier les exigences globales de sécurité ;
- D'effectuer une allocation des exigences de sécurité au(x) système(s) instrumenté(s) de sécurité ;
- D'être inscrite dans un cadre applicable à toutes les méthodes instrumentées qui permettent d'obtenir la sécurité fonctionnelle ;
- De détailler l'utilisation de certaines activités, telles que la gestion de la sécurité, qui peuvent être applicables à toute méthode permettant d'obtenir la sécurité fonctionnelle.

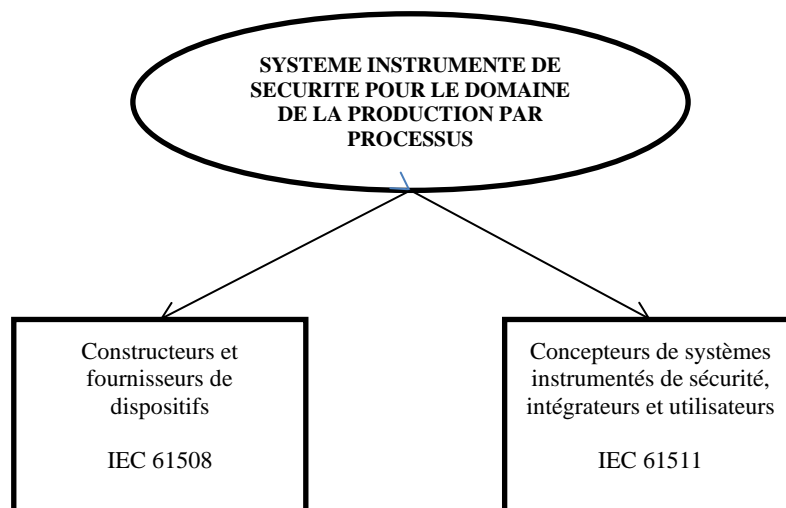


Figure II.4: Relation générale entre IEC 61508 et IEC 61511 [IEC 61511-1 : 2016]

II.3. Réduction nécessaire du risque

La réduction de risque nécessaire (qui peut être exprimée de manière qualitative ou quantitative) correspond à la réduction de risque qui doit être atteinte pour satisfaire au risque tolérable (par exemple, le niveau cible de sécurité des procédés) dans une situation donnée.

Ce concept est d'une importance fondamentale dans l'élaboration du cahier des charges de sécurité (SRS) pour la fonction instrumentée de sécurité (SIF), en particulier en ce qui concerne l'exigence d'intégrité de sécurité.

L'objectif de la détermination du risque tolérable (comme le niveau cible de sécurité des procédés) pour un événement dangereux donné est de définir ce qui est jugé raisonnable en termes à la fois de fréquence de survenue de cet événement et de ses conséquences spécifiques.

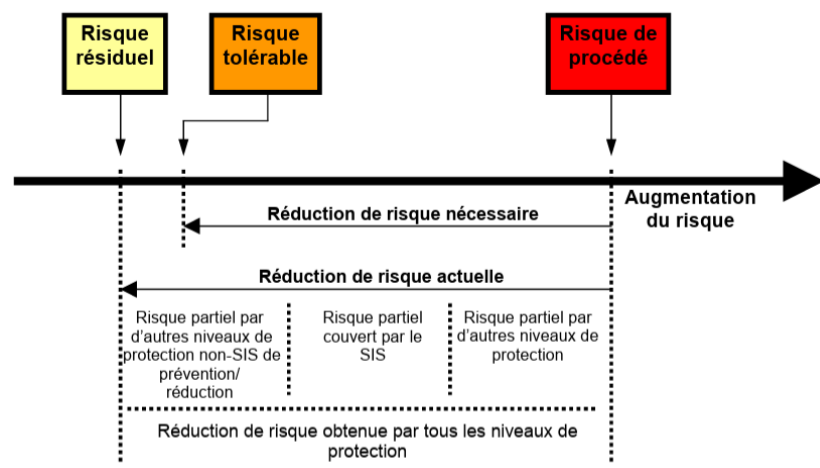


Figure II.5 : Réduction du risque : Concepts généraux [IEC 61511-3 : 2016]

Les différents types de risques indiqués dans les figures II.5 est les suivants [IEC 61511-3 : 2016] :

- **Risque de procédé** : risque existant pour les événements dangereux spécifiés liés au procédé, au système de contrôle de procédé de base (BPCS – *Basic Process Control System*) et aux facteurs humains associés, aucune fonction de protection de sécurité dédiée n'est prise en compte dans la détermination de ce risque ;
- **Risque tolérable** (par exemple, le niveau cible de sécurité des procédés) : risque accepté dans un contexte donné, sur la base des valeurs sociétales actuelles ;
- **Risque résiduel** : dans le contexte de la présente norme, le risque résiduel est le risque d'occurrence d'événements dangereux après l'ajout de couches de protection.

Le risque de procédé dépend du risque intrinsèque lié au procédé lui-même, mais prend en compte la réduction de risque apportée par le système de contrôle du procédé (BPCS).

II.4. Système de sécurité

Un système de sécurité vise à atteindre et maintenir un état de sécurité pour un équipement, une machine ou un dispositif. Ces systèmes reposent sur différentes technologies.

La norme IEC 61508 [CEI 61508, 2010] décrit les systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables (E/E/PE) basés sur un ou plusieurs dispositifs électroniques programmables.

Certains systèmes peuvent être conçus pour prévenir des pannes à conséquences économiques importantes, ce qui implique qu'à objectifs techniques comparables, il n'y a pas de réelle distinction entre un système de sécurité et un système de contrôle.

Un système E/E/PE destiné à la sécurité comprend tous les éléments nécessaires à la fonction de sécurité, depuis le capteur, l'unité logique de traitement, jusqu'à l'élément final (actionneur), en incluant les actions de l'opérateur.

Parmi les systèmes E/E/PE les plus utilisés, on trouve les Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS), chargés d'assurer la sécurité fonctionnelle d'un processus en situation de risque.

II.4.1. La sécurité fonctionnelle

Sous-ensemble de la sécurité globale se rapportant à l'équipement à protéger (EUC : Equipment Under Control) et son système de commande (BPCS : Basic Process Control System), qui dépend du fonctionnement correct des SIS (Safety Instrumented System), des systèmes relatifs à la sécurité basés sur d'autres technologies et des dispositifs externes de réduction de risque [IEC 61511-1 : 2016].

II.4.2. Définitions relatives à la sécurité fonctionnelle

II.4.2.1. Système instrumenté de sécurité (SIS)

L'abréviation « SIS » est dérivée du terme anglais développé correspondant « safety instrumented system ».

Système instrumenté utilisé pour mettre en œuvre une ou plusieurs SIF. Un SIS se compose de n'importe quelle combinaison de capteur(s), d'unité(s) logique(s) et d'élément(s) terminal(aux) (p. ex : voir figure II.6) [IEC 61511-1 : 2016].

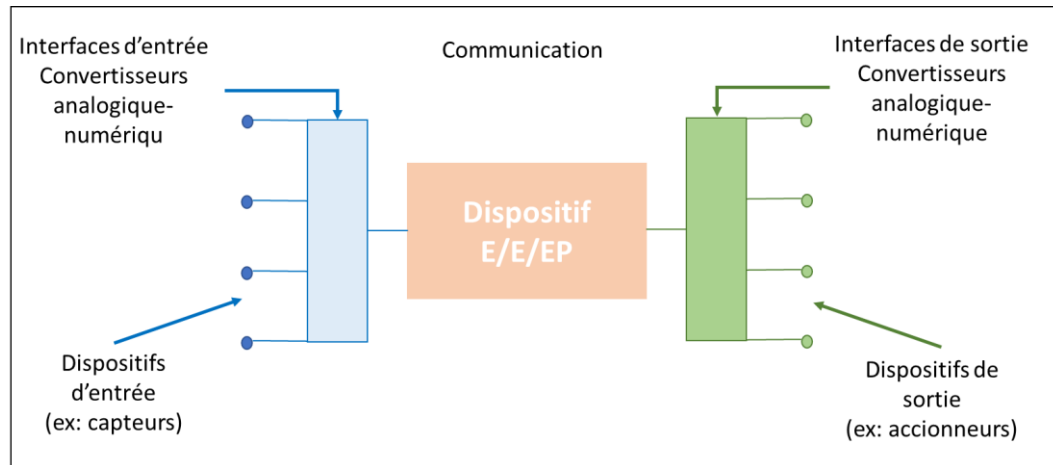


Figure II.6 : Les éléments constitutifs d'un SIS [IEC 61511-1 : 2016]

- **Capteur :** Partie du BPCS ou du SIS qui mesure ou détecte la condition du processus
- **Unité logique :** Partie d'un BPCS ou d'un SIS qui exécute une ou plusieurs fonctions logiques.

Dans l'IEC 61511, les termes suivants sont utilisés pour désigner des unités logiques :

- Systèmes logiques électriques pour la technologie électromécanique ;
- Systèmes logiques électroniques pour la technologie électronique ;
- Systèmes logiques programmables (PE) pour les systèmes électroniques programmables.
- **Élément terminal :** Partie du BPCS ou du SIS qui met en œuvre l'action physique nécessaire pour obtenir ou maintenir un état de sécurité. Des exemples sont les vannes, appareils de commutation et moteurs, comprenant leurs éléments auxiliaires (p. ex : une électrovanne et un actionneur utilisés pour faire fonctionner une vanne) [IEC 61511-1 : 2016].

II.4.2.2. Fonction instrumentée de sécurité (SIF)

L'abréviation « SIF » est dérivée du terme anglais développé correspondant « safety instrumented function ».

La fonction de sécurité devant être mise en œuvre par un système instrumenté de sécurité (SIS). Une SIF est conçue pour atteindre un SIL exigé qui est déterminé par rapport aux autres couches de protection participant à la réduction du même risque. L'abréviation « SIF » est dérivée du terme anglais développé correspondant « safety instrumented function » [IEC 61511-1 : 2016].

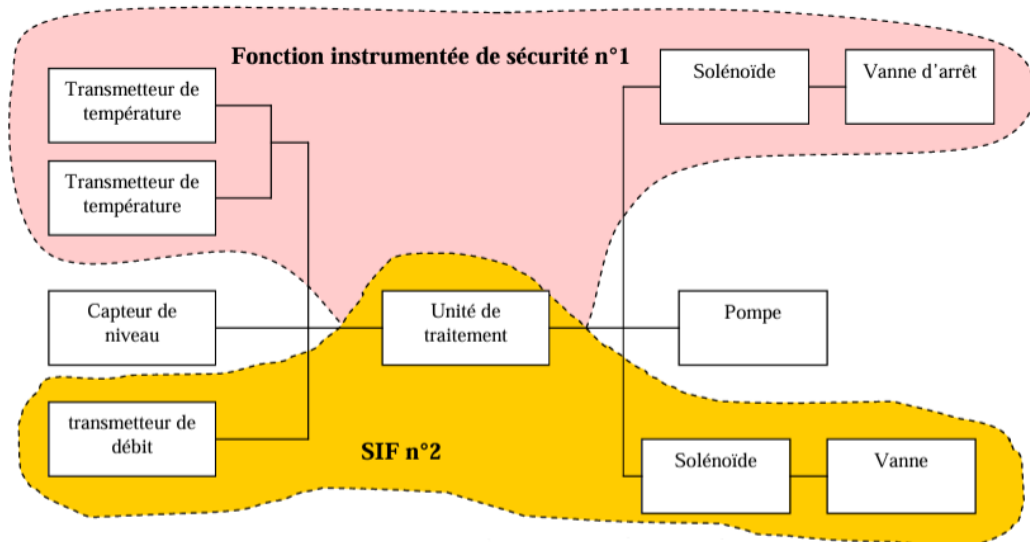


Figure II.7 : Fonction instrumentée de sécurité [Mkhida, 2008].

II.4.2.3. Couche de protection

Tout mécanisme indépendant réduisant le risque par contrôle, prévention ou atténuation. Il peut s'agir d'un mécanisme d'ingénierie de processus, tel que la taille des cuves contenant des produits chimiques dangereux, un mécanisme de génie mécanique, tel qu'une soupape de sécurité, un SIS ou une procédure administrative, telle qu'un plan de secours contre un danger imminent [IEC 61511-1 : 2016].

II.4.2.4. Equipement sous contrôle (EUC)

Équipement, machines, appareils ou installations utilisés pour la fabrication, le traitement, le transport, les activités médicales ou autres.

II.4.2.5. Système de commande de processus de base (BPCS)

Système qui répond aux signaux d'entrée provenant du processus, de ses équipements associés, d'autres systèmes programmables et/ou des opérateurs, et qui génère des signaux de

sortie faisant fonctionner le processus et ses équipements associés de la manière souhaitée, mais qui n'exécute aucune fonction instrumentée de sécurité (SIF) [IEC 61511-1 : 2016].

Un BPCS peut habituellement mettre en œuvre différentes fonctions (p. ex : fonctions de commande de processus, surveillance, et alarmes) [IEC 61511-1 : 2016].

II.4.2.6. Intégrité de sécurité

Probabilité pour qu'un système relatif à la sécurité (SRS) exécute de manière satisfaisante les fonctions de sécurité requises dans toutes les conditions spécifiées et pour une période de temps spécifiée [CEI 61508-4].

- *Intégrité de sécurité du matériel* : partie de l'intégrité de sécurité des systèmes relatifs à la sécurité (SIS) liée aux défaillances aléatoires du matériel en mode de défaillance dangereux → peut être quantifiée (traitement quantitatif).
- *Intégrité de sécurité systématique* : partie de l'intégrité de sécurité des systèmes relatifs à la sécurité (SIS) qui se rapporte aux défaillances systématiques dans un mode de défaillance dangereux → n'est pas quantifiable (traitement qualitatif).

II.4.2.7. Niveau d'intégrité de sécurité SIL

L'abréviation « SIL » est dérivée du terme anglais développé correspondant « safety integrity level ».

Niveau discret (parmi quatre possibles) affecté à la SIF permettant de spécifier les exigences concernant l'intégrité de sécurité devant être réalisées par le SIS. Plus le SIL est élevé, plus la PFD_{avg} attendue en mode sollicitation ou la fréquence moyenne d'une défaillance dangereuse causant un événement dangereux en mode continu est faible. Les relations entre le niveau objectif de défaillances et le SIL sont donnés dans les tableau II.1. Le SIL 4 possède le plus haut niveau d'intégrité de sécurité ; le SIL 1 possède le niveau le plus bas [IEC 61508-4 : 2010].

Tableau II.1 : Les différents niveaux de SIL définis par la norme IEC 61511 [IEC 61511-1 : 2016].

| Sollicitation | Facteur de Réduction de risque | Système faiblement sollicité | Système fortement sollicité ou en fonctionnement continu |
|---------------------|--------------------------------|--|--|
| Niveau objectif SIL | | PFD_{avg} Probabilité moyenne de défaillance | PFH Fréquence moyenne de défaillance par heure |
| 4 | De 10001 à 100000 | $10^{-5} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-4}$ | $10^{-9} \leq \text{PFH} < 10^{-8}$ |
| 3 | De 1001 à 1000 | $10^{-4} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-3}$ | $10^{-8} \leq \text{PFH} < 10^{-7}$ |
| 2 | De 101 à 1000 | $10^{-3} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-2}$ | $10^{-7} \leq \text{PFH} < 10^{-6}$ |
| 1 | De 10 à 100 | $10^{-2} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-1}$ | $10^{-6} \leq \text{PFH} < 10^{-5}$ |

II.4.2.8. Spécification des exigences de sécurité SRS

L'abréviation « SRS » est dérivée du terme anglais développé correspondant « safety requirements specification ».

Spécification qui contient les exigences fonctionnelles pour les SIF et leurs niveaux d'intégrité de sécurité associés [IEC 61508-4 : 2010].

II.4.3. Modes de Fonctionnement d'une SIF

Manière dont fonctionne une SIF qui peut être le mode à faible sollicitation, le mode à sollicitation élevée ou le mode continu :

a) *mode à faible sollicitation* : mode de fonctionnement dans lequel la SIF n'est réalisée que sur sollicitation, afin de faire passer le processus dans un état de sécurité spécifié, et où la fréquence des sollicitations n'est pas supérieure à une par an.

b) *mode à sollicitation élevée* : mode de fonctionnement dans lequel la SIF n'est réalisée que sur sollicitation, afin de faire passer le processus dans un état de sécurité spécifié, et où la fréquence des sollicitations est supérieure à une par an.

c) *mode continu* : mode de fonctionnement dans lequel la SIF maintient le processus dans un état de sécurité en fonctionnement normal [IEC 61511-1 : 2016].

II.4.4. Cycle de vie de sécurité du SIS

Activités nécessaires à la mise en œuvre de SIF, se déroulant au cours d'une période de temps, qui commence à la phase de conception d'un projet et se termine lorsque toutes les SIF ne sont plus disponibles à l'utilisation.

Le modèle de cycle de vie de sécurité du SIS utilisé dans l'IEC 61511 est donné par la figure II.8.

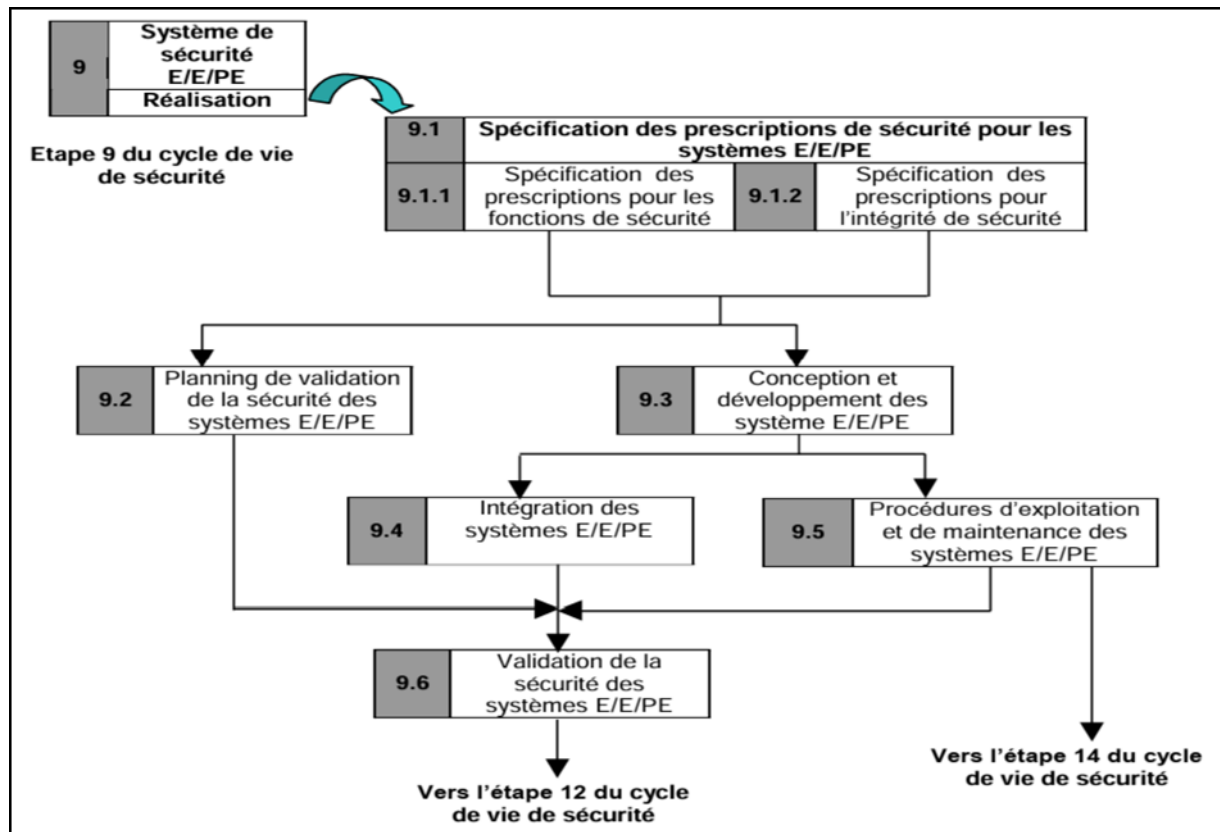


Figure II.8 : Phase 9 du cycle de vie (réalisation des SIS) [IEC 61511-1 : 2016]

II.5. Evaluation du risque et détermination du niveau d'intégrité de sécurité

Dans cette section, l'évaluation du risque liée à l'intégrité de sécurité est abordée à travers une approche spécifique recommandée par la norme IEC 61511, visant à atteindre un niveau de risque tolérable.

Le principe ALARP, en usage au Royaume-Uni, peut être pris en compte lors de cette démarche, notamment pour déterminer le risque acceptable ainsi que le niveau d'intégrité de sécurité (SIL). Il s'agit d'un concept d'aide à la décision, mais non d'une méthode de détermination du SIL en tant que telle [IEC 61511-3 : 2016].

II.5.1. Risque tolérable et concept ALARP

II.5.1.1. Concept ALARP

Le principe ALARP recommande que les risques soient réduits « dans la mesure où cela est raisonnablement possible », c'est-à-dire à un niveau aussi bas que raisonnablement praticable (ALARP : *As Low As Reasonably Practicable*).

Lorsqu'un risque se situe entre deux extrêmes (la région inacceptable et la région globalement acceptable) et que le principe ALARP a été appliqué, alors le risque résultant est considéré comme tolérable pour cette application spécifique.

Selon cette approche, un risque est classé dans l'une des trois régions suivantes : inacceptable, tolérable ou globalement acceptable (voir figure II.9).

Au-delà d'un certain seuil, un risque est considéré comme inacceptable. Un tel risque ne peut être justifié dans des circonstances ordinaires. S'il existe, il doit être réduit pour qu'il entre dans la région tolérable ou globalement acceptable, ou bien le danger associé doit être éliminé.

En dessous de ce seuil, un risque est considéré comme tolérable à condition qu'il ait été réduit jusqu'au point où les avantages obtenus par une réduction supplémentaire du risque sont inférieurs aux coûts nécessaires pour la réaliser, et à condition que des normes généralement acceptées aient été appliquées pour maîtriser le risque. Plus le risque est élevé, plus on s'attendra à ce que des efforts (financiers ou techniques) importants soient déployés pour le réduire. Un risque réduit de cette manière est considéré comme ayant été ramené à un niveau aussi bas que raisonnablement possible (ALARP).

En dessous de la région tolérable, les niveaux de risque sont considérés comme si faibles que le régulateur n'a pas à exiger d'améliorations supplémentaires. Il s'agit de la région globalement acceptable, où les risques sont minimales en comparaison avec ceux que nous rencontrons dans la vie quotidienne.

Dans cette région, il n'est pas nécessaire de démontrer en détail l'application du principe ALARP ; toutefois, il est important de rester vigilant pour s'assurer que le risque demeure à ce niveau [IEC 61511-3 : 2016].

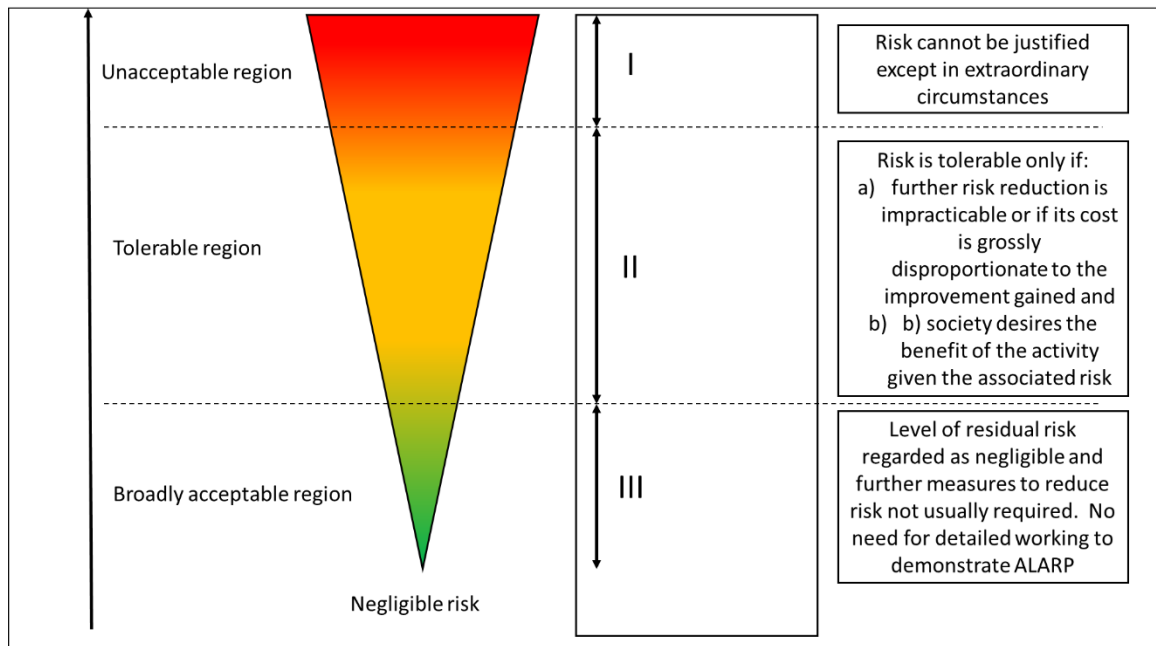


Figure II.9 : *Risque tolérable et ALARP [IEC 61511-3 : 2016]*

Le concept d'ALARP peut être utilisé lorsque des objectifs de risque qualitatifs ou quantitatifs sont adoptés. Le sous-paragraphe II.5.1.2 présente une méthode basée sur des objectifs de risque quantitatifs. Le paragraphe II.6 décrit deux méthodes qualitatives et des méthodes quantitatives pour déterminer la réduction de risque nécessaire pour un danger spécifique. Les méthodes indiquées peuvent intégrer le concept d'ALARP dans le processus de prise de décision.

II.5.1.2. Estimation du risque tolérable

Les risques identifiés doivent être estimés en gravité et en probabilité.

La détermination de la gravité se rapporte à l'évaluation des conséquences à partir de l'intensité des effets, et de la vulnérabilité du voisinage.

La détermination de la probabilité se fait à partir des éléments fournis par diverses bases de données par combinaison des probabilités des événements causals, des situations circonstancielles, ...

Pour appliquer le principe ALARP, il est nécessaire de définir les trois régions de la figure II.9 en termes de probabilité et de conséquence d'un incident. Cette définition doit résulter d'une discussion et d'un accord entre les parties concernées (par exemple, les autorités de réglementation de la sécurité, les entités générant les risques et celles exposées à ces risques).

Afin de prendre en compte les concepts d'ALARP, l'association d'une conséquence à une fréquence tolérable peut se faire à l'aide de classes de risque. Le tableau II.4 présente un exemple comportant trois classes de risque (I, II, III), correspondant à plusieurs niveaux de conséquences et de fréquences [IEC 61511-3 : 2016].

Le tableau II.2 interprètes chacune de ces classes de risque en appliquant le concept ALARP, c'est-à-dire que les descriptions de chacune des quatre classes de risque sont basées sur la figure II.9. Les risques décrits dans ces définitions de classes sont ceux qui subsistent après la mise en œuvre de mesures de réduction du risque.

En lien avec la figure II.9, les classes de risque sont définies comme suit [IEC 61511-3 : 2016] :

- La **classe de risque I** se situe dans la région **inacceptable** ;
- La **classe de risque II** se situe dans la région **ALARP** ;
- La **classe de risque III** se situe dans la région **globalement acceptable**.

Pour chaque situation spécifique ou chaque sous-secteur industriel, un tableau similaire au tableau II.2 devrait être élaboré, en tenant compte d'un large éventail de facteurs sociaux, politiques et économiques.

Chaque conséquence serait associée à une probabilité, et le tableau serait rempli à l'aide des différentes classes de risque.

Par exemple, le terme probable dans le tableau II.2 pourrait désigner un événement susceptible de se produire à une fréquence supérieure à 10 fois par an.

Une conséquence critique pourrait correspondre à un décès isolé et/ou à plusieurs blessures graves ou maladies professionnelles sévères.

Une fois l'objectif de risque tolérable déterminé, il devient alors possible de déterminer le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) d'une fonction instrumentée de sécurité (SIF) en utilisant, par exemple, l'une des méthodes décrites dans le paragraphe II.6 [IEC 61511-3 : 2016].

Tableau II.2 : Exemple de classification de risques [IEC 61511-3 : 2016]

| Probabilité | Classes de risque | | | |
|--------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|
| | Conséquence catastrophique | Conséquence critique | Conséquence marginale | Conséquence négligeable |
| Fréquent | I | I | I | II |
| Probable | I | I | II | II |
| Occasionnel | I | II | II | II |
| Peu fréquent | II | II | II | III |
| Improbable | II | III | III | III |
| Non crédible | III | III | III | III |

Tableau II.3 : Interprétation des classes de risques [IEC 61511-3 : 2016]

| Classes de risque | Interprétation |
|-------------------|--|
| Classe I | Risque intolérable |
| Classe II | Risque indésirable, tolérable uniquement si la réduire du risque ou si le coût de la réduction sont largement disproportionnés par rapport à l'amélioration possible |
| Classe III | Risque négligeable |

II.6. Les méthodes d'allocation des SIL

L'allocation des SIL est établi à partir de certaines méthodes permettant de définir le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) requis pour une fonction de sécurité. C'est le SIL qui doit être atteint par un SIS afin de réaliser la réduction nécessaire du niveau de risque. La section suivante donne un aperçu des méthodes, telles que présentées dans les normes CEI 61508 et CEI 61511, de détermination du niveau d'intégrité de sécurité (SIL) correspondant à un phénomène dangereux spécifié (scénario d'accident) lors de la phase d'analyse des risques. Elles sont plus ou moins adaptées en fonction du niveau de détail des analyses de risques réalisées (type et détail des informations disponibles). La CEI 61508, dans sa partie 5, et la CEI 61511 décrivent deux types de méthodes : qualitatives et quantitatives.

II.5.1. Les méthodes qualitatives

La norme CEI 61508 reconnaît qu'une approche quantitative pour déterminer le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) d'une fonction instrumentée de sécurité (SIF) n'est pas toujours possible et qu'une approche alternative pourrait parfois être appropriée. Cette alternative

consiste en un jugement qualitatif. Quand une méthode qualitative est adoptée, un certain nombre de paramètres de simplification doivent être introduits. Ils permettent de qualifier le phénomène dangereux (accident) en fonction des connaissances disponibles. Les normes CEI 61508 et 61511 présentent deux méthodes qualitatives. Le graphe de risque conventionnel et la Matrice de gravité (matrice de risque, matrice des couches de protection) [BOULAHIA, 2018].

II.5.1.1. Graphe de risque

Il s'agit d'une méthode qualitative qui permet de déterminer le niveau d'intégrité de sécurité d'une fonction instrumentée de sécurité à partir de la connaissance des risques associés au procédé et au système de conduite de procédé de base.

Le risque est défini comme étant une combinaison de la probabilité d'occurrence d'un dommage et de la gravité de ce dommage. En général, dans le secteur des process continus, le risque est une fonction des quatre paramètres suivants [Fae, Durka, 2000] :

Tableau II.4 : Paramètres de risques relatifs au danger selon la norme IEC 61511.

| Paramètre | | Description |
|---|---|---|
| Conséquence | C | Nombre d'accidents mortels et/ou de blessures graves pouvant résulter de l'occurrence de l'événement dangereux. Déterminé en calculant les nombres d'accidents dans la zone exposée lorsque celle-ci est occupée en tenant compte de la vulnérabilité à l'événement dangereux. |
| Occupation | F | Probabilité que la zone exposée soit occupée. Déterminée en calculant la fraction de temps d'occupation de la zone. Il convient de prendre en compte la possibilité d'une probabilité accrue de personnes se trouvant dans la zone exposée afin de rechercher les situations anormales pouvant exister lors de la progression vers l'événement dangereux. |
| Probabilité d'éviter le phénomène dangereux | P | Probabilité que des personnes exposées peuvent éviter la situation de phénomène dangereux qui existe si la fonction instrumentée de sécurité échoue à la sollicitation. Dépend s'il existe des méthodes indépendantes d'alerte des personnes exposées au phénomène dangereux et s'il existe des moyens pour y échapper. |
| Taux de demande | W | Nombre de fois par an que l'événement dangereux se produit si aucun système instrumenté de sécurité n'a été adapté. Peut être déterminé en considérant toutes les défaillances pouvant générer l'événement dangereux et en estimant le taux global d'occurrence. |

L'affectation de valeurs numériques aux paramètres du (tableau II.4) constitue la base de l'évaluation du risque de procédé qui existe en l'absence de la fonction instrumentée de sécurité concernée.

Le graphe ou diagramme de risque (figure II.10) associe des combinaisons particulières des paramètres de risque aux niveaux d'intégrité de sécurité. La relation entre les combinaisons des paramètres de risque et les niveaux d'intégrité de sécurité est établie en prenant en compte le risque tolérable associé à des phénomènes dangereux spécifiques.

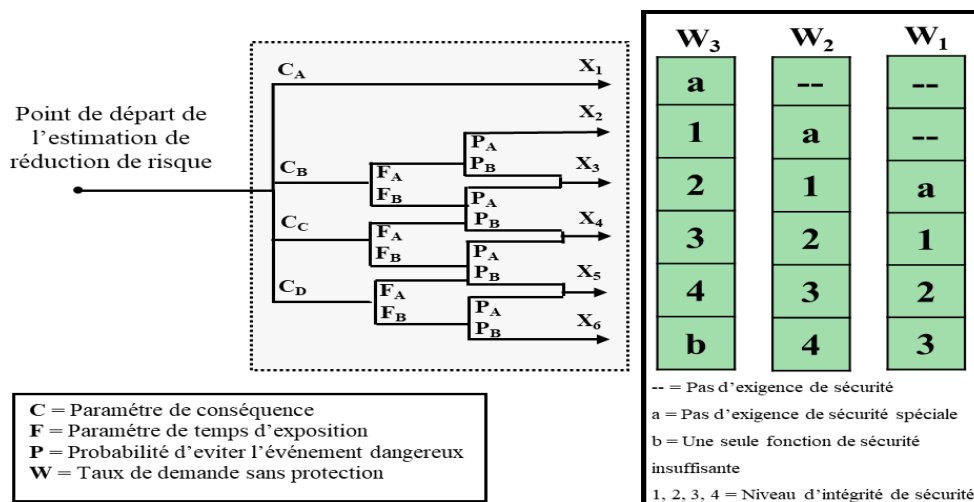


Figure II.10 : Schéma général de graphe de risque selon la norme IEC 61511.

A l'aide de ce graphe de risque, la fonction de sécurité à implanter pour prévenir un danger de faible probabilité sera réalisée en tenant compte des exigences relatives au SIL1.

Un exemple de classification des paramètres du graphe de risques est montré au (tableau II.5).

Tableau II.5 : Légende de la classification des paramètres de risques selon la norme IEC 61511.

| Paramètre | | Classification |
|--|----------------|------------------------------|
| Gravité des Conséquences | C _A | Blessure mineure |
| | C _B | Blessure sérieuse ou victime |
| | C _C | Plusieurs victimes |
| | C _D | Grand nombre de victimes |
| Temps d'exposition (Occupation) | F _A | Rare |
| | F _B | Fréquent |
| Probabilité d'éviter le phénomène dangereux | P _A | Possible |
| | P _B | Invraisemblable |
| Probabilité d'apparition d'un accident (Taux de demande) | W ₁ | Très faible probabilité |
| | W ₂ | Faible probabilité |

| | | |
|--|----------------------|-------------------|
| | W₃ | Forte probabilité |
|--|----------------------|-------------------|

Dans cet exemple tiré de [Goble, 1998], les conséquences portent uniquement sur l’atteinte à la vie de personnes. La prise en compte des dégâts matériels et de dommages causés à l’environnement nécessite l’utilisation de graphes additionnels.

II.5.1.2. Matrice de gravité des événements dangereux

La matrice de gravité de risques intègre plusieurs fonctions instrumentées de sécurité sous réserve de leur indépendance contrairement à la méthode de graphe de risque qui ne prend qu’une fonction instrumentée de sécurité. Les trois composantes de la matrice sont la gravité des conséquences, la probabilité de l’occurrence des accidents et le nombre de dispositifs de sécurité déjà mis en place pour empêcher le développement du danger en accident [Mkhida, 2008].

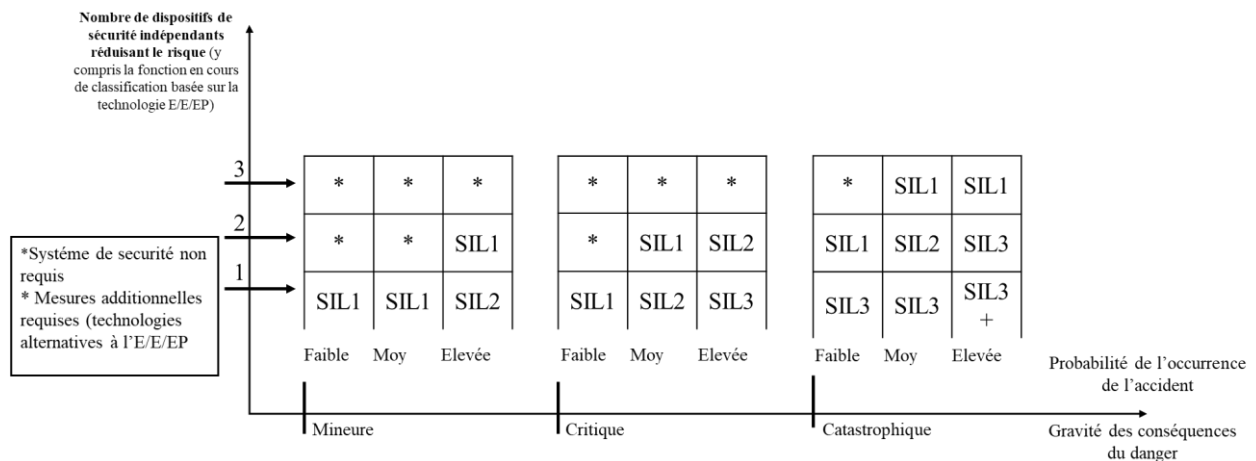


Figure II.11 : Exemple de matrice de gravité des événements dangereux selon la norme CEI 61508 [CEI 61508].

L’exemple représenté sur la (figure II.11) est tiré de la norme CEI 61508. Suivant la mise à disposition d’un dispositif de sécurité permettant la prévention d’un danger d’occurrence faible et dont les conséquences sont critiques, le niveau d’intégrité de la fonction de sécurité sera réalisé en tenant compte des exigences relatives au SIL 1.

II.5.2. Les méthodes quantitatives

Ces méthodes sont les plus rigoureuses et les plus précises. L’estimation quantitative de la fréquence de l’événement dangereux (redouté) en constitue la base. La mise en œuvre d’une méthode quantitative nécessite les éléments suivants :

- La mesure cible de sécurité (fréquence tolérable d'accident : F_t)
- La fréquence de l'événement initiateur : F_{EI} ,
- Les probabilités moyennes de défaillances des couches de protection : PFD_{moy}

La matrice de risque spécifie une zone d'acceptation du risque dans un tableau de criticité (tableau II.2), cette matrice permet l'analyse d'un événement dangereux compte tenu de sa fréquence d'occurrence et de la gravité de ses conséquences. A l'aide du tableau de criticité, le risque R_{np} (la notation np désignant not protected, est reprise de la norme CEI 61508 est évalué selon la combinaison du niveau de gravité G de l'événement dangereux avec la fréquence F_{np} liée à la demande de la fonction de sécurité empêchant la situation dangereuse. La réduction relative du risque est évaluée par la relation [Kosmowski, 2006] :

$$PFD_{avg} = F_t / F_{np} = R_t / R_{np}$$

Où F_t est la fréquence cible (spécifiée pour le niveau du risque tolérable) et R_t est le risque tolérable.

La détermination du niveau d'intégrité de sécurité dépend de la réduction de risque nécessaire pour atteindre le risque tolérable. Dans le contexte de prévention du risque, la fonction instrumentée de sécurité diminue la fréquence d'occurrence de l'événement dangereux pour réduire le risque. Dans ce cas elle doit, au minimum, ramener la fréquence F_{np} à F_t (fréquence de risque tolérable).

La relation précédente peut s'écrire donc :

$$PFD_{avg} \leq F_t / F_{np}$$

Les étapes nécessaires pour l'obtention du niveau d'intégrité de sécurité sont les suivantes [Kosmowski, 2006] :

- La détermination de la fréquence F_{np} (relative au procédé sans addition de mesures de protection),
- La détermination de la conséquence (N) sans addition des mesures de protection. La conséquence N est donnée par la relation : $R_{np} \cdot F_{np} = N$,
- La détermination par l'utilisation de la matrice de risques (tableau II.2) si le risque tolérable est atteint pour la fréquence F_{np} et la conséquence N . Si ceci mène à la classe de risque I, alors la réduction de risque est exigée. La classe de risque III concerne le

risque acceptable. La classe de risque II exigera davantage de recherche (utilisation du concept ALARP),

- La détermination de la probabilité de défaillance sur demande PFD_{avg} pour le système instrumenté de sécurité pour atteindre la réduction du risque nécessaire pour la conséquence donnée de la situation considérée,
- Pour l'évaluation de la PFD_{avg} , le niveau d'intégrité de sécurité peut être déterminé à partir du (tableau II.1) Par exemple si $10^{-3} < PFD_{avg} < 10^{-2}$ alors le niveau d'intégrité de sécurité est SIL2.

II.7. Conclusion

En conclusion, les normes IEC 61508 et IEC 61511 offrent un cadre essentiel pour assurer la sécurité fonctionnelle dans les systèmes industriels. L'évaluation et la réduction des risques, en tenant compte du principe ALARP, permettent de garantir que les systèmes sont conçus pour minimiser les risques à un niveau acceptable.

La détermination du niveau d'intégrité de sécurité (SIL) et l'utilisation des méthodes qualitatives d'allocations du SIL comme le graphe de risque et matrice de gravité ou des méthodes quantitatives, sont des outils incontournables pour la gestion efficace de la sécurité, contribuant ainsi à un environnement de travail plus sûr et à une meilleure fiabilité des installations industrielles.

CHAPITRE III

Présentation du complexe RA1K et du ballon de reflux GPL V-8

III.1. Introduction

Notre stage pratique a eu lieu au niveau de la raffinerie de SKIKDA. La variété des produits raffinés et leurs natures (GPL, bitumes, aromatiques ; des paraxylènes et des carburants...) font de cette entreprise un lieu de travail à haut risque.

L'activité de raffinage du pétrole est l'une des principales activités du groupe Sonatrach.

Dans ce chapitre, nous présenterons brièvement le complexe RA1K avec leurs unités, avec une description détaillée du ballon V-8 (ballon de reflux du GPL) et une brève description du GPL et ces caractéristiques, les risques et les phénomènes liés à la stabilisation du GPL dans un ballon de reflux est également abordée.

III.2. Généralités sur le GPL

III.2.1. Définition du GPL

Le gaz du pétrole liquéfié appelé communément GPL; est un mélange gazeux composé essentiellement du butane et du propane à la température ambiante et à la pression atmosphérique, mais il peut demeurer à l'état liquide sous des pressions relativement basse (4 à 18 atmosphère) , ceci présente l'intérêt de stocker une importante quantité d'énergie dans un volume réduit , ce qui permet de le transporter plus facilement que les gaz non condensable (méthane, éthane) qui exigent des pressions très élevées.

III.2.2. Sources de GPL

Les GPL peuvent être obtenus à partir de diverses sources de traitement des hydrocarbures tels que :

L'extraction du gaz naturel et du pétrole brut

- Le raffinage du pétrole brut
- La liquéfaction du gaz naturel (GNL)
- La récupération à partir de la liquéfaction des gaz associés (champs pétroliers).

En Algérie, la majeure partie des GPL provient des champs pétroliers 79% ; 10 % est produit au niveau des raffineries et 11 % dans les complexes de gaz naturel.

III.2.3. La composition du GPL

Tableau III.1 : Composition du GPL.

| La composition du GPL | Pourcentage (%) |
|-----------------------|-----------------|
| Ethane | 1,367 |
| Propane | 69,42 |
| Isobutane | 5,36 |
| N-butane | 22,15 |
| Isopentane | 0,32 |
| N-pentane | 0,08 |

III.2.4. Caractéristique du GPL

- **Densité** : dans l'état gazeux il plus lourd que l'air : La densité du propane est de 0.51 et celle du butane est d 0.58.
- **Dilatation** : à l'état liquide, il a un coefficient de dilatation dont il faut tenir compte lors leur stockage, car les sphères ne doivent jamais être remplies complètement.
- **Tension de vapeur** : Soumis à des températures supérieures à leur point d'ébullition, le propane et le butane ne peuvent être amenés à l'état liquide sous pression ou par réfrigération Le GPL à une tension de vapeur à 20°C égale à :
 - Pour le butane : 2 bars
 - Pour le propane : 8 bars.
- **Température d'ébullition** : A la pression atmosphérique, la température d'ébullition du butane est de 30.6 °C et celle du propane est de 340 °C.
- **Les limites d'Explosivité** (en volume dans l'air) :
 - **LIE** (Limite Inférieure d'Explosivité) : 1,8 %
 - **LSE** (Limite Supérieure d'Explosivité) : 9,5 %
- **Impuretés** : Le GPL produit au niveau des différents champs doit répondre aux spécifications suivantes : Teneur en gaz sec inférieure ou égale à 3 % mol. Teneur en condensât inférieure ou égale à 0.4 % mol.
- **Odeur et couleur** : Le GPL est incolore, soit à l'état vapeur ou liquide et pratiquement inodore. Pour des raisons de sécurité un odorant doit être ajoute pour la détection des fuites. Cet odorant est à base de soufres appelés Mercaptans.

- **Toxicité** : Le GPL s'enflamme dans l'air, il émet un gaz considéré comme toxique. Le gaz en question dénommé le monoxyde de carbone est formé suite à une combustion.

Le GPL n'a aucune propriété de lubrification, ce qui doit être pris en considération lors de la conception des équipements pour GPL (pompes et compresseurs).

- **Pouvoir calorifique** : C'est la propriété la plus intéressante étant donné que le GPL est traditionnellement utilisé pour les besoins domestiques :
 - Iso-butane: PC = 29460 (kcal/kg).
 - Normal butane: PC = 29622 (kcal/kg).
 - Propane: PC = 22506 (kcal/ kg).

III.2.5. Utilisation du GPL

Les principaux domaines d'utilisation du GPL sont :

- Comme combustible : Cuisine, production d'eau chaude ou chauffage, livré par les distributeurs sous forme liquide, en bouteilles ou en vrac. Dans certains cas, les clients sont alimentés à partir de réseaux propane ou d'air propane ou butane comme en Corse. Il est utilisé par des particuliers ou des industriels comme gaz de combustion.
- Comme carburant : Le GPL/C, dont la composition diffère d'une région à une autre, est un carburant qui est utilisé dans des nombreux pays dans le monde, essentiellement en Amérique, en Europe et dans le sud asiatique.
- Domaine pétrochimique : La demande pétrochimique globale du GPL enregistre un taux de croissance de l'ordre de 10 %. Il est utilisé dans ce domaine comme charge de vapocraqueur à fin d'obtenir des oléfines. Le butane et le propane qui ont obtenu par la séparation du GPL utilisés pour la déshydrogénation dans la production du propylène qui vont servir comme matière première pour la synthèse des caoutchoucs.
- GPL dans la climatisation : Il est utilisé pour la construction des réfrigérateurs et des climatiseurs (moyenne capacité) grâce à sa détente d'absorption de la chaleur et de créer le froid.
- Source d'énergie domestique : Actuellement de nombreux appareils de cuisson et de chauffage, sont conçus de manière à s'adapter à l'utilisation des GPL.

III.2.6. Les risques des GPL

On cite quelques risques qui ont été signalés dans l'industrie gazière :

- Les GPL sont fréquemment stockés à l'état liquide sous pression, la fuite du liquide peut, par évaporation rapide, donner un grand volume de gaz inflammable.
- La limite inférieure d'inflammabilité du gaz approximativement à 2% du volume du gaz dans l'air. Une petite portion de gaz dans l'air peut donner un mélange inflammable qui peut être enflammé par un élément chaud ou une étincelle à distance d'un point de fuite.
- Les GPL liquides par évaporation peuvent causer des brûlures sévères, des vêtements de protection doivent être portés (gants, lunettes) [HAMMADI *et al*, 2019].

III.2.7. Les phénomènes liés à la stabilisation du GPL dans un ballon de reflux

III.2.7.1. L'incendie

L'incendie est une combustion qui se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace, contrairement au feu qui est une forme de combustion maîtrisée. Le processus de combustion est une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant, cette réaction nécessitant une source d'énergie, l'absence d'un des 3 éléments empêche le déclenchement de la combustion [ENSPM, 2009].

III.2.7.2. UVCE (explosion d'un nuage de gaz en atmosphère libre)

Un UVCE est une explosion d'un nuage de vapeur provoquée par l'inflammation d'un nuage de gaz/vapeur inflammable mélangé avec de l'air dans un environnement ouvert (par exemple à l'air libre). L'UVCE génère des effets thermiques et des effets de pression. Les dangers d'explosion et d'incendies peuvent être présents simultanément. Les effets thermiques peuvent entraîner des brûlures, la propagation progressive de l'incendie vers des tiers, etc.

Les effets de l'UVCE sont multiples :

- Une boule de feu qui consume ou endommage ce qui se trouve à l'intérieur ;
- Un rayonnement thermique sur le voisinage immédiat de la boule de feu ;
- Des effets de pression plus ou moins importants suivant l'encombrement du lieu de l'accident [CHBIRA, 2016].

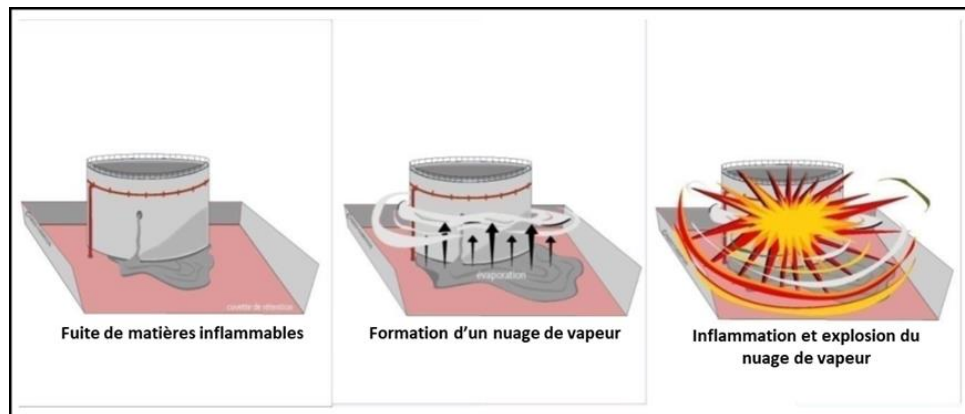


Figure III.1 : Phénomène d'UVCE [CHBIRA, 2016].

III.2.7.3. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapeur Explosion)

Le BLEVE peut être défini comme une vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température normale d'ébullition à la pression atmosphérique [GESIP].

III.2.7. 3.1. Les étapes du BLEVE

- Augmentation de la 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 [CHBIRA, 2016].

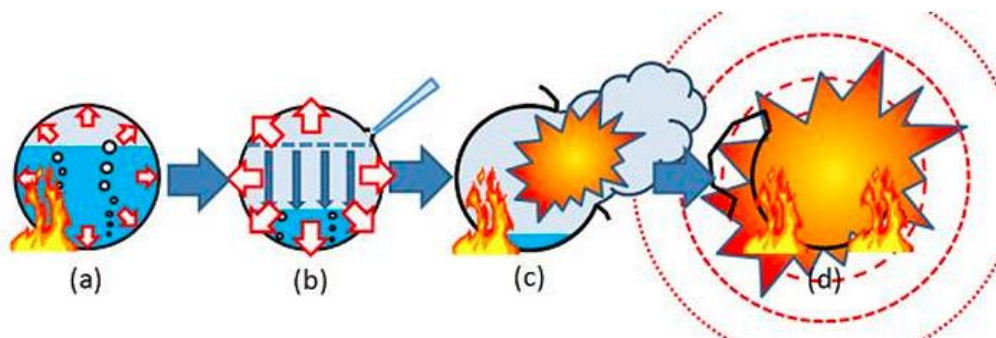


Figure III.2 : les étapes de réalisation de BLEVE chaud [Techs ING 2]

III.2.7.4. Eclatement du ballon

La rupture soudaine et brutale de paroi du ballon sous l'effet d'une **surpression interne**, souvent causée par une défaillance du système de sécurité, un incendie externe ...etc. Ce phénomène peut entraîner de graves conséquences mécaniques et thermiques selon le contenu et les conditions au moment de l'éclatement.

III.2.7.4.1. Les étapes de l'éclatement du ballon

- a) Accumulation de pression à l'intérieur du ballon
- b) Fragilisation du matériau
- c) Libération instantanée du contenu, entraînant une onde de choc [Mannan, 2012].

III.3. Présentation du complexe RA1K et du ballon de reflux GPL V-8

III.3.1. Le raffinage en Algérie

En Algérie l'industrie de raffinage a eu naissance avec la découverte et la production du pétrole brut de Hassi-Messaoud. La première unité fut construite sur les lieux même de la découverte qui a été orientée vers la satisfaction des besoins excessifs des sociétés opérantes dans le cadre de la recherche et l'exploitation de brut. Aussitôt l'indépendance acquise, l'Algérie s'est attachée à l'idée d'accéder au développement économique en avantageant la mise en place d'une industrie pétrolière par la transformation systématique de ses hydrocarbures. C'est ainsi qu'ont été réalisées diverses unités industrielles et des expansions de celles déjà en place en vue d'accroître les capacités de première transformation.

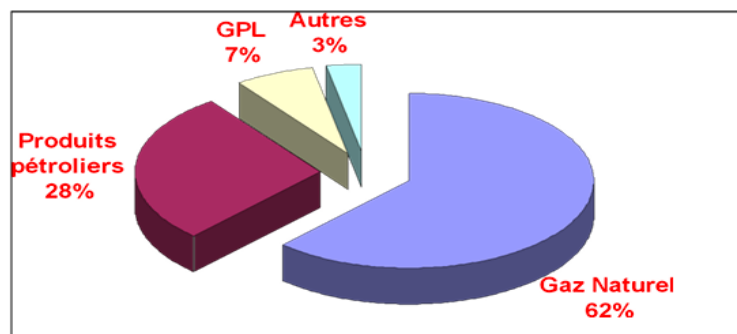


Figure III.3 : Consommation énergétique en Algérie [Bouaricha, N, 2024].

III.3.2. NAFTEC Algérie

C'est une filiale de Sonatrach spécialisée dans le raffinage et la distribution des produits pétroliers sur le marché Algérien. Au début, le raffinage était une activité intégrée dans SONATRACH. En 1982, le raffinage et la distribution des produits pétroliers sont séparés et crée une nouvelle Entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers nommée (ERDP-NAFTAL). En avril 1998, La société devient une filiale de la société de raffinage et de chimie de Sonatrach au capital social de 12 milliards DA sous le nom de Société nationale de raffinage de pétrole NAFTEC.

III.3.3. Produits de NAFTEC Algérie

- Essences normal, super, de l'essence sans plomb mise à la disposition du marché national et exportée (91% à partir de la raffinerie de Skikda).
- Gasoil (50 % de la production exportée à partir de la raffinerie de Skikda).
- Butane et propane
- Naphta
- Aromatiques : benzène, toluène, xylènes
- Kérosène
- Fuels
- Bitumes routiers et oxydés
- Lubrifiants

Tableau III.2 : Répartition de la capacité totale de transformation de l'entreprise [LRP].

| Raffineries | Nature de la charge | Capacité de traitement (Tonnes/ an) |
|-----------------------------|---|-------------------------------------|
| - RA1K (SKIKDA) | - Pétrole brut - Brut réduit importé | - 15 000 000 - 271 100 |
| - RA2K | - GPL/ condensat | - 1 000 000 / 3 000 000 |
| - RA1G (ALGER) | - Pétrole brut | - 2 700 000 |
| - RA1Z (ARZEW) | - Pétrole brut /BRI | - 2 500 000/ 320 000 |
| - RA1HM (HASSI MESSAOUD) | - Pétrole brut | - 1400 000 |

III.3.4. Présentation du complexe RA1K

La raffinerie de Skikda est l'une des principales raffineries de l'Afrique, elle est la 2ème zone dans l'Algérie après la zone d'Arzew, elle a d'importantes relations nationales et internationales. La raffinerie de Skikda est un complexe de traitement du pétrole brut localisé au niveau de la zone industrielle de Skikda qui a été construite en Janvier 1976.

Elle a démarré avec une capacité de traitement de 15000000 T/an, cette valeur a atteint 16500000 T/an en 2016, et le brut réduit importé (BRI) a atteint la valeur de 271 100 T/an.

Les deux objectifs principaux de cette raffinerie sont :

- Continuer à assurer la couverture des besoins du marché national en produits raffinés sur le plan quantitatif et qualitatif. Ces produits sont : GPL, Carburants, Bitumes, Aromatiques » ;
- Continuer à offrir des produits raffinés destinés à l'exportation répondants aux normes en vigueur sur les marchés internationaux

III.3.4.1. Situation géographique du complexe RA1K

La raffinerie de Skikda est située dans la zone industrielle à 7 Km à l'est de Skikda et à 2 Km de la mer, elle est aménagée sur une superficie de 190 hectares avec un effectif à l'heure actuelle de 1280 travailleurs environ. Elle est alimentée en brut algérien par le brut venant de Hassi Messaoud. Le transport du pétrole brut est réalisé à l'aide d'un Pipe-line à une distance de 760 Km de champs pétroliers jusqu'au complexe.

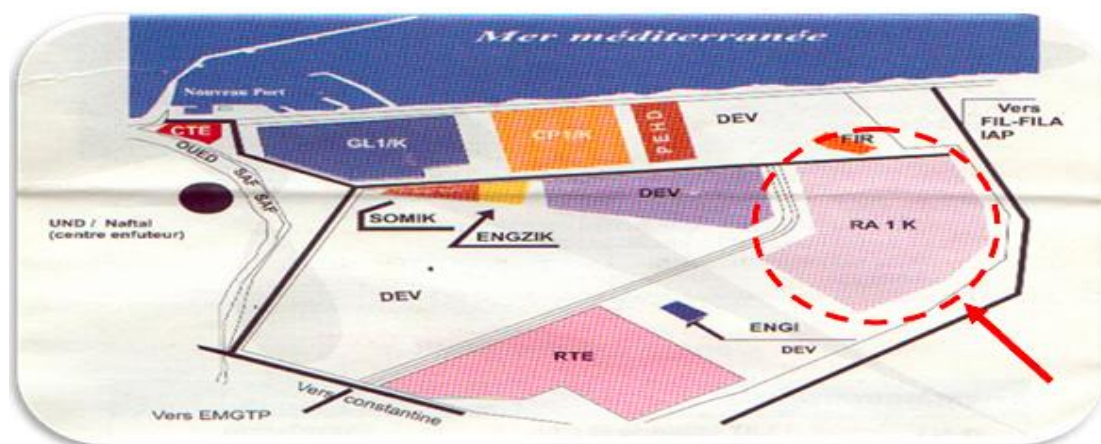


Figure III.4 : Représentation géographique de la RA1K dans la zone industrielle de Skikda [RA1K].



Figure III.5: Vue Aérienne de la Raffinerie de Skikda [SAGHIR, H, 2006].

III.3.4.2. Structure générale du complexe de raffinage de Skikda

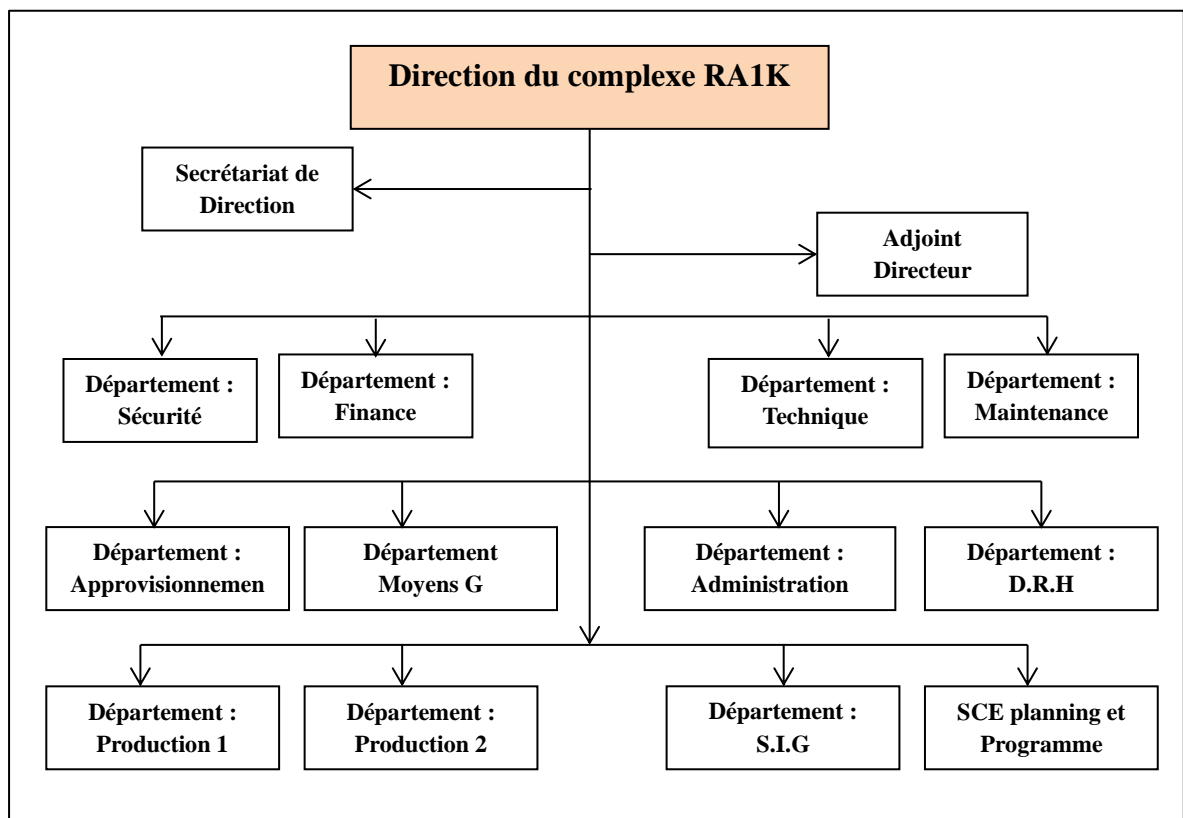


Figure III.6 : Structure générale de la raffinerie de Skikda RA1K [RA1K].

III.3.4.3. Vue d'ensemble des unités de procès

La raffinerie de Skikda est divisée en différentes unités de procès, elle couvre les principales parties de raffinage de secteur, l'ensemble des unités et la capacité de production sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.3 : Unités de la raffinerie et leurs capacités de production [Bourekda, A, 2008].

| Installations | Unité | Capacité de production |
|--|---------------------|--------------------------|
| 01 nouvelle Salle de Contrôle Centralisée de DCS | CCR | / |
| 02 unités de distillation atmosphérique | U.10/11 | 16.500.000 |
| 03 unités de séparation de GPL | U.30/31/104 | 747.768 |
| 02 unités de reforming catalytique | U.100/103 | 2.330.000 |
| 01 unité d'extraction / fractionnement aromatiques | U.200 | 627.000 |
| 01 unité de séparation du paraxylène | U.400 | 220.000 |
| 01 unité d'isomérisation des xylènes | U.500 | 1.380.000 |
| Installations | Unité | Capacité de production |
| 01 unité de purification de l'hydrogène | U.900 | 272.000 |
| 02 unités d'isomérisation du naphtha léger (N.A) | U.700/701- | 694.000 |
| 01 unité de production des bitumes | U.70 | 277.000 |
| Des utilités (Eau, vapeur, électricité, air, azote)-(Condensat, Déminéralisation,) | CTE 1/CTE 2 | / |
| 01 nouvelle unité de traitement des effluents | ETP2 | / |
| Un parc de stockage | 147 Bacs (133 + 14) | 3.221.000 m ³ |

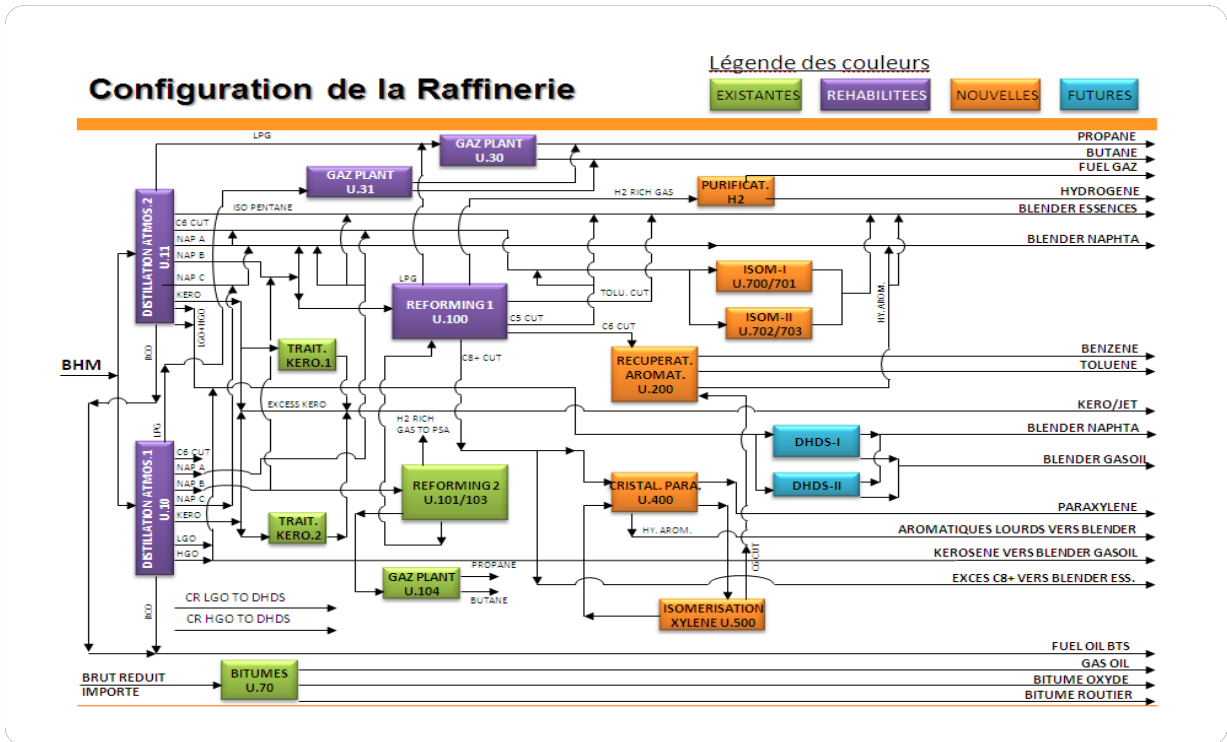


Figure III.7 : Schéma des unités de la raffinerie de Skikda [LRP].

III.3.4.4. Organisation générale du département HSE

Tous les moyens de sécurité ont été placés sous la responsabilité du chef de département ce dernier qui lui-même les en place sous la responsabilité de la direction dans le but d'éliminer au maximum les risques successibles de mettre en danger la sécurité des personnes, des biens matériels et de l'environnement.

Le département de sécurité repose sur trois services présentés dans l'organigramme ci-dessous :

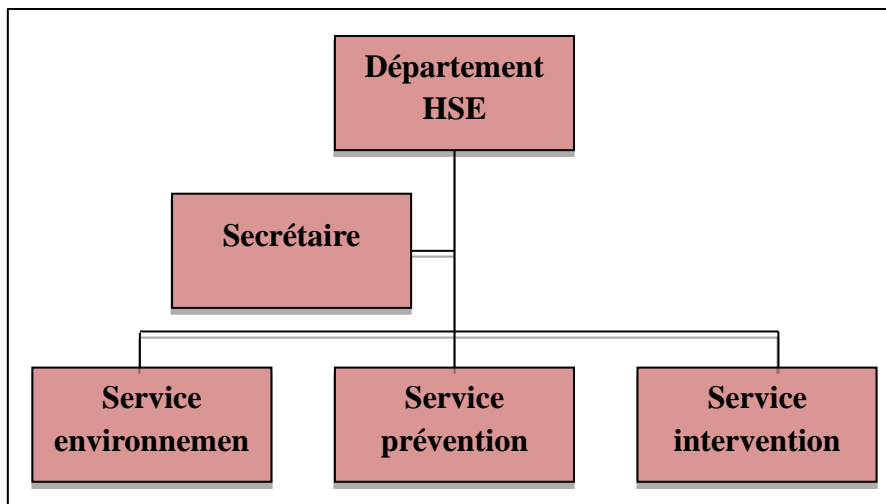


Figure III.8 : Organigramme général du département HSE [LRP].

- Dosage Chimique o Ballon de Préflash
- Section de Four Atmosphérique -A/B
 - Préchauffage -II de Brut
- Section de Colonne Atmosphérique
 - Pompe de la colonne Atmosphérique
 - Tête de la colonne Atmosphérique
- Section de la Colonne de Kéro Stripper
 - Refroidissement du Produit de RCO & Kérosène
 - HGO Stripper
 - LGO Stripper
 - Mélangeur du Produit LGO/HGO
- Stabilisateur
 - Préchauffe de l'Alimentation de Stabilisateur
 - Stabilisateur-A
 - Stabilisateur-B
- Coupe C6 Splitter
- Splitter I & II
 - Splitter I
 - Splitter II
 - Déisopentaneur (Section Obsolète)
 - Système de l'Ejecteur (Section Obsolète)
- L'unité de Acid Water Stripper (AWS)
- Système de l'Eau Tempéré
- Récupération du Gaz de Torche
- Compresseur du Gaz combustible

III.3.5. Le choix de l'installation Stabilisateur-A comme installation d'étude

Le procédé de raffinage s'articule autour d'une succession d'opérations physico-chimiques complexes, mobilisant des équipements industriels spécifiques adaptés aux caractéristiques des hydrocarbures à traiter. Au sein de la raffinerie RA1K de Skikda, et plus particulièrement dans l'unité de distillation atmosphérique (topping), l'installation est subdivisée en plusieurs sections fonctionnelles distinctes.

Parmi celles-ci, l'unité Stabilisateur-A joue un rôle stratégique dans la stabilisation des fractions légères, en assurant l'élimination des composés volatils afin de garantir la conformité aux exigences de sécurité et aux spécifications de qualité des produits finis.

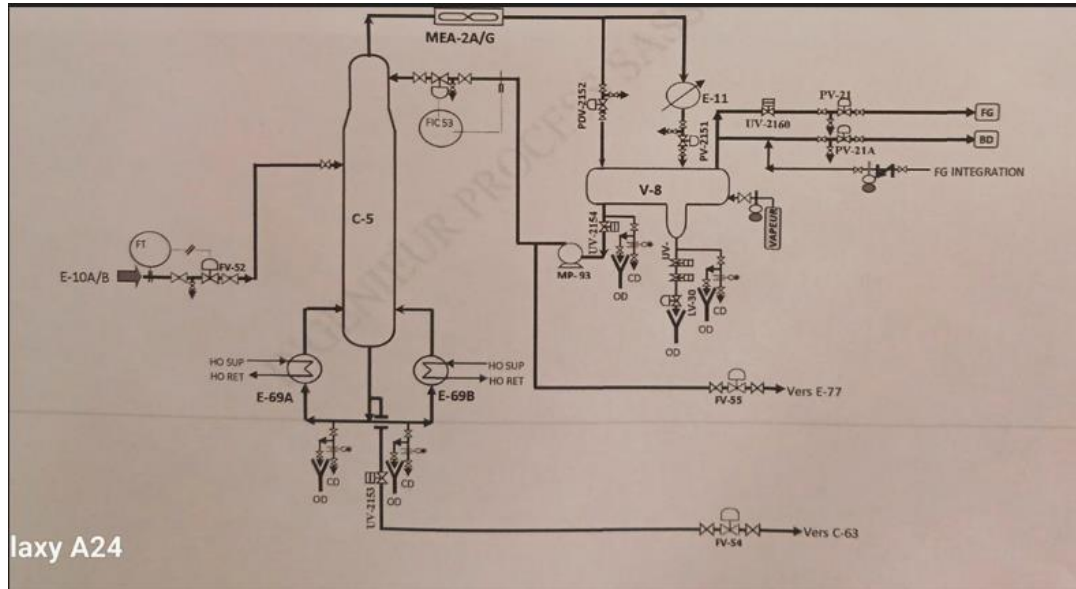


Figure III.10 : L'installation Stabilisateur-A [Salle de contrôle].

L'unité **Stabilisateur-A** a pour fonction de stabiliser les fractions légères issues du traitement du pétrole, en éliminant les composants les plus volatils afin de répondre aux exigences de sécurité (telles que le point éclair et la pression de vapeur). Cette installation comprend plusieurs équipements, notamment le **ballon de reflux**, qui permet de renvoyer une partie du distillat condensé en tête de la colonne de distillation. Ce reflux favorise un meilleur fractionnement interne, améliore la séparation des gaz dissous et augmente la pureté du produit final.

Le **ballon de reflux du Stabilisateur-A (10-V-8)**, utilisé aussi pour le traitement du GPL (gaz de pétrole liquéfié), est un récipient sous pression servant à séparer et stabiliser les composants légers tels que le propane et le butane des fractions plus lourdes. Il joue un rôle essentiel dans l'obtention d'un GPL purifié, stable et conforme aux normes de stockage et de commercialisation. Ce ballon est structuré en deux zones distinctes : une phase gazeuse en partie supérieure et une phase liquide en partie inférieure, assurant une séparation efficace et une stabilité du produit.

III.3.5.1. Description générale du Système à étudier « Ballon de Reflux V-8 »

8 »

La colonne **C-5** (L'installation Stabilisateur-A) fonctionne à la température et pression de 60°C et 7.7 kg/cm². Les vapeurs de la colonne en tête, à la température indiquée par **10-TI-107** (ayant l'alarme de TAH & TAL dans la salle de contrôle), sont condensées dans le refroidisseur à air du Condenseur du Produit en Tête de Stabilisateur-A (**10-EA-2A-G**), et le Condenseur de Réglage en Tête de Stabilisateur-A (**10-E-11**), et ensuite collectées dans l'accumulateur du Ballon de Reflux de Stabilisateur-A (**10-V-8**). Le ballon de reflux fonctionne à la température et pression de 43°C et 7.0 Kg/cm²g.

La pression dans le ballon est indiquée par **PI-21** et contrôlée par **10-PIC-21** agit dans le "contrôle divisé" sur les vannes **10-PV-21** et **10-PV-21A**. **10-PIC-21** a été fourni avec l'alarme de la pression basse/haute **10-PAL-21** et **10-PAH-21**. Les vapeurs du gaz combustible incondensées sont contrôlées par **10-PV-21**, En cas de surpression **10-PV-21** ouvre libérer l'excès des vapeurs vers la ligne de fuel gaz où elles sont réutilisées comme carburant pour l'alimentation des fours et les matériaux incondensables accumulés dans le Ballon de Reflux de stabilisateur-A (**10-V-8**) peuvent être déchargés au Blow down par **10-PV-21A** installé sur la ligne **3"-BD-10-2104-AIA**. La ligne de vapeur en tête de la colonne est concernée avec l'injection de l'inhibiteur de corrosion fait en amont de **10-EA-2A~G** par les pompes **10-P-20A/B/C/D**.

Le liquide accumulé dans le réservoir de réception en tête de **10-V-8** aspiré par les pompes **10-P-93A/B** à la température indiquée par **10-TI-112** et envoyée en tête de colonne **10-C-5** constituant en partie la production de la colonne en tête de l'unité 30 avec le débit contrôlé par **10-FIC-55** équipé avec l'alarme pour le niveau bas **FAL-55** fonctionnant en cascade avec le contrôleur de niveau **10-LIC-21**, équipé avec l'alarme pour le niveau haut / bas **10-LAH/LAL-21**. Le niveau d'interface entre le naphta et l'eau huileux dans **10-V-8** est contrôlé par **10-LIC-30** en contrôlant le débit par **10-LV-30** situé dans la ligne de décharge de boot.

Comme un détecteur d'hydrocarbure de sécurité supplémentaire **10-AI-2151** et **10-AI-2152** a été fourni près de fond le ballon de reflux (**10-V-8**) et la pompe de reflux (**10-P-93 A/B**).

Le ballon est équipé de trois interlocks de sécurité (**I-2156**, **I-2165**, et **I-2164**), qui servent de barrières de sécurité instrumentées pour protéger l'installation contre des conditions dangereuses.

10-LI-2151 a été fourni avec l'alarme de haute-haute et Basse-Basse **10-LAHH-2151** & **10-LALL-2151**. Dans le cas où **10-LAHH-2151** verrouillage **10-1-2164** sera actionné et 10-

UV-2160 en ligne de tête de 10-V-8 sera fermé aussi 10-PV-21 sera fermé et 10-PV-21A sera ouverte. Dans le cas où 10-LALL-2151 donne les signaux du bloc, 10-I-2164 va actionner et fermer la vanne on-off 10-UV-2154 installé sur la ligne d'aspiration de 10-P-93 A/B et fermé les pompes 10-P-93 A/B.

10-LI-2155A/B/C a été fourni avec l'alarme de basse-basse niveau 10-LALL-2155A/B/C. Dans le cas où 10-LALL-2155A/B/C donne les signaux 10-I-2165 va actionner et fermer la vanne 10-UV-2157A/B.

En cas d'activation des interrupteurs de sécurité HS-2154A/B, l'interlock I-2156 se déclenche et provoque : La fermeture de la vanne UV-2154 et L'arrêt de la pompe 10-P-93A/B.

De plus, comme une partie de sécurité le ballon est équipé par une soupape de sécurité PSV-50 [Manuelle].

III.3.5.2. Système de sécurité de V-8

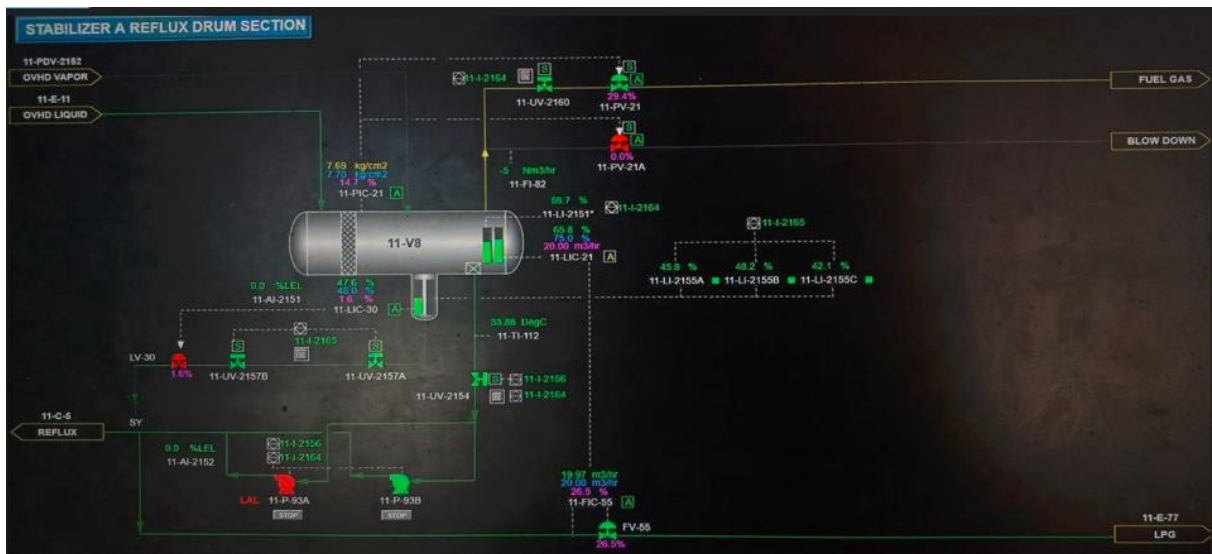


Figure III.11 : Le schéma simplifié du ballon de reflux V-8 et ses Système de sécurité [Salle de contrôle].

La sécurité est un élément essentiel dans toute installation industrielle. Le ballon de reflux V-8 a été conçu pour garantir la protection de l'installation ainsi que celle des opérateurs, même en cas de situation anormale. Plusieurs dispositifs de sécurité ont été mis en place afin de répondre aux exigences réglementaires et assurer un fonctionnement sûr. Ces dispositifs sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : Différents systèmes de sécurité protégeant le ballon de reflux V-8.

| Systèmes de sécurité | de | N° de Repère | Emplacement | Description |
|----------------------|-------------|--|---|---|
| Soupape de sécurité | de | PSV-50 | Le haut du ballon | Contre la surpression résultant des perturbations possibles de l'installation |
| DéTECTEURS | | AI-2151 | Près du fond du ballon de reflux (V-8) | Détection d'hydrocarbure |
| | | AI-2152 | Près de la pompe à reflux (P-93 A/B) | Détection d'hydrocarbure |
| Indicateur | | LG-23 | Fixé sur le corps du ballon | Indication du niveau de GPL dans V-8 |
| | | LG-24 | Fixé sur le corps du mamelon | Indication du niveau d'eau acide dans le mamelon |
| Alarmes | | 10-LAH-21 | LIC-21 | Haut niveau du GPL dans V-8 |
| | | 10-LAL-21 | LIC-21 | Basse niveau du GPL dans V-8 |
| | | 10-PAH-21 | PIC-21 | Haut pression dans V-8 |
| | | 10-PAL-21 | PIC-21 | Basse pression dans V-8 |
| | | 10-FAL-55 | FIC-55 | Basse débit de sortie vers U-30 |
| | | 10-FAH-53 | FIC-53 | Haut débit de reflux vers C-5 |
| | | 10-FAL-53 | FIC-53 | Basse débit de reflux vers C-5 |
| | | 10-AAH-2151 | AI-2151 | Alarme liée à la détection d'hydrocarbure |
| | 10-AAH-2152 | AI-2152 | Alarme liée à la détection d'hydrocarbure | |
| Boucle de régulation | de | BPCS 1 (PT-21/PIC-21/PV-21/21A) | / | Réglage de niveau de pression à l'intérieur du V-8 (partie gazeux) |
| | | BPCS 2 (LT-30/LIC-30/LV-30) | / | Réglage de niveau d'eau acide dans le mamelon |
| | | BPCS 3 (LT-21/LIC2 en cascade avec FT-55/FIC-55 /FV -55) | / | Réglage du niveau du GPL et réglage du débit de sortie du GPL vers unité-30 |

| | | | |
|------------------|--------|---|--|
| Interlock | I-2156 | / | Activé par : HS-2154A/B Actionner sur : UV-2154 P-93/A/B |
| | I-2165 | / | Activé par : LALL-2155A/B/C Actionner sur : UV-2157A/B |
| | I-2164 | / | Activé par : LALL-2151 Actionner sur : UV-2154 P-93A/B |

III.4. Conclusion

Les données exposées dans ce chapitre montrent que le processus de stabilisation du GPL comporte divers risques, tant pour les installations que pour la santé humaine et l'environnement. Dès lors, il devient essentiel de mettre en place une démarche d'analyse de ces risques, ainsi qu'une évaluation du niveau d'intégrité de sécurité (SIL) des systèmes instrumentés de sécurité (SIS) existants. C'est précisément ce à quoi s'attache le quatrième chapitre.

CHAPITRE IV

Évaluation des risques au niveau de ballon de reflux de GPL V-8

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, on va analyser et identifier les évènements dangereux liée au ballon de reflux de GPL V-8 via la méthode HAZOP et quantifier les fréquences d’accidents via la méthode LOPA et Analyse de la Conformité des fonctions instrumentes de sécurité SIFs à l’aide de logiciel GRIF 9Module SIL enfin la Modélisation des Conséquences d’un BLEVE à l’aide d’ALPHA

IV.2. Evaluation des risques au niveau de ballon de reflux de GPL V-8 via les méthodes HAZOP et LOPA

IV.2.1. Analyse des risques et identification des évènements dangereux via la méthode HAZOP

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

Tableau IV.1 : Grille de criticité adopte par SONATRACH

| | | Conséquences | | | | Probabilité | | | |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------|--|--------------------------|--|--|---|--|--|
| | | | | | | Augmentation de la probabilité | | | |
| Gravité | | Personne | Environnement | Public | Bien | P1 Improbable 10^{-4} Jamais rencontre ou entendu parler mais physiquement possible (ou rarissime) | P2 Peu probable $10^{-4} - 10^{-2}$ Déjà (ou pourrait se) rencontre 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 produit pendant la durée de vie de l'installation | P4 très probable 1/an Est produit fréquemment au sein de SH |
| Augmentation de la gravité | G1 Mineure | Blessures mineures (ASA) | Mineur | Pas d'incidence | Pas de dommage pas d'arrêt de production | | | | |
| | G2 Sérieux | Blessures significatives (AAA) | Pollution interne, maîtrisée | Blessures mineures | Dommages mineurs + arrêt bref de la production | | | | |
| | G3 Grave | Incapacité permanente ou décès | Pollution interne non maîtrisée ou pollution hors limite maîtrisée | Blessures significatives | Dommages localisés + arrêts partiel de l'unité | | | | |
| | G4 Catastrophique | Plusieurs décès | Pollution hors limite de longue durée | Décès | Dommages importants + arrêt total de la production | | | | |

Tableau IV.2 : Tableau du Niveau de Risque

| Classification de risque | Description |
|--------------------------|-------------------|
| | Acceptable |
| | ALARP-améliorable |
| | Inacceptable |

Les déviations obtenues sont examinées par la méthode HAZOP 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 quatre exemples de ces écarts (Niveau du GPL liquide, Niveau d'eau acide et pression) et nous avons acquis le tableau VI.3 suivants :

Tableau IV.3 : Application de la méthode HAZOP sue le ballon de reflux de GPL V-8

| Paramètre | Mot-clé | Causes | Conséquences | Détections | Barrières existantes | | | Recommandation |
|-----------------------|---------|---|--|--------------------------------------|--|--|-------------|--|
| | | | | | Alarmes | SIF | IPLs | |
| Niveau du GPL liquide | Plus de | - PDV-2151 (ligne froide) défaillante (bloquée ouverte) ; - La boucle de régulation du niveau de GPL qui fonctionne en cascade avec la boucle de régulation du débit de GPL de sortie vers unité-30, défaillantes : <ul style="list-style-type: none"> • LT-21 défaillant, • LIC-21 défaillant, • FT-55 défaillant, • FIC-55 défaillant, • FV-55 défaillante (bloquée fermée) ; - La boucle de régulation du débit de sortie de reflux vers C-5 défaillante : <ul style="list-style-type: none"> • FT-53 défaillant, • FIC-53 défaillant, • FV-53 défaillante (bloquée fermée) ; - Les pompes P-93-A et B défaillantes (en panne). | - Surpression - Dégagement important du GPL vers torchère. - Le passage de liquide de GPL vers la ligne de fuel gaz. | - LI-2151 - LG-23-A/B - PI-123 | - LAH-LIC-21 - LAHH-LI-2151 - FAL-FIC-55 - FAL-FIC-53 - PAH-PIC-21 - LAHH-LI-2151 | - DCS_I-2164 commande la fermeture de UV-2160 et PV-21 et l'ouverture de PV-21-A qui actionné par Alarme LAHH dans DCS_LI-2151 + DCS_HS-2164 | - Opérateur | - La maintenance régulière des vannes de régulation de niveau du liquide GPL. - Mise en place d'une troisième pompe pour le refoulement du liquide GPL vers l'unité-30 pour un fonctionnement KooN (2/3). |

| | | | | | | | | |
|--|--------------------------------|---|---|--|--|---|---|---|
| | <p>- Moins de - Pas de</p> | <p>- PDV-2151 (ligne froide) défaillante (bloquée fermée) ; - La boucle de régulation du niveau défaillante : <ul style="list-style-type: none"> • LT-21 défaillant, • LIC-21 défaillant, - La boucle de régulation du débit de sortie vers unité-30 défaillante : <ul style="list-style-type: none"> • FT-55 défaillant, • FIC-55 défaillant, • FV-55 défaillante (bloquée ouverte) ; - La boucle de régulation du débit de sortie de reflux vers C-5 défaillante : <ul style="list-style-type: none"> • FT-53 défaillant, • FIC-53 défaillant, • FV-53 défaillante (bloquée ouverte) ; - Les pompes P-93-A et B défaillantes (débit de refoulement du liquide GPL élevé) ; - La boucle de régulation du niveau d'eaux huileuses défaillante : <ul style="list-style-type: none"> • LT-30 défaillant, • LIC-30 défaillant, • LV-30 (vanne d'évacuation d'eau acide) </p> | <p>- Cavitation des pompes P-93-A et B ; - Fuite de gaz GPL au niveau des pompes P-93-A et B ; - le passage de GPL vers canalisation d'eaux huileuses ; - La présence d'une source d'ignition peut provoquer les phénomènes suivants : <ul style="list-style-type: none"> ▪ UVCE ▪ Incendie </p> | <p>- Détecteur d'hydrocarbure AI-2151 - Détecteur d'hydrocarbure AI-2152 - DCS_LI-2151 - LG-23-A/B - LG-24</p> | <p>- AAH-AI-2151 - AAH-AI-2152 - LAL- LIC-21 - LALL- LI-2151 - FAH- FIC-55 - FAH- FIC-53</p> | <p>- DCS_I-2164 commande la fermeture de UV-2154 et l'arrêt des pompes P-93-A/B qui actionné par Alarme LALL dans DCS_LI-2151 + DCS_HS-2160 - DCS_I-2165 commande la fermeture de UV-2157-A/B qui actionné par Alarme LALL dans DCS_LI-2155-A/B/C + DCS_HS-2157</p> | <p>- Opérateur - Système de déluge à eau - Hydro-moniteur Extincteur à poudre ABC - Skid à mousse</p> | <p>- Purge manuelle régulière et contrôlée. - La maintenance régulière et les tests mensuelle des vannes. - Mise en place d'un système de refroidissement à mousse automatique.</p> |
|--|--------------------------------|---|---|--|--|---|---|---|

| | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------------------|--|---|--|---|---|--|--|
| | | défaillante (bloquée ouverte) ; - Fuite au niveau de la partie liquide de GPL. | | | | | | |
| <i>Niveau d'eaux huileuses</i> | - Moins de - Pas de | - La boucle de régulation du niveau d'eaux huileuses défaillante : <ul style="list-style-type: none"> • LT-30 défaillant, • LIC-30 défaillant, • Alarme LAL défaillante. • LV-30 (vanne d'évacuation d'eau acide) défaillante (bloquée ouverte). | - Fuite du GPL vers canalisation d'eau acide. - Evaporation du liquide GPL à l'atmosphère ; - La présence d'une source d'ignition peut provoquer les phénomènes suivants : <ul style="list-style-type: none"> ▪ UVCE ▪ Incendie | - Détecteur d'hydrocarbure AI-2151 - DCS_LI-2155-A/B/C - LG-24 | - AAH-AI-2151 - LALL- LI-2155-A/B/C - LALL- LI-2151 | - DCS_I-2165 commande la fermeture de UV-2157-A/B qui actionné par Alarme LALL dans DCS_LI-2155-A/B/C + DCS_HS-2157 - DCS_I-2164 commande la fermeture de UV-2154 et l'arrêt des pompes P-93-A/B qui actionné par Alarme LALL dans DCS_LI-2151 + | - Opérateur - Système de déluge à eau - Hydro-moniteur Extincteur à poudre ABC - Skid à mousse | - Purge régulière et maintenance préventive. - Mise en place des détecteurs de feu et des flammes proche au ballon. |

| | | | | | | | | |
|---|---------|--|---|--|---|-------------|--|---|
| | | | | | | DCS_HS-2160 | | |
| <i>Pression à l'intérieur du V-8 (Ballon de stabilisation du GPL)</i> | Plus de | <p>- Feu à proximité du ballon V-8 ; -PDV-2152 (la ligne chaude) défaillante (bloquée ouverte) ; - E-11 (condenseur) défaillant (refroidissement insuffisante du liquide GPL entrant vers V-8) ; - EA-2A~G (Aero-refroidisseur) défaillant (refroidissement insuffisante du liquide GPL entrant vers V-8) ; - La boucle de régulation de la pression défaillante :</p> <ul style="list-style-type: none"> • PT-21 défaillant, • PIC-21 défaillant, • Alarme PAH défaillante. • PV-21 (vanne d'évacuation vers fuel gaz) défaillant (bloquée fermée) ; • PV-21 (vanne d'évacuation vers torchère) défaillant (bloquée fermée). | <p>- Augmentation de la température à l'intérieur du ballon V-8 - Un débit d'évacuation important vers la torchère - Eclatement du ballon V-8 - La présence d'une source d'ignition peut provoquer le phénomène du BLEVE</p> | <p>- Détecteur d'hydrocarbure AI-2151 - DCS_PI-123 défaillant ; - DCS_TI-112</p> | <p>- AAH-AI-2151 - PAH- PIC-21</p> | / | <p>- PSV-50 - La boucle de régulation de pression (DCS_PIC-21/PT-21/PV-21/21A) - Système de déluge à eau - Hydro-moniteur - Extincteur à poudre ABC - Skid à mousse</p> | <p>- Mise en place d'un PAHH (Alarme de très haute pression) reliées au DCS. - La maintenance régulière des vannes de régulation de pression. - Mise en place d'une autre soupape de sécurité. - Mise en place d'une Disque de rupture. - Mise en place d'un système instrumenté de sécurité pour la surpression.</p> |

IV.2.2. Quantification des fréquences d'accidents via la méthode LOPA

La méthode LOPA évalue la réduction du risque nécessaire en considérant la contribution des différentes couches de protections dans le calcul des fréquences d'accidents.

La méthode HAZOP nous a permis d'identifier scénarios critiques liés au ballon de reflux de GPL(V-8) :

L'application de la méthode HAZOP a mis en évidence six scénarios critiques, à savoir :

- Une surpression du ballon de reflux de GPL suit par une explosion et une boule de feu (BLEVE).
- Une fuite importante de GPL due à la cavitation des pompes ou le passage de liquide GPL dans la ligne d'eau huileuse suit par une explosion de type UVCE.
- Le passage de liquide GPL dans la ligne d'eau huileuse à cause d'absence d'eaux huileuses.
- Le passage de liquide GPL vers la ligne de fuel gaz due à une augmentation excessive de niveau du liquide GPL.
- Surpression suite à un niveau élevé dans le ballon.
- Cavitation des pompes P-93 A/B à cause d'absence de liquide GPL dans le ballon.

Dans la suite de ce chapitre, nous allons estimer leurs fréquences d'occurrence respectives à l'aide de la méthode LOPA.

IV.2.2.1. Identification des fonctions instrumentées de sécurité SIFs de ballon de reflux de GPL V-8

À l'aide de la méthode HAZOP nous avons distingué quatre systèmes selon la fonction instrumentée de sécurité (SIF)

- **La fonction instrumentée de sécurité « SIF : LALL-2151 »**

La SIF : LALL-2151 a pour rôle d'assurer la protection des pompes P-93 A/B contre la cavitation (run dry). Le signal de très bas niveau (LALL-2151) transmis par LT-2151 à l'unité logique I-2164 (interlock) qui commande la fermeture de la vanne UV-2154 et l'arrêt des

pompes P-93 A/B (une seule pompe est en fonctionnement). La structure de cette fonction est donnée à la figure suivante.

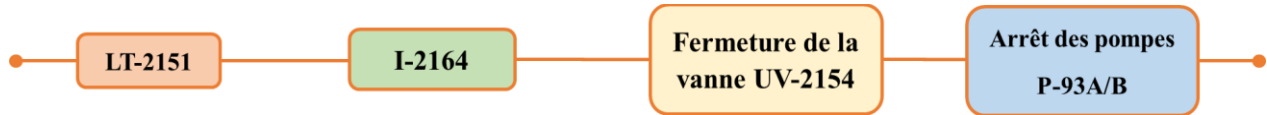


Figure IV.1 : Structure de la fonction instrumentée de sécurité « SIF : LALL-2151 »

- **La fonction instrumentée de sécurité « SIF : LAHH-2151 A »**

La SIF : LAHH-2151 A pour rôle d'assurer la protection contre le passage de liquide GPL vers la ligne de Fuel gaz (utilisé pour l'alimentation du four). Le signal de très haute niveau (LAHH-2151) transmis par LT-2151 à l'unité logique I-2164 (interlock) qui commande la fermeture des vannes UV-2160 et PV-21, bloquant donc tout transfert de GPL vers le four (la fermeture d'une seule vanne suffit pour assurer cette fonction).

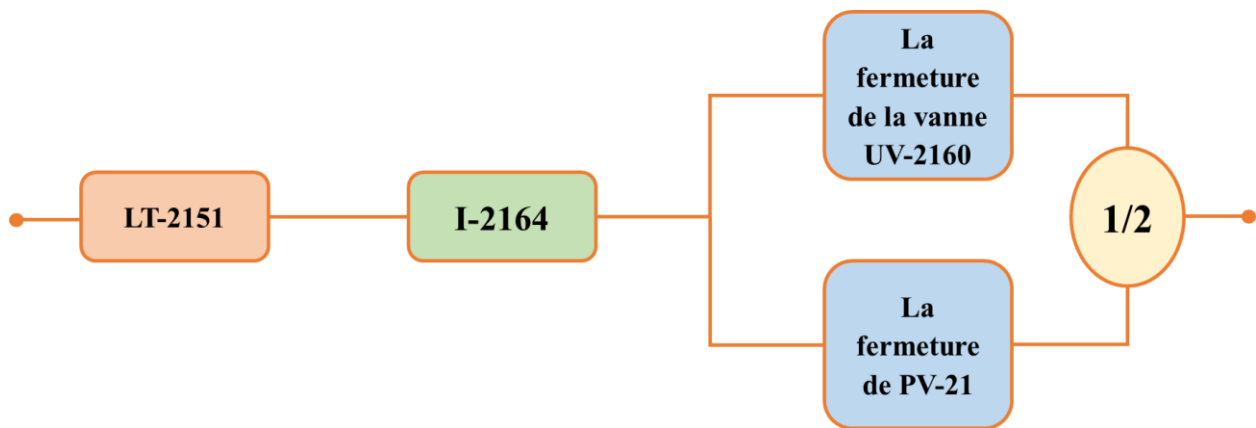


Figure IV.2 : Structure de la fonction instrumentée de sécurité « SIF : LAHH-2151 A »

- **La fonction instrumentée de sécurité « LAHH-2151 B »**

La SIF : LAHH-2151 B a pour rôle d'assurer la protection contre l'augmentation du pression suite au niveau élevé dans le ballon de reflux GPL V-8. Le signal de très haute niveau (LAHH-2151) transmis par LT-2151 à l'unité logique I-2164 (interlock) qui commande l'ouverture de la vanne PV-21A.

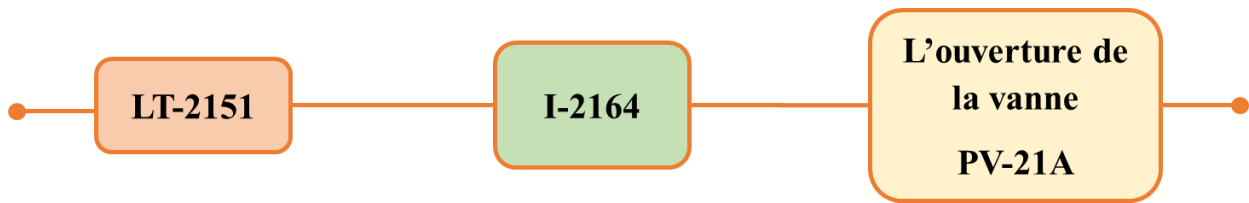


Figure IV.3 : Structure de la fonction instrumentée de sécurité «SIF : LAHH-2151 B »

- **La fonction instrumentée de sécurité « LALL-2155 »**

La SIF : « LALL-2151 » a pour rôle d’assurer la protection contre le passage du GPL vers la ligne d’eau acide.

Le signal de très bas niveau indiquier par LI-2165A/B/C (LALL-2155) est transmis à l’unité logique I-2165(interlock) qui demande la fermeture des vannes UV-2157 A/B (la fermeture d’une seule vanne suffit pour assurer cette fonction).

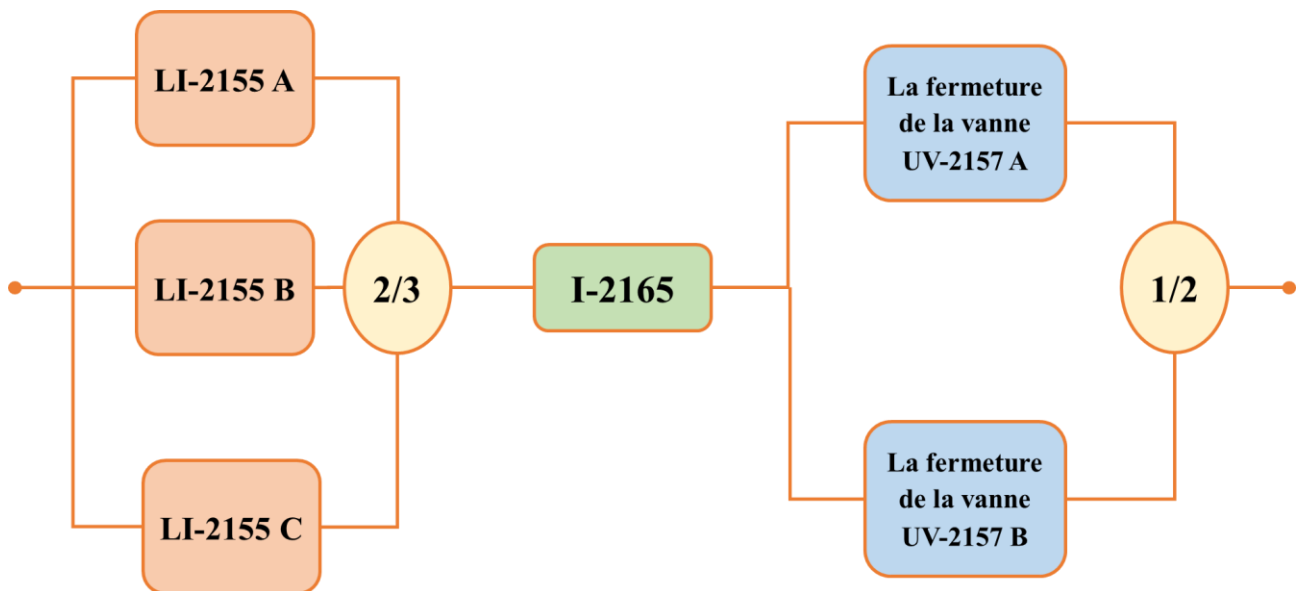


Figure IV.4 : Structure de la fonction instrumentée de sécurité «SIF : LALL-2155 »

IV.2.2.2. Données de calcul des fréquences d’accidents et des probabilités de défaillance des barrières de sécurité et des fonctions instrumentées de sécurité

Dans la suite de ce chapitre, nous allons quantifier les six scénarios en termes de fréquence d'occurrence afin de pouvoir les comparer à la fréquence tolérable ($1E-4$ /an) retenue par l'entreprise et les probabilités de défaillance des barrières de sécurité relative à chacun des scénarios seront quantifiées. Aussi calculer les probabilités de défaillance de chacun des fonctions instrumentées de sécurité pour une allocation du SIL.

La quantification des fréquences et probabilité de défaillances des barrières de sécurité et des SIFs a été réalisées à l'aide de la méthode LOPA en mettant à profit le logiciel GRIF (module SIL).

❖ **Caractéristiques fiabilistes des éléments constitutifs du système étudié**

Toutes les données et caractéristiques de fiabilité des éléments qui viennent d'être évoquées sont regroupées aux tableaux suivants :

○ *Les fréquences d'occurrence des causes initiatrice*

L'événement initiateur (cause initiatrice) en se combinant avec la défaillance des barrières de sécurité engendre un scénario qui entraîne une conséquence spécifique. La fréquence de l'événement initiateur est nécessaire à établir pour l'application de la méthode LOPA. Les différentes valeurs utilisées sont regroupées au tableau suivant.

Tableau IV.4 : *Fréquences d'occurrences des causes initiatrices*

| Causes initiatrices | Fréquences d'occurrences (/an) |
|---|---------------------------------------|
| Défaillance de la boucle de régulation de niveau | 0.1 |
| Fuite au niveau de la partie liquide | 0.01 |
| Feu à proximité | 0.01 |
| Probabilité de présence d'une source d'ignition = 0.5 /an (<i>facteurs aggravants</i>) | |

○ *Les PFD (probabilité de défaillance) des couches de protection*

A l'image des fréquences des événements initiateurs, les probabilités de défaillance des différentes couches de protection sont nécessaires pour l'estimation des fréquences. Les valeurs utilisées sont fournies au tableau IV.5.

Tableau IV.5 : PFD des couches de protections [ICSI, 2006]

| Barrières | Probabilités de défaillance PFD _{moy} (/an) |
|------------------------------|---|
| Détecteur de gaz | 0.1 |
| LG (Level Glass) + Operateur | 0.1 (<i>PFD_{moy} operateurs négligeable</i>) |
| Soupape de sécurité (PSV) | 0.01 |
| Hydro-moniteur | 0.1 |
| Skid à mousse | 0.1 |
| Alarme | 0.1 |

○ *Paramètres fiabilistes des composants du système à étudier*

Toutes les données et caractéristiques de fiabilité des éléments qui viennent d'être évoquées sont regroupées au tableau IV.6.

Tableau IV.6: Paramètre fiabilistes des composants du système à étudier [PDS DATA]

| Composant | Taux de défaillance λ ($10^{-6} \cdot h^{-1}$) | Taux de défaillance dangereuse non détectées λ_{DU} ($10^{-6} \cdot h^{-1}$) | DC _D % | DC _{ST} % | Taux moyen de réparation MTTR(h) |
|------------------------|--|--|-------------------|--------------------|----------------------------------|
| Vanne de régulation | 2.8 | 0.8 | 25 | 0 | 8 |
| Vanne de sécurité | 5.4 | 2 | 25 | 0 | 8 |
| Unité logique (PLC) | / | 0.1 | / | / | 8 |
| Pompe | 0.3 | / | 0 | 100 | NA |
| Transmetteur de niveau | 3 | 0.6 | 60 | 50 | 8 |

Notons que certains composants peuvent avoir deux types de défaillances, selon leurs effets :

- *Défaillance dangereuse (dangerous failure : D)* : défaillance qui a la potentialité de mettre le système relatif à la sécurité (SIS) dans un état dangereux ou dans l'impossibilité d'exécuter sa fonction. Ces défaillances peuvent être ou non détectées (Défaillances dangereuses détectées DD, défaillances dangereuses non détectées DU)

- *Défaillance en sécurité (safe failure : S)* : Défaillance intempestive qui tend à anticiper le déclenchement de la SIF (en l’absence de toute demande). Ces défaillances peuvent être ou non détectées (Défaillances en sécurité détectées DD, défaillances en sécurité non détectées DU).

Les défaillances détectées peuvent être réparées après une durée moyenne égale à MTTR, et les défaillances non détectées ne peuvent être révélées que lors de tests périodiques hors ligne (de période égale à T1).

Les lois de probabilité (indisponibilité Q(t)) régissant les deux types de défaillances (détectée et non détectée) sont données ci-après :

- Défaillance détectée (λ_{DD} , $\mu = 1/MTTR$) :

$$Q(t) = \lambda_{DD} / (\lambda_{DD} + \mu) \cdot (1 - e^{-(\lambda_{DD} + \mu)t})$$

- Défaillance non détectée (λ_{DU} , $\mu = 1/MTTR$) : pour une MTTR > 0, la loi de probabilité correspondante est très compliquée. Nous donnons ici une version simplifiée de cette loi pour une MTTR=0 (réparation instantanée) :

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda_{DU} t}, \text{ pour } t \in [k T1, (k+1) T1] \text{ avec } (k \in N)$$

IV.2.2.3. Application de la méthode LOPA sur le ballon de reflux de GPL V-8

La fréquence de l’événement redouté (F_C) s’obtient en multipliant la fréquence de l’événement initiateur (F_{IE}) par les probabilités moyennes de défaillance à la demande (PFD_{moy}^i) de chaque couche de protection :

$$F_C = F_{IE} \times \prod_i PFD_{moy}^i$$

Si $F_C > F_t$, il est nécessaire d’ajouter une couche de protection de type SIS (Système Instrumenté de Sécurité) et de calculer la PFD_{moy}^{sis} (PFD_{avg} : probabilité moyenne de défaillance à la demande du SIS) à l’aide de l’équation suivante. Le résultat obtenu doit ensuite être comparé au (tableau II.1) afin de déterminer le niveau d’intégrité de sécurité (**SIL**) requis pour le SIS :

$$F_C = F_{IE} \times \prod_i PFD_{moy}^i \times PFD_{moy}^{sis} \leq F_t \implies PFD_{moy}^{sis} \leq \frac{F_t}{F_{IE} \times \prod_i PFD_{moy}^i}$$

Tableau IV.7 : Tableau LOPA et calculs des PFD_{avg} des SIFs de ballon de reflux de GPL V-8

| Évènement à impact | Degré de gravité | Fréquence tolérable (/an) | Cause initiatrice | Fréquence d'occurrence d'une cause initiatrice (/an) | Couches de protection | PFD_{moy} des couches de protection | Fréquence intermédiaire D'occurrence de | Fréquence totale (/an) | SIF | PFD_{avg} de SIF | Niveau d'intégrité de sécurité (SIL) |
|---|------------------|---------------------------|--|--|--------------------------|---------------------------------------|---|------------------------|---------------|--------------------|--------------------------------------|
| <i>Le passage de liquide GPL dans la ligne d'eau huileuse</i> | G1 | 10^{-4} | Défaillance de la boucle de régulation de niveau d'eaux huileuse | 0.1 | LG 24 + operateur | 0.1 | 10^{-3} | 10^{-3} | LALL-2155 | 10^{-1} | SIL1 |
| | | | | | Détecteur de gaz AI-2151 | 0.1 | | | | | |
| <i>Le passage de liquide GPL vers la ligne de fuel gaz</i> | G1 | 10^{-4} | Défaillance de la boucle de régulation de niveau du liquide GPL | 0.1 | LG 23 A/B+ operateur | 0.1 | 10^{-2} | 10^{-2} | LAHH-2151 (A) | 10^{-2} | SIL1 |
| <i>Surpression suite à un niveau élevé dans le ballon</i> | G1 | 10^{-4} | Défaillance de la boucle de régulation de niveau du liquide GPL | 0.1 | PSV-50 | 0.01 | 10^{-4} | 10^{-4} | LAHH-2151 (B) | 1 | NA |
| | | | | | LG 23 A/B+ operateur | 0.1 | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----|------------------|---|------|--------------------------|--|------------------|-------------------------|--|------------------------|------|
| Cavitation des pompes P-93 A/B | G2 | 10 ⁻⁴ | Fuite au niveau de la partie liquide de GPL | 0.01 | Détecteur de gaz AI-2152 | 0.1 | 10 ⁻⁴ | 1.01 * 10 ⁻² | LALL-2151 | 9.9 × 10 ⁻³ | SIL2 |
| | | | | | LAL-21 | 0.1 | | | | | |
| | | | Défaillance de la boucle de régulation de niveau du liquide GPL | 0.1 | LG 23 A/B+ operateur | 0.1 | 10 ⁻² | | | | |
| Le phénomène de BLEVE | G4 | 10 ⁻⁴ | Feu à proximité du ballon V-8 (grande envergure) | 0.01 | Système déluge à eau | 1 : (le refroidissement n'est pas suffisant pour contrôler la température en cas de feu de grande envergure) | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁴ | SIF à ajouter : extinction automatique | 1 | NA |
| | | | | | Hydro-moniteur | 0.1 | | | | | |
| | | | | | Skid à mousse | 0.1 | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------|------------------------|---|------------------|-------------------------------|---|----------------------------|------------------------------|--|----------|-----------|
| | | | | | Extincteur à poudre ABC | 1 : (la capacité de l'extincteur est faible pour un feu de grande envergure) | | | | | |
| | | | | | BPCS (PT-21/PIC-21/PV-21/21A) | 1 : (l'ouverture de la PV21A ne suffit pas pour contrôler la pression en cas de feu de grande envergure) | | | | | |
| | | | | | PSV-50 | 1 : (la PSV ne suffit pas pour contrôler la pression en cas de feu de grande envergure) | | | | | |
| <i>Le phénomène d'UVCE</i> | G4 | 10⁻⁴ | Défaillance de la boucle de régulation de niveau d'eaux huileuses | 0.1 x 0.5 | LG 24 + operateur | 0.1 | 5 x 10⁻⁴ | 5.5 x 10⁻⁴ | SIF à ajouter : action de sécurité automatique liée à la détection de gaz | 1 | NA |
| | | | | | Détecteur de gaz AI-2151 | 0.1 | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|---|-------------------|--------------------------|------------|--------------------|--|--|--|--|
| | | | Fuite au niveau de la partie liquide de GPL | 0.01 x 0.5 | Détecteur de gaz AI-2152 | 0.1 | 5×10^{-5} | | | | |
| | | | | | LAL-21 | 0.1 | | | | | |

IV.3. Analyse de la Conformité des SIFs : Estimation de la PFD_{avg} et du SIL Réel à l'aide de GRIF via logiciel GRIF – Module SIL

A partir de la méthode LOPA nous avons Dans cette partie, nous allons déterminer les **SILs réels** de chaque **SIF** associé au ballon de reflux de GPL V-8, afin de vérifier la conformité du SIS pour chaque SIF de notre système étudié, nous avons quantifié la fiabilité des fonctions de sécurité en calculant la PFD_{avg} (probabilité moyenne de défaillance sur demande à l'aide du module SIL du logiciel GRIF, puis les comparer aux **SILs requis**, précédemment obtenus par la méthode **LOPA**.

❖ **Scénario 1** : Cavitation des pompes P-93 A/B (SIF : LALL-2151)

Les Paramètres fiabilistes des composants de (SIF : LALL-2151) et les résultats des de calculs de SIL réels sont donnes dans les figures suivantes :

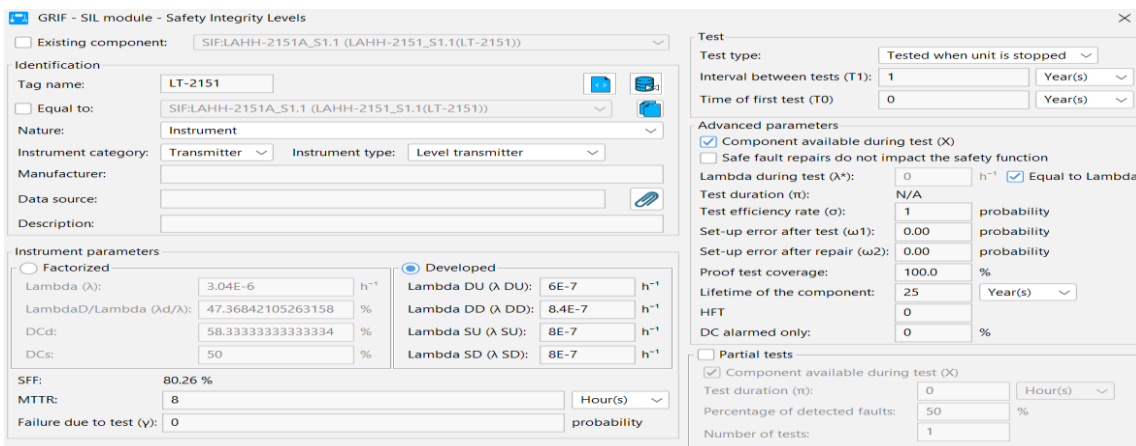


Figure IV.5 : Les Paramètres fiabilistes de transmetteur de niveau de SIF : LALL-2151 par logiciel GRIF (module SIL)

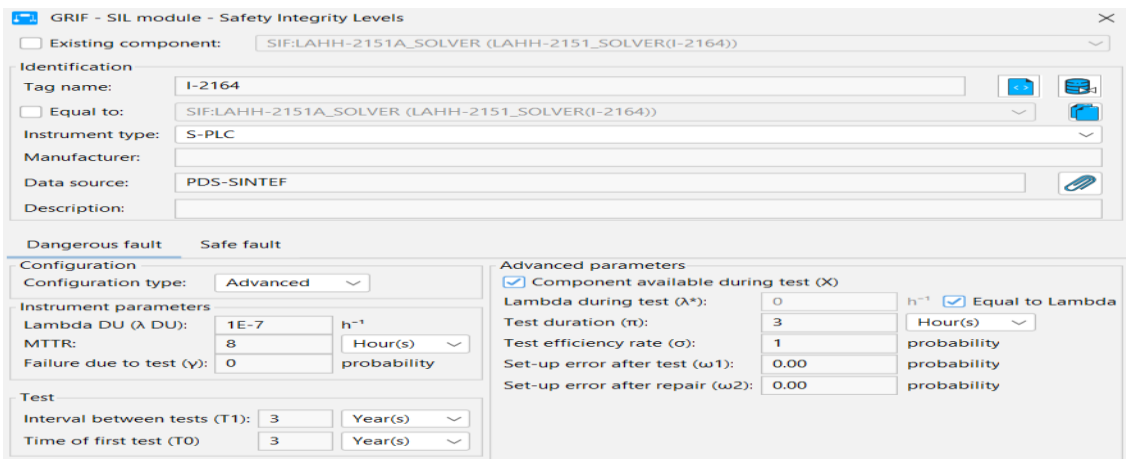


Figure IV.6 : Les Paramètres fiabilistes de l'unité logique de SIF : LALL-2151 par logiciel GRIF (module SIL)

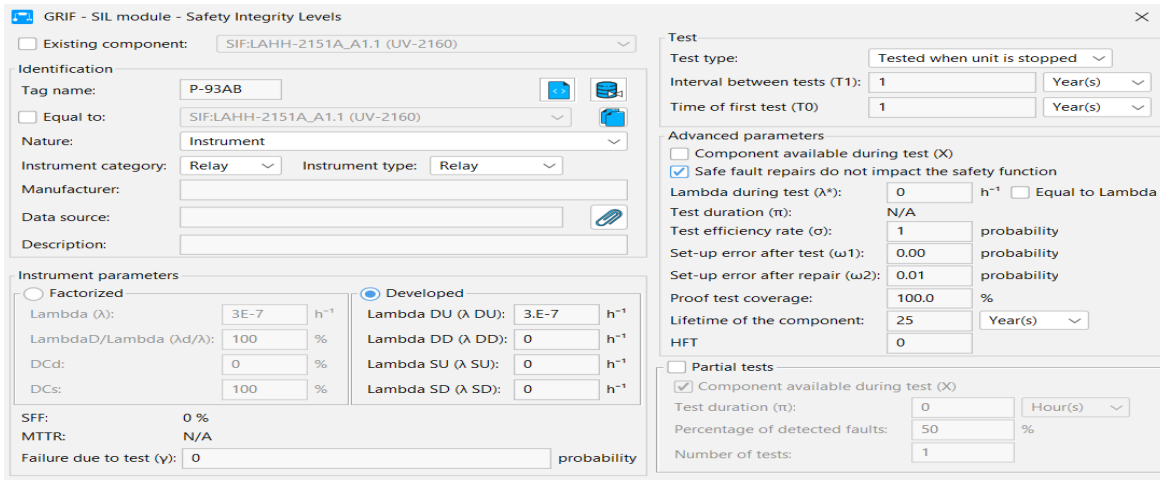


Figure IV.7 : Les Paramètres fiabilistes de l'actionnaire (pompe) de SIF : LALL-2151 par logiciel GRIF (module SIL)

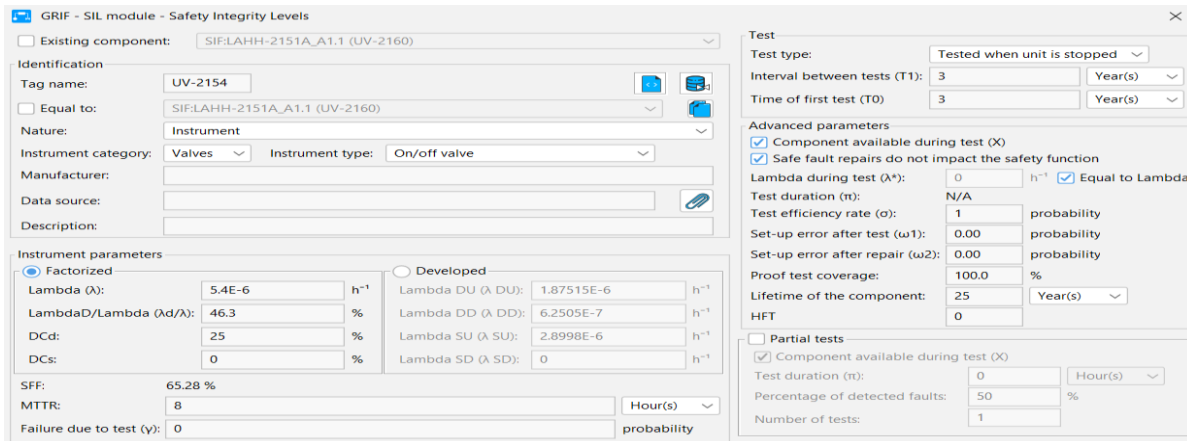


Figure IV.8 : Les Paramètres fiabilistes de l'actionnaire (vanne de sécurité) de SIF : LALL-2151 par logiciel GRIF (module SIL)

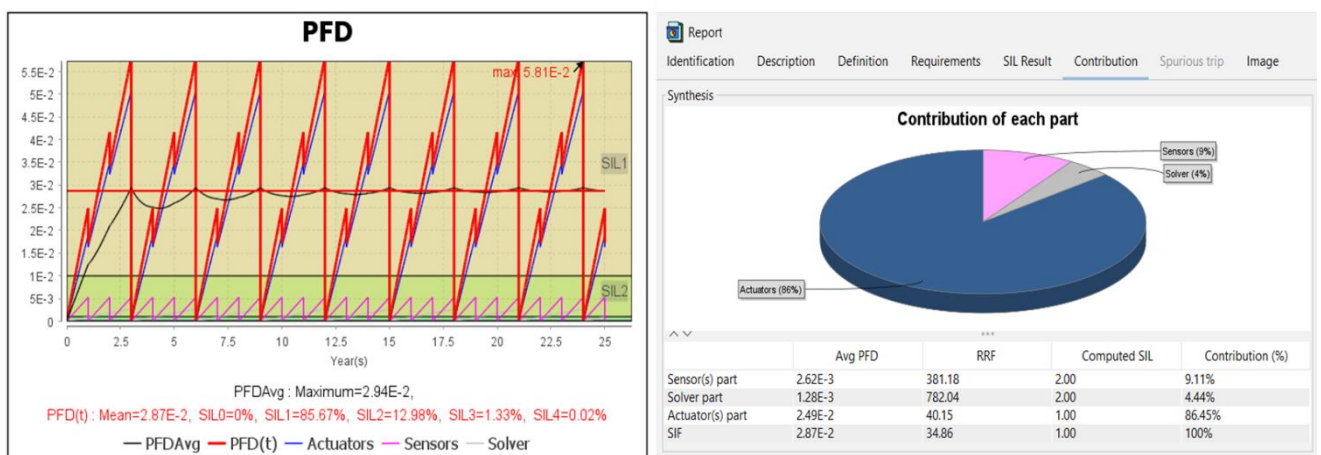


Figure IV.9 : Les PFD et la contribution de chacun des sous-ensembles des éléments de SIF : LALL-2151 par logiciel GRIF (module SIL)

Les calculs conduits à l'aide du précédent logiciel ont abouti à une valeur moyenne de la PFD égale à 2.941E-2 cette valeur correspond à un SIL2 pour le système global (tous les composants de la SIF sont pris en compte). Donc la SIF de sécurité de très bas niveau de liquide de GPL est **inférieure** au SIL requis (SIL1) : $SIL(SIF : LALL-2151)(SIL1) > SIL\ requis(SIL2)$.

Par conséquent, la fonction instrumentée de sécurité (SIF) concernée n'atteint pas le niveau de sécurité nécessaire pour garantir une protection suffisante contre l'événement redouté.

Afin de satisfaire aux exigences de sécurité fonctionnelle définies par les normes IEC 61508 / IEC 61511, il est recommandé de :

1. **Renforcer l'architecture du système**, par exemple en ajoutant de la redondance (passer de 1oo1 à 1oo2 ou 2oo3).
2. **Améliorer la fiabilité des composants** (capteurs, logique, actionneurs) en sélectionnant des équipements certifiés avec de meilleures performances (PFD plus faibles).
3. **Réduire l'intervalle des tests périodiques**, ce qui peut abaisser la PFD_{avg} .

❖ **Scénario 2** : *Le passage de liquide GPL dans la ligne d'eau huileuse (SIF : LALL-2155)*

Les Paramètres fiabilistes des composants de (SIF : LALL-2155) et les résultats des de calculs de SIL réels sont donnés dans les figures suivantes :

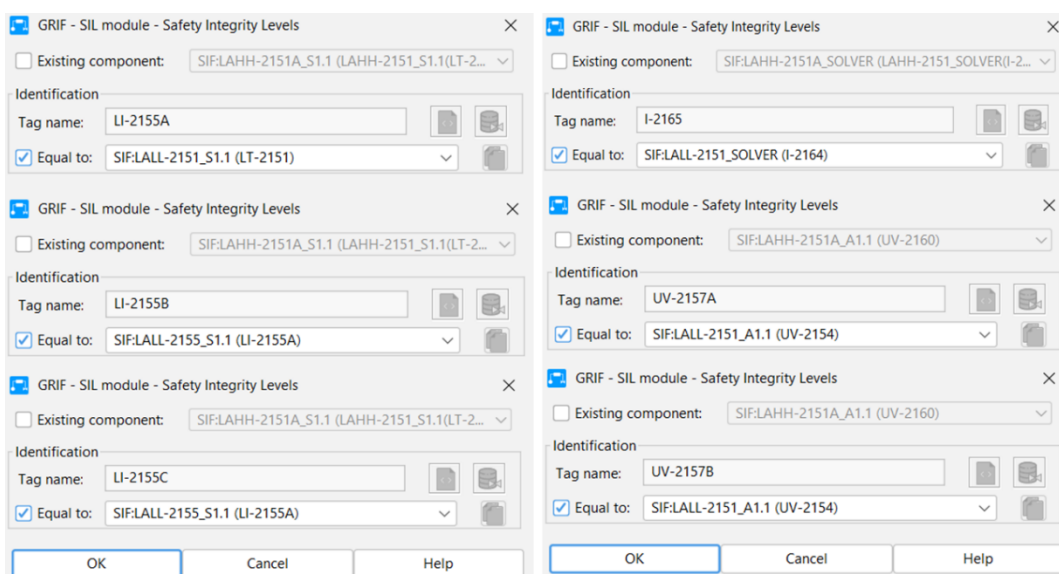


Figure IV.10: Les Paramètres fiabilistes des sous-ensembles des éléments de SIF : LALL-2155 par logiciel GRIF (module SIL)

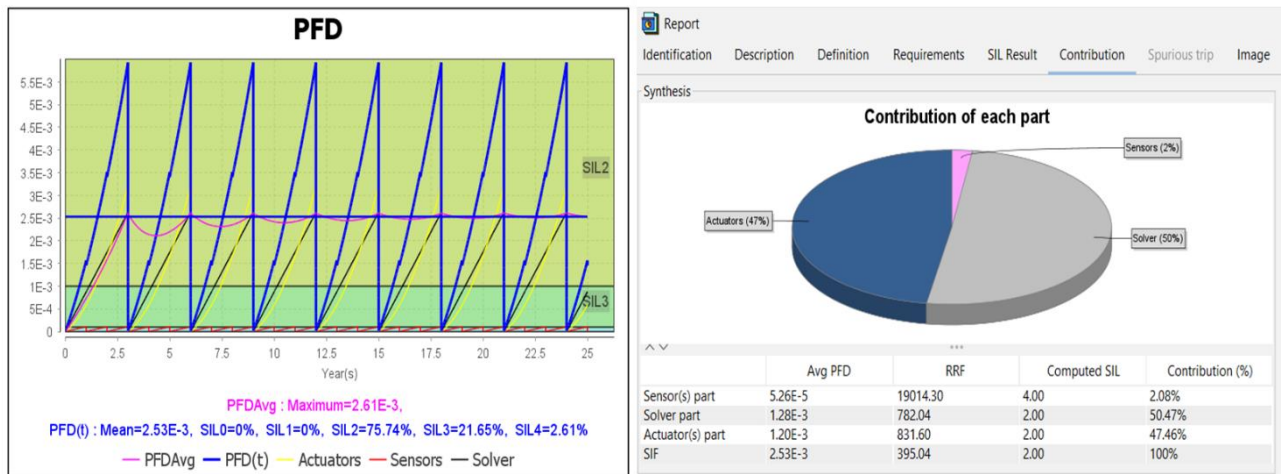


Figure IV.11 : Les PFD et la contribution de chacun des sous-ensembles des éléments de SIF : LALL-2155 par logiciel GRIF (module SIL)

Les calculs conduits à l'aide du précédent logiciel ont abouti à une valeur moyenne de la PFD égale à 2.61E-3 cette valeur correspond à un SIL2 pour le système global (tous les composants de la SIF sont pris en compte). Donc la SIF de sécurité de très bas niveau d'eau huileuse est **supérieure** au SIL requis (SIL1) : $SIL(SIF : LALL-2155) (SIL2) > SIL\ requis (SIL1)$.

Cela signifie que le système instrumenté de sécurité (SIS) mis en place assure un niveau de réduction du risque satisfaisant, voire conservateur, conformément aux exigences des normes IEC 61508 / IEC 61511.

Par conséquent, aucune mesure corrective n'est nécessaire, et le système peut être considéré comme conforme aux exigences de sécurité fonctionnelle définies pour l'installation.

❖ **Scénario 3 :** Le passage de liquide GPL vers la ligne de fuel gaz (SIF : LAHH-2151

A)

Les Paramètres fiabilistes des composants de (SIF : LAHH-2151 A) et les résultats des de calculs de SIL réels sont donnés dans les figures suivantes :

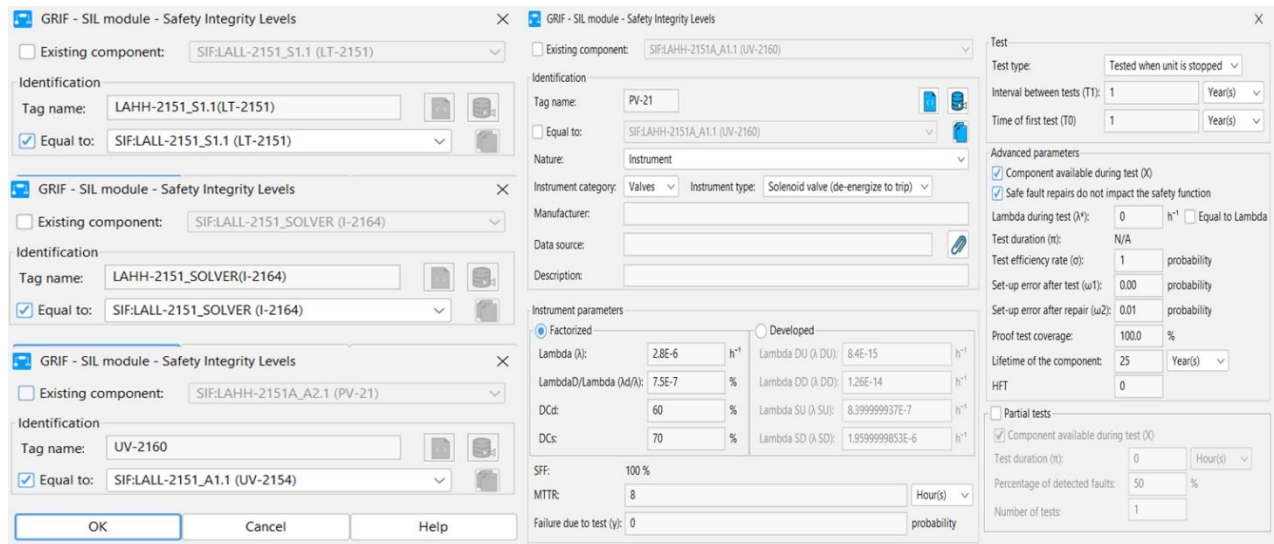


Figure IV.12: Les Paramètres fiabilistes des sous-ensembles des éléments de SIF : LAHH-2151 A par logiciel GRIF (module SIL)

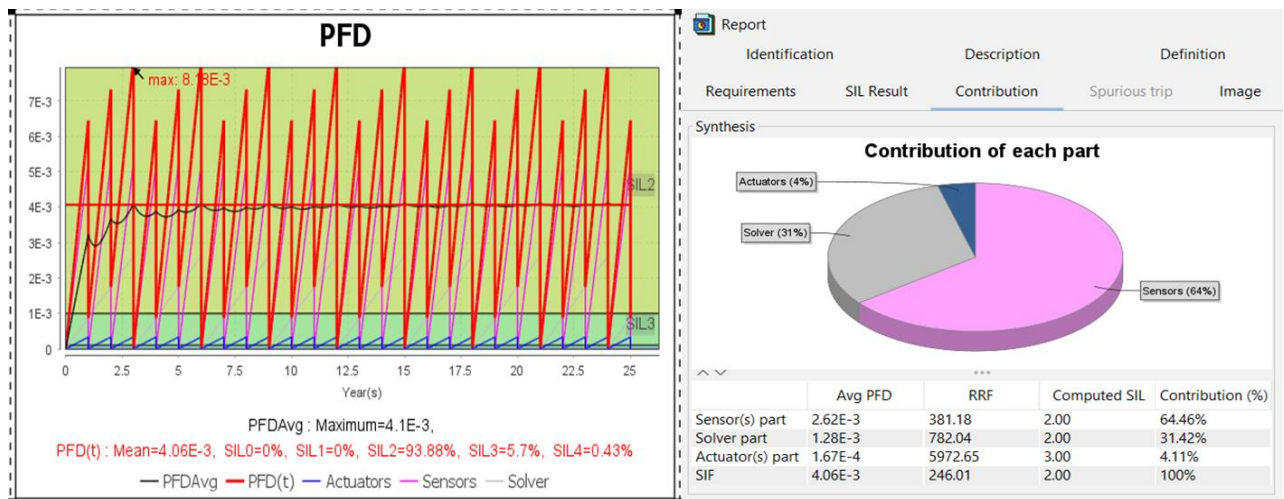


Figure IV.13 : Les PFD et la contribution de chacun des sous-ensembles des éléments de SIF : LAHH-2151 A par logiciel GRIF (module SIL)

Les calculs réalisés à l’aide du logiciel ont abouti à une valeur moyenne de PFD de 4.1E-3, correspondant à un SIL 2 pour le système global, en prenant en compte l’ensemble des composants de la SIF. Ainsi, la fonction instrumentée de sécurité liée au très haut niveau de liquide de GPL (SIF : LAHH-2151) atteint un SIL supérieur au SIL requis : ($SIL(SIF : LAHH-2151) (SIL2) > SIL\ requis (SIL1)$).

Cela démontre que le Système Instrumenté de Sécurité (SIS) en place garantit un niveau de réduction du risque suffisant, voire plus élevé que nécessaire, en conformité avec les exigences des normes IEC 61508 et IEC 61511.

En conséquence, aucune mesure corrective n'est requise, et le système peut être considéré comme conforme aux exigences de sécurité fonctionnelle définies pour l'installation.

IV.4. Modélisation des conséquences d'un BLEVE à l'aide d'ALOHA

Afin d'évaluer les conséquences potentielles (effets thermiques, surpression, zones d'impact) des phénomènes dangereux sur les personnes, les installations et l'environnement, une simulation des scénarios de type BLEVE et UVCE a été réalisée à l'aide du logiciel ALOHA.

❖ Scénario 1 : BLEVE (boule de feu)

- **Origine de l'accident** : Un incendie à proximité, dont le flux thermique provoque la montée en pression du réservoir, jusqu'à son éclatement dès lors que la pression interne devient supérieure à la résistance du matériau constituant le ballon.

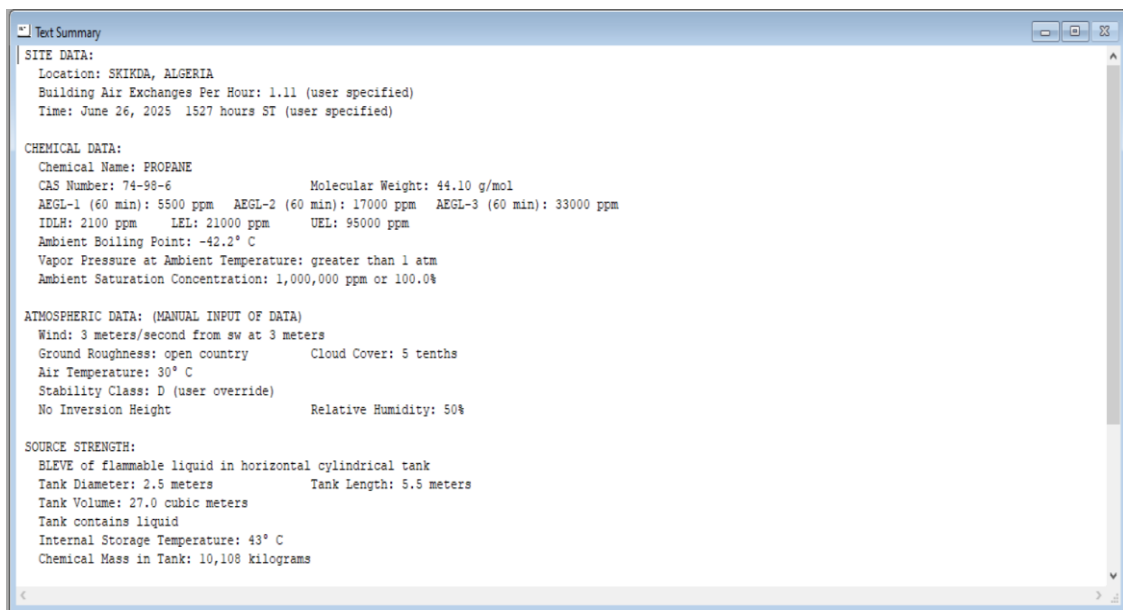


Figure IV.14 : Données de calcul pour le phénomène du BLEVE modélisé par logiciel ALOHA

(Note : Le GPL est riche en propane, c'est pourquoi nous avons le choisir pour la simulation du phénomène de BLEVE)

La figure suivante présente une modélisation de l'ampleur de scénario.

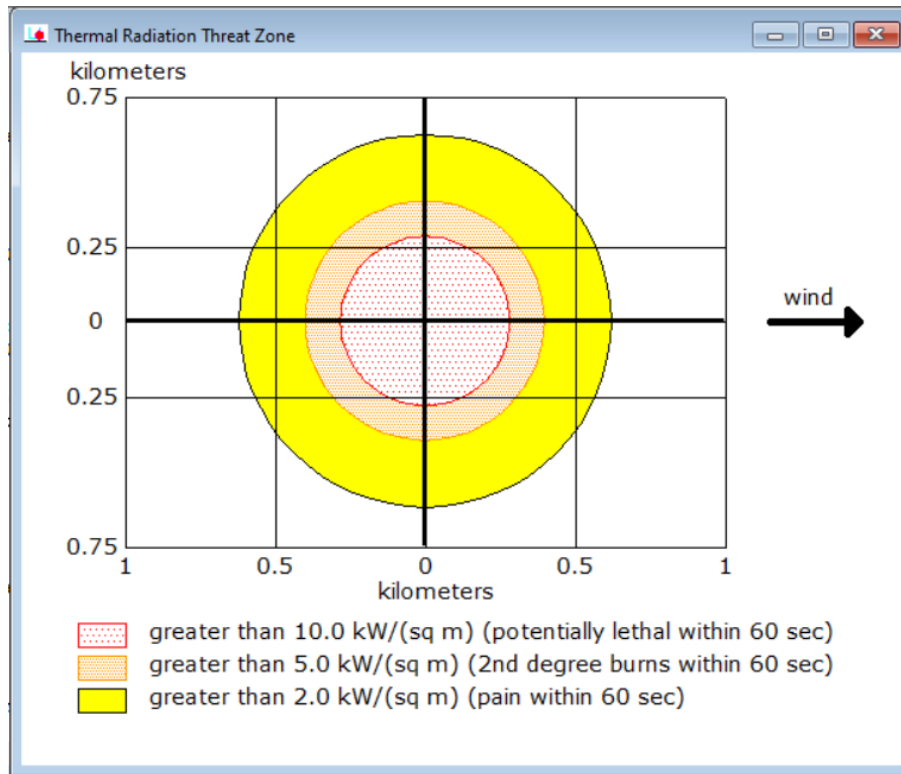


Figure IV.15 : Cartographie des zones menacées par les effets de surpression de BLEVE modélisé par logiciel ALOHA

Tableau IV.8 : Distances des effets de BLEVE sur l’homme

| Seuil thermique | Effet sur l’homme | Distance estimée (Km) |
|---|---|-----------------------|
| (Zone létale) > 10 kW/m ² | Mortel rapide | 0,29 |
| (Zone de brûlures graves) > 5 kW/m ² | Brûlures sévères (2 ^e degré) | 0,29 à 0,40 |
| (Zone de douleur et risque modéré) > 2 kW/m ² | Douleur, brûlures modérées | 0,40 à 0,62 |

❖ Scénario 2 : UVCE

- **Origine de l’accident :** Un nuage de vapeurs de GPL né d’une fuite dans la partie liquide de ballon V-8 de GPL rencontre une source d’inflammation, les vapeurs inflammables commencent à s’enflammer. Le front de flamme se propage au travers du mélange non brûlé sous forme d’une explosion.

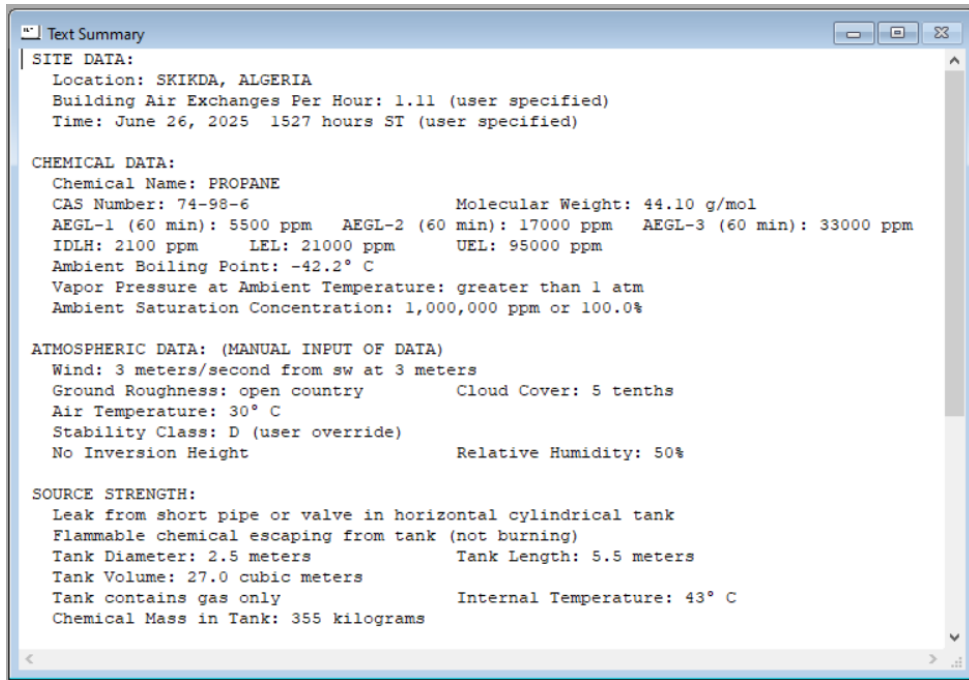


Figure IV.16 : Données de calcul pour le phénomène du BLEVE modélisé par logiciel ALOHA

La figure suivante présente une modélisation de l’ampleur de scénario.

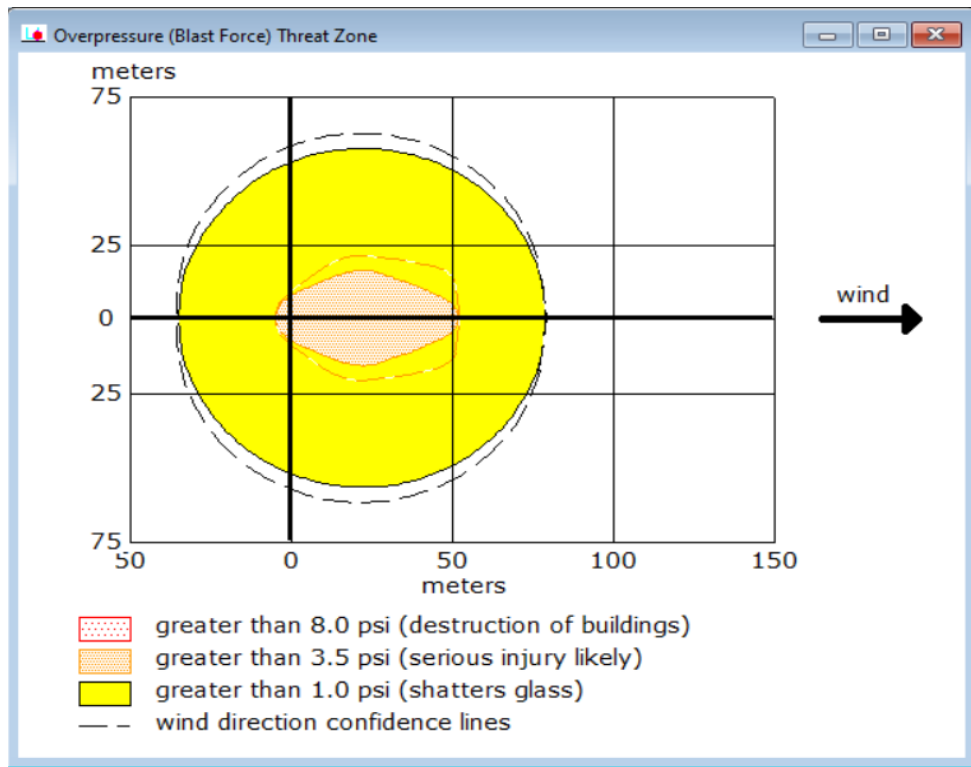


Figure IV.17: Cartographie des zones menacées par les effets de surpression de l’explosion modélisé par logiciel ALOHA

Tableau IV.9 : Distances des effets de l'explosion sur l'homme.

| Seuil thermique | Effet sur l'homme | Distance estimée (Km) |
|---|---|-----------------------|
| (Zone létale) > 8.0 psi | Mortel rapide | - |
| (Zone de brûlures graves) > 3.5 psi | Brûlures sévères (2 ^e degré) | 15.3 |
| (Zone de douleur et risque modéré) > 1.0 psi | Douleur, brûlures modérées | 15.3 à 55.9 |

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre on a identifié les risques potentiels relatifs au ballon de reflux de GPL V-8 à l'aide de la méthode HAZOP, on a aussi quantifié ces risques à l'aide de la méthode LOPA et de vérifier la performance de système instrumente de sécurité SIS de chaque fonction instrumentée de sécurité par le logiciel GRIF. Une simulation des phénomènes majeurs (BLEVE & UVCE) à l'aide du logiciel ALOHA a également été conduite afin de bien apprécier les conséquences identifiées.

Les six scénarios étudiés ont fait ressortir :

- 3 scénarios en zone inacceptable.
- 3 scénarios en zone ALARP

Ceci nous a amené à faire une étude de performance des barrières de sécurité existantes, plus précisément, les systèmes instrumentés de sécurité (SIS) par logiciel GRIF (module SIL), ceci nous a permis d'identifier les niveaux SIL réels des SIS (SIL 1 pour la majorité des SIS étudiés) et nous les avons comparés au niveau de SIL requis identifié par la méthode LOPA.

Cette comparaison a fait ressortir que le niveau de SIL réel est en dessous du SIL requis, qui a pour conséquence un niveau bas de fiabilité des SIS, et qui se traduit par une probabilité de défaillance des SIS assez élevée, donc une fréquence d'occurrence d'un incident assez élevée aussi.

Afin de réduire la fréquence d'occurrence des scénarios étudiés, nous devons augmenter le niveau de fiabilité des SIS, pour cela, nous recommandons la mise en place d'un certain nombre d'actions à mettre en place.

Conclusion générale

La gestion des risques est souvent définie comme un processus itératif visant à maîtriser les dangers potentiels. Cette maîtrise passe par une évaluation rigoureuse des risques permettant d'identifier les barrières de sécurité nécessaires pour maintenir le niveau de risque aussi bas que possible. Cela implique une bonne connaissance des performances de ces barrières, afin de juger de leur adéquation face aux niveaux de risque préalablement établis.

Dans ce cadre, le présent travail porte sur l'identification des systèmes de sécurité d'une installation industrielle et l'évaluation de la performance, en termes de probabilité de défaillance, de l'un de ces systèmes. Le système analysé dans ce rapport est un système instrumenté de sécurité (SIS), de plus en plus utilisé dans les secteurs industriels à hauts risques, en raison de leur fiabilité et de leur efficacité à maîtriser les déviations dangereuses.

Dans le premier chapitre, nous avons défini clairement le périmètre de notre étude, en commençant par une présentation générale de la sécurité industrielle, suivie d'une description des systèmes de sécurité et des méthodes HAZOP et LOPA, que nous avons adoptées pour l'évaluation quantitative du système étudié : le ballon de reflux de GPL.

Le deuxième chapitre est consacré à la sécurité fonctionnelle, aux concepts liés aux SIS, au principe ALARP, au risque tolérable ainsi qu'aux méthodes d'allocation du niveau SIL.

Nous avons ensuite présenté l'entreprise où s'est déroulé notre stage pratique : la raffinerie de Skikda. Une attention particulière a été portée à l'unité de distillation atmosphérique (Topping), lieu de notre étude.

Dans le chapitre IV, le système instrumenté de protection du ballon a été détaillé à travers son manuel opératoire. Nous avons présenté ses différents composants et principes de fonctionnement. Sur cette base, la fiabilité des fonctions de sécurité a été quantifiée en calculant la PFDavg (probabilité moyenne de défaillance sur demande) à l'aide du module SIL du logiciel GRIF. Par la suite, une modélisation des phénomènes dangereux a été réalisée à l'aide du logiciel ALOHA.

Ces démarches visent à réduire la fréquence des scénarios critiques et à renforcer la sécurité globale du système.

Nous espérons que ce rapport contribuera, d'une manière ou d'une autre, à une meilleure prise en compte de la fréquence des accidents dans les études de sécurité.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

[Asklou, 2018] : Asklou, N. (2019). Contribution à la maîtrise des systèmes instrumentés de sécurité (SIS). Doctoral dissertation, Université d'Oran 2, IHSI.

[BOULAHIA, 2018] : Boulahia, H. (2018). Étude et analyse des risques dans un mécanisme industriel « chaudière gb1150 c ». Mastères thésis, Université Badji Mokhtar, Annaba.

[Bouaricha, N, 2024] : Bouaricha, N. (2024). Consommation d'énergie en Algérie : Le gaz naturel se taille la part du lion. El Watan.

[Bourekda, A, 2008] : Bourekda, A. (2008). Prévention des risques professionnels : d'une démarche réactive à une démarche proactive « *Changement de perspective dans la mesure de risque professionnel* ». Centre d'Études Supérieures Industrielles.

[CEI 61508] : IEC 61508, « *Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic (E/E/PE) safety related systems* », Comité d'électrotechnique internationale : *Répondre aux exigences de la norme de sureté de fonctionnement industriel*.

[CEI 61508, 1998]: IEC 61508, « *Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic (E/E/PE) safety related systems* », Comité d'électrotechnique internationale, Genève, 1998.

[CEI 61508, 2010]: IEC 61508, « *Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic (E/E/PE) safety related systems* », Comité d'électrotechnique internationale, parties 1-7, Genève, 2010.

[CEI 50126, 2000] : IEC 50126. *Applications ferroviaires : Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS)*, Comité d'électrotechnique internationale, Genève, 2000.

[CCPS, 2001]: *Layer of Protection Analysis - Simplified process risk assessment*, CCPS, 2001.

[CEI 61511, 2016] : Sécurité fonctionnelle – Systèmes instrumentés de sécurité pour le secteur des industries de transformation, 2016.

[CEI 62061, 2021] : CEI 62061 « Sécurité des machines – Aspects fonctionnels de sécurité des systèmes de commande électriques, électroniques et électroniques programmables », Comité d'électrotechnique internationale, Genève, 2021.

[CEI 61513, 2011] : CEI 61513 « systèmes d'instrumentation et de contrôle importants pour la sûreté – Principes généraux pour les centrales nucléaires », Genève, 2011

[CHBIRA, 2016] : CHBIRA, *L'explosion et l'incendie, cours présenté à IHSI Université de Batna*, 2016.

[Desroches et al, 2003] : A. Desroches, A. Leroy, and F. Vallée, *La gestion des risques : principes et pratiques*, Lavoisier, France, 2003.

[David et al, 2006]: David Woods, Nancy Leveson, Erik Hollnagel, *Resilience Engineering - Concepts and Precepts*, Ashgate Publishing Ltd, 2006.

[ENSPM, 2006] : ENSPM, Cour D1-2/A, *Tuyauterie - robinetterie - matériel de stockage des gaz liquéfiés*, 2009.

[ENSPM, 2009] : ENSPM, Cour D1-2/A, *Tuyauterie - robinetterie - matériel de stockage des gaz liquéfiés*, 2009.

[Farmer, 1967]: F. R. Farmer, *Siting criteria: a new approach*, Atom, 128: pp. 152–166, 1967.

[FERMA, 2002] : The Federation of European Risk Management Associations (FERMA), *Cadre référence de la gestion des risques*, 2002.

[Fae, Durka, 2000] : E. Fae, J. L. Durka, *Conception et évaluation de la sécurité fonctionnelle des systèmes instrumentés de sécurité*, Rapport Final, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, INERIS, 2000.

[Goble, 1998]: W. M. Goble, *Control systems safety evaluation and reliability* (2nd edition), Research triangle park (NC), ISA (The instrumentation, Systems, and Automation Society), 1998.

[GESIP] : *Groupe d'étude de sécurité des industries pétrolières et chimiques GESIP, Danger des feux*.

[HSE SONATRACH] : Formation ingénieur HSE SONATRACH aval compléments sur la quantification des conséquences et des risques d'accident. Partie : *Analyse quantitative des risques /QRA*.

[HAMMADI et al, 2019] : Mémoire de fin d'étude : Etude et vérification des vapeurs de propane dans les bacs de stockage à basse température. Préparé par : HAMMADI Omar, HAMMOU Benadda. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, Année Universitaire 2018/2019, page 05.

[ISO 45001, 2018] : ISO 45001, *Systèmes de management de la sécurité et santé au travail*, ISO, 2018.

[ISO Guide 73, 2002]: ISO/CEI Guide 73. *Management du risque – Vocabulaire – principes directeurs pour les inclure dans les normes*, ISO/CEI, 2002.

[ISO/IEC Guide 51, 2014]: ISO/IEC Guide 51. *Safety aspects: Guidelines for their inclusion in standards*. Geneva, ISO/IEC 2014]

[ISO/CEI Guide 51, 1999]: ISO/CEI Guide 51. *Aspects liés à la sécurité – principes directeurs pour les inclure dans les normes*, ISO/CEI Guide 51, 1999.

[INERIS, 2006] : Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle, INERIS-DRA-35, 2006.

[INERIS, 2009] : *Démarche d'évaluation des Barrières Humaines de Sécurité*, Oméga 20, INERIS, 2009.

[INERIS, 2005] : INERIS-DRA-039, *Evaluation des Barrières Techniques de Sécurité*, rapport Oméga 10, INERIS, 2005.

[INERIS, 2008] : *Evaluation des performances des Barrières Techniques de Sécurité*, Oméga 10, INERIS, 2008.

[INERIS ARAMIS, 2004] : BCRD ARAMIS, *Développement d'une méthode intégrée d'analyse des risques pour la prévention des accidents majeurs*, INERIS, 2004.

[IEC 61882, 2016] : IEC 61882 « Études de danger et d'exploitabilité (études HAZOP) – Guide d'application », Termes et définitions. Comité d'électrotechnique international. 2016

[ICSI, 2006] : *Travaux du groupe d'échange « Fréquence des événements initiateurs d'accidents »*, l'institut pour une culture de sécurité industrielle (ICSI), 2006.

[KAHALERRAS, 2007] : KAHALERRAS Abdelmalek, *Evaluation quantitative des risques liés à l'exploitation du bac de stockage de gazoline à Toit flottant 59-TK-158 au niveau du complexe GL1/K, IAP*, 2007.

[Kosmowski, 2006]: T. Kosmowski, *Functional safety concept for hazardous systems and new challenges*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 19, pp. 298305, 2006.

[LRP] : Complexe de RA1K de SKIKDA, *activité LRP division raffinage*.

[Maslow, 2013]: A. Maslow, *Toward a psychology of being*, Editions Simon and Schuster, 2013.

[Manuelle opératoire] : Manuelle opératoire du complexe RA1K, Skikda.

[Mkhida, 2008] : A. Mkhida, *Contribution à l'évaluation de la sûreté de fonctionnement des Systèmes Instrumentés de Sécurité intégrant de l'Intelligence*. PhD thesis, Nancy Université, Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 2008.

[Mannan, 2012]: Mannan, S, *Lees' Loss Prevention in the Process Industries 4th.ed*, Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2012.

[Nguyen, 2008] : Nguyen Thuy LE, Ahmed ADJADJ, Sylvain CHAUMETTE, Sébastien BOUCHET, Valérie DE DIANOUS, « *Evaluation des performances des Barrières Techniques de Sécurité Ω10* », rapport d'étude N° INERIS-DRA-08-95403-01561B, 01/09/2008.

[PDS DATA]: Hauge, S. (2013). Reliability Data for Safety Instrumented Systems: PDS Data Handbook (2013 ed.) (SINTEF report A24443; ISBN 978-82-14-05600-6). SINTEF Technology and Society, Trondheim, Norway.

[Sellak, 2007] : M. Sellak, *Évaluation de paramètres de sûreté de fonctionnement en présence d'incertitudes et aide à la conception : application aux systèmes instrumentés de sécurité*, Thèse de Doctorat soutenue à l'Ecole doctorale IAEM lorraine, 19 octobre 2007

[Salle de contrôle] : Salle de contrôle, unité de Topping, complexe RA1K, SKIKDA.

[Techs ING 1] : Document PDF : Techniques de l'Ingénieur, Phénomène dangereux : définition. <https://www.techniques-ingenieur.fr/glossaire/phenomene-dangereux>.

[Techs ING 2] : A. Champassith, BLEVE Méthodes de modélisation des effets, réf. article : se5061, in : Techniques de l'ingénieur Risques d'explosion, Editions T.J., Paris, 2014

[Villemeur, A. 1988] : Villemeur, A. (1988). Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : Fiabilité, facteurs humains, informatisation (Collection de la Direction des études et recherches d'Électricité de France, no 67). Paris : Éditions Eyrolles.

Annexes

Annex. A

Les paramètres de performance de sécurité de SIS

[CEI 61508]

A.1. La probabilité de défaillance dangereuse (PFD et PFD_{avg})

PFD : (*Probability of Failure on Demand*), probabilité de défaillance dangereuse en cas de faible sollicitation.

$$\text{PFD} = \lambda \times 1 \text{ sollicitation}$$

C'est la probabilité que le SIS ne puisse pas réaliser la fonction de sécurité spécifiée, lors de la sollicitation de l'installation ou de son système de commande. C'est le mode le plus répandu en industrie de process.

PFD_{avg} : (*Average Probability of Failure on Demand*), moyenne des taux d'avarie durant une période donnée ou proportion de défaillances durant l'intervalle de temps T.

PFD_{avg} est une fonction de $\lambda(t)$ et de T.

$\lambda(t)$: taux d'avarie par unité de temps à l'instant t .

T : durée durant laquelle le système peut être dans un état de fonctionnement critique du fait de la non-détection de la défaillance de certains éléments (périodicité des tests) ou du temps de réparation des éléments défectueux

PFD_{avg} est comparée à la probabilité fixée par le SIL.

Les valeurs des taux d'avarie des différents éléments sont obtenues soit à partir de bases de données, soit par des essais sur des échantillons limités, soit par exploitation du retour d'expérience de l'utilisateur (la norme tient compte d'un critère « reconnu par l'usage »). Ces données doivent être exprimées sous forme statistique, c'est-à-dire en précisant leur intervalle de confiance bilatéral, au moins 90 % pour les constructeurs. Attention à la divergence des résultats en fonction :

- Des conditions des essais (conditions d'utilisation) ;
- Du type de défaillances pris en compte ;

- Des conditions d'entretien et de maintenance ;
- Des références de temps utilisées (taux par heure de fonctionnement, taux de défaillance par année type d'utilisation, taux d'avarie par 10^9 heures ou FIT).

A.2. La probabilité moyenne de défaillance par heure (PFH)

En fait, le PFH (*Probability of dangerous Failure per Hour*) n'est pas une probabilité, mais une fréquence (nombre d'avaries par heure), mais on peut confondre ces deux valeurs.

A.3. Proportion de défaillances de cause commune

Selon la norme CEI 61508 : c'est un facteur fréquemment utilisé dans la modélisation des défaillances de cause communes. Ceci permet d'estimer le taux de défaillances de cause commune applicable à deux systèmes ou plus fonctionnant en parallèle à partir du taux de défaillance aléatoire du matériel de l'un de ces systèmes. On peut affecter à ce paramètre trois valeurs : 2%, 10% et 20%

A.3.1 Taux de défaillance (MTTR)

Le terme MTTR (Mean Time To Repair) est la durée moyenne jusqu'à la réparation d'une entité réparable.

Toutes les défaillances des systèmes instrumentés de sécurité, aléatoires et systématiques, selon leurs effets peuvent être classées dans l'une des deux catégories suivantes : défaillances en sécurité (*Safe Failure*) ou défaillance dangereuses (*Dangerous Failure*) :

- *Défaillance dangereuse* : c'est une défaillance qui tend à empêcher le système de réaliser sa fonction de sécurité en cas de demande émanant de l'EUC (Equipment Under Control) qui sera alors dans un état dangereux.
- *Défaillance en sécurité* : désignée usuellement défaillance sûre, tend à anticiper le déclenchement de la fonction de sécurité, en l'absence de toute demande, en conduisant effectivement l'EUC dans un état sûr. C'est à dire tel que l'occurrence de tout événement dommageable n'y est plus possible [Noureddine, Bouhadiba, Noureddine, 2012].

Le taux de défaillance aléatoire de chaque élément (λ) peut s'écrire alors :

$$\lambda = \lambda_s + \lambda_D$$

Avec :

- λ_s : Taux de défaillance aléatoire sûr du matériel,
- λ_D : Taux de défaillance aléatoire dangereuse du matériel.

Une autre décomposition découle du fait que ces défaillances peuvent être ou non détectées par des tests en ligne (tests de diagnostic). Les premières sont appelées défaillances détectées et les secondes, qui ne peuvent être révélées que lors des tests périodiques hors ligne ou lors de la sollicitation du SIS par le système surveillé, sont dénommées défaillances non détectées.

Les équations suivantes présentent cette double décomposition :

$$\lambda = \lambda_s + \lambda_D \quad (\text{Equation 1})$$

$$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU} \quad (\text{Equation 2})$$

$$\lambda_s = \lambda_{SD} + \lambda_{SU} \quad (\text{Equation 3})$$

A.3.2. Couverture du diagnostic (DC)

La norme CEI61508 définit le taux de couverture comme suit :

« Le rapport du taux de défaillance des pannes dangereuses détectées (par un test de diagnostic) sur le taux de défaillance total des pannes dangereuses (détectées et non détectés).

La capacité d'un SIS à détecter ses défaillances en ligne se résume dans son taux de couverture ou sa couverture de diagnostic DC (*Diagnostic Coverage*). Cette couverture est exprimée par un nombre allant de 0 à 1, ou comme un pourcentage. En introduisant la couverture de diagnostic, on peut récrire les différents taux de défaillances, évoqués précédemment comme suit :

$$\lambda_{DD} = DC \cdot \lambda_D \quad (\text{Equation 4})$$

$$\lambda_{DU} = (1-DC) \cdot \lambda_D \quad (\text{Equation 5})$$

DC : Représente la couverture de diagnostic des défaillances aléatoires dangereuses.

$$\lambda_{SD} = DC_s \cdot \lambda_s \quad (\text{Equation 6})$$

$$\lambda_{SU} = (1-DC) \lambda_s \quad (\text{Equation 7})$$

DCs : Représente la couverture de diagnostic des défaillances aléatoires sûres. Il existe aussi des défaillances qui peuvent affecter simultanément tous les éléments composants une architecture redondante.

Ceux sont les défaillances de cause commune (ou pour Common Cause Failure). Pour estimer leur taux de défaillance (λ_{DCC}), la CEI 61508 utilise le modèle du facteur β :

A.3.3. Défaillance de cause commune

Défaillance résultant d'un ou plusieurs événements qui, provoquant des défaillances simultanées de deux ou plusieurs canaux séparés dans un système multicanal, conduit à la défaillance du système :

Ind : Due aux défaillances indépendantes.

Dcc : Due aux défaillances de cause commune Le modèle du facteur doit être appliqué à l'ensemble des catégories de défaillances :

$$\lambda_x = \lambda_{x_{ind}} + \lambda_{xDCC} = (1-\beta)x + \beta x \cdot \lambda_x \quad (\text{Equation 8})$$

βx est le pourcentage des (D_{CC}). L'indice (ind) signifie défaillances indépendantes dont l'occurrence n'affecte qu'un seul composant de l'architecture KooN, tandis que (x) est utilisé pour rendre compte de la décomposition précédente des défaillances (**DU** : Danger non détecté, **DD** : Danger détecté, **SU** : sécurité non détectée, **SD** : sécurité détectée).

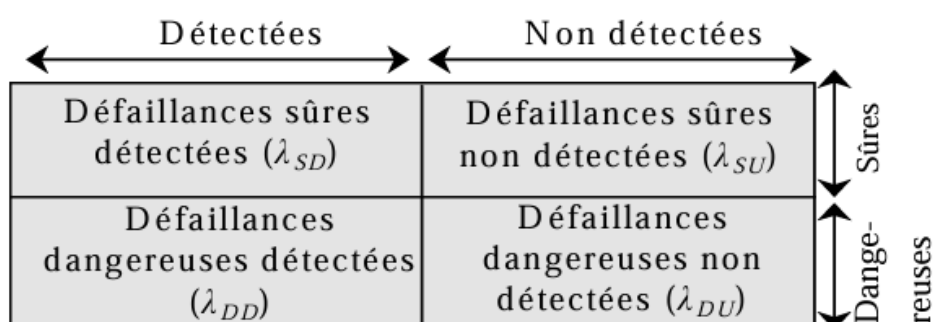


Figure A.1 : Répartition des défaillances et de leurs taux selon la norme CEI 61508

Annex. B

[CEI 61508]

Redondance au sein d'un SIS

Pour améliorer le niveau de confiance d'un système instrumenté de sécurité, il est possible, entre autres, de la doubler totalement (redondance totale), ou de doubler une partie de ses composants (redondance partielle de la barrière de sécurité). A noter que la redondance peut être réalisée avec du matériel identique ou avec du matériel de technologie différente, ce dernier type de redondance permet de limiter les modes communs de défaillance.

Tous les éléments constituant un système instrumenté de sécurité peuvent être redondés : capteurs, unité de traitement, actionneurs et même les moyens de transmission.

À noter que l'on peut distinguer plusieurs types de redondance :

- *La redondance active* : qui est une redondance telle que tous les moyens d'accomplir une fonction requise fonctionnent simultanément.
- *La redondance passive* : qui est une redondance telle qu'une partie seulement des moyens d'accomplir une fonction requise est en fonctionnement, le reste n'étant utilisé sur sollicitation qu'en cas de défaillance de la partie en fonctionnement.
- *La redondance KooN* : qui est une redondance telle qu'une fonction n'est assurée que si au moins k des n moyens existants sont en état de fonctionner ou en fonctionnement.

A.1. Architectures pour le mode de fonctionnement faible demande

Il existe plusieurs architectures parmi lesquelles on cite :

 Architecture 1oo1

Cette architecture comprend un seul élément, et toute défaillance dangereuse empêche le traitement correct de tout signal d'alarme valide.

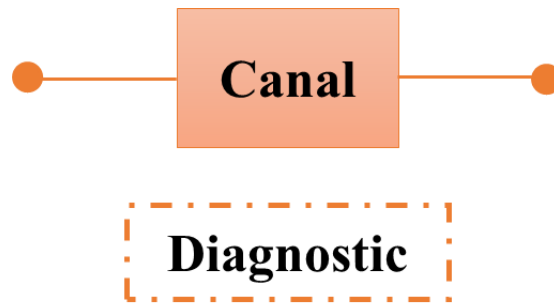


Figure A.2 : Diagramme du bloc physique 1001.

Architecture 1002

Cette architecture comprend deux canaux connectés en parallèle de façon que chacun puisse traiter la fonction de sécurité. Ainsi, il faudrait qu'il y ait une défaillance dangereuse dans les deux canaux pour qu'un signal d'alarme valide ne soit pas traité correctement. On suppose que tout test de diagnostic ne révélerait que les anomalies découvertes et ne modifierait pas les états de sortie ou la logique majoritaire des sorties.

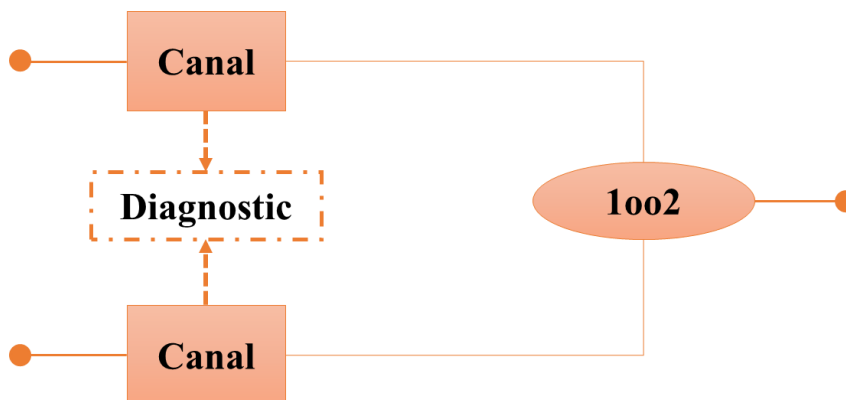


Figure B.3 : Diagramme du bloc physique 1002.

Architecture 2002

Cette architecture comporte deux canaux connectés en parallèle de sorte qu'il est nécessaire que les deux canaux demandent la fonction de sécurité avant que celle-ci ne survienne.

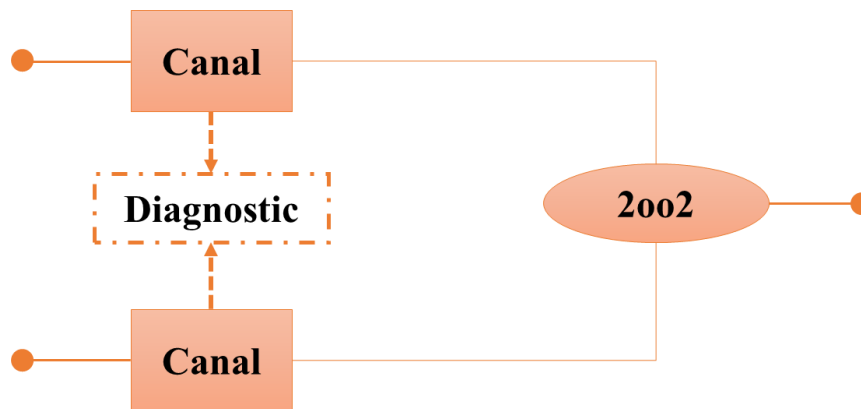


Figure B.4 : Diagramme du bloc physique 2oo2.

A.2. Procédure de calcul

A.2.1 Architectures « KOON » d'un SIS

Chaque catégorie de défaillances aléatoires du matériel est appréciée à travers son taux de défaillance (la CEI 61508 considère que ces taux sont constants) :

- Taux de défaillance aléatoires du matériel :

$$\lambda = \lambda_D + \lambda_S \quad (\text{Equation 1})$$

- Taux de défaillance aléatoire dangereuse :

$$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU} \quad (\text{Equation 2})$$

- Taux de défaillance aléatoire dangereuse détectée :

$$\lambda_{DD} = DC \cdot \lambda_D \quad (\text{Equation 4})$$

- Taux de défaillance aléatoire dangereuse non détectée :

$$\lambda_{DU} = (1 - DC) \lambda_D \quad (\text{Equation 5})$$

- DC (*Couverture de Diagnostic*) : la capacité d'un canal à la détection « en ligne » des défaillances des défaillances dangereuses, exprimée par un nombre allant de 0 à 1.

A.2.2. Les contraintes architecturales (DC)

Selon la norme [CEI 61508, 2010]. Dans le contexte de l'intégrité de sécurité du matériel le niveau d'intégrité (SIL) le plus élevé qui peut être annoncé pour la fonction de sécurité

donnée est limité par la tolérance aux anomalies du matériel et la proportion de défaillances en sécurité (SFF) des sous-systèmes qui réalisent la fonction de sécurité ».

La norme définit ces deux termes comme suit :

- Une tolérance aux anomalies du matériel d'indice M signifie que (M+1) anomalies sont susceptibles de provoquer la perte de la fonction de sécurité : pour une architecture KooN,

$$M + 1 = N - K + 1 \quad (\text{Equation 9})$$

- La proportion de défaillances en sécurité d'un sous-système (*Safe Failure Fraction* ou SFF).

$$SFF = \frac{(\lambda_S + \lambda_{DD})}{(\lambda_S + \lambda_{DD} + \lambda_{DU})} \quad (\text{Equation 10})$$

Les (tableaux A 1 et 2) de la [CEI 61508, 2010]. Spécifient le SIL le plus élevé qui peut être annoncé pour la fonction de sécurité étudiée et pour des canaux identiques :

Tableau A.1 : Niveau d'intégrité de sécurité maximale admissible pour une sécurité. Fonction exécutée par un élément ou sous-système de sécurité de type A.

| SFF | Tolérance aux anomalies matérielles (M) | | |
|-------------|---|------|------|
| | 0 | 1 | 2 |
| < 60% | Non autorisé | SIL1 | SIL2 |
| 60% - < 90% | SIL1 | SIL2 | SIL3 |
| 90% - < 99% | SIL2 | SIL3 | SIL4 |
| ≥ 99% | SIL3 | SIL4 | SIL4 |

Tableau A.2 : Niveau d'intégrité de sécurité maximale admissible pour une sécurité fonction réalisée par un élément ou sous-système de sécurité de type B.

| SFF | Tolérance aux anomalies matérielles (M) | | |
|-------------|---|------|------|
| | 0 | 1 | 2 |
| < 60% | SIL1 | SIL2 | SIL3 |
| 60% - < 90% | SIL2 | SIL3 | SIL4 |
| 90% - < 99% | SIL3 | SIL4 | SIL4 |
| ≥ 99% | SIL3 | SIL4 | SIL4 |

A.2.3 La probabilité moyenne de défaillance sur demande

La probabilité moyenne de défaillance sur demande d'une fonction de sécurité du système électriques/électroniques/électroniques programmables (E/E/PE) relatif à la sécurité est déterminée par le calcul et la combinaison de la probabilité moyenne de défaillance sur demande pour tous les sous-systèmes assurant ensemble la fonction de sécurité. Cela peut être exprimé par la formule suivante :

$$\mathbf{PFD_{SYS} = PFD_S + PFD_L + PFD_{FE}} \quad (\text{Equation 11})$$

Où :

- $\mathbf{PFD_{SYS}}$: est la probabilité moyenne de défaillance sur demande d'une fonction de sécurité du système E/E/PE relatif à la sécurité ;
- $\mathbf{PFD_S}$: est la probabilité moyenne de défaillance sur demande du sous-système capteur
- $\mathbf{PFD_L}$: est la probabilité moyenne de défaillance sur demande du sous-système logique ;
- $\mathbf{PFD_{FE}}$: est la probabilité moyenne de défaillance sur demande du sous-système élément final.

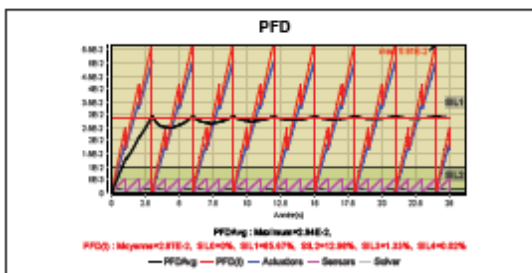
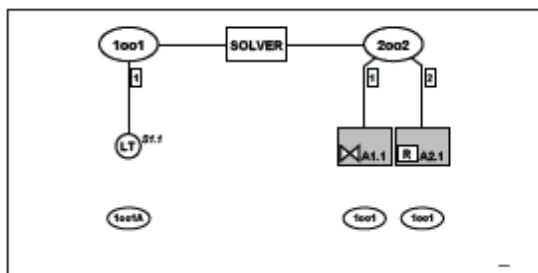
Annex. C

Rapport des résultats par Logiciel GRIF- Module SIL

SIL 1.sil

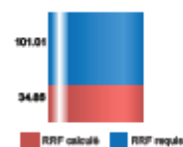
GRIF 2023.9

| | | | | | |
|--|--|-------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|
| Numéro de SIF : SIF:LALL-2151 | <i>Révision</i> | <i>Date</i> | <i>Réalisé par</i> | <i>Vérifié par</i> | <i>Validé par</i> |
| | 0 | 25/06/2025 | Benhabrou Doha & Abdennebi Assila | INNAL Fares | INNAL Fares |
| Localisation | RA1K | | | | |
| Unités procédés | Unit 10 | | | | |
| Fonction de la SIF | Protection des pompes P93A/B contre la cavitation | | | | |
| Repères capteurs | LT-2151 | | | | |
| Repère solveur | I-2164 | | | | |
| Repères actionneurs | UV-2154, P-93AB | | | | |
| PID | 6648-0010-5-PS-P1-0001-F | | | | |
| Source des données | PDS-SINTEF | | | | |
| Définition de l'état stable | Arrêt des pompes P-93 A/B (une seule pompe est en fonctionnement) en cas de très bas niveau dans le ballon V8. | | | | |
| Source de la demande sur la SIF et son taux. | - Défaillance de la boucle de régulation de niveau du liquide GPL - Fuite au niveau de la partie liquide de GPL | | | | |



PFDavg sur 25 ans = 2.867E-2

| SIL requis | SIL calculé | RRF requis | RRF calculé | Max SIL capteurs (IEC 61511 (Ed2 2016)) | Max SIL actionneurs (IEC 61511 (Ed2 2016)) | SIL réalisé pour la SIF | Conclusion du SIL pour la SIF |
|------------|-------------|----------------------|-------------|---|--|-------------------------|-------------------------------|
| 2 | 1 | 101.010101 010101 | 34 | 2 | 2 | 1 | Non conforme |

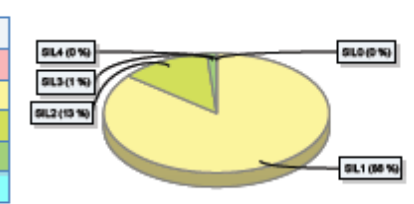


Remarque: SIL limité par la partie actionneurs
SIL limité par la PFDavg de la SIF
RRF obtenu inférieur au RRF requis

| | PFD Avg | RRF | SIL calculé | Contribution (%) |
|--------------------|---------|--------|-------------|------------------|
| Partie capteurs | 2.62E-3 | 381.18 | 2 | 9.11% |
| Partie solveur | 1.28E-3 | 782.04 | 2 | 4.44% |
| Partie actionneurs | 2.49E-2 | 40.15 | 1 | 85.45% |
| SIF | 2.87E-2 | 34.86 | 1 | 100% |



| | Temps passé dans chaque SIL | Pourcentage |
|------|-----------------------------|-------------|
| SIL0 | 0 (h) | 0% |
| SIL1 | 187628.25 (h) | 85.67% |
| SIL2 | 28417.44 (h) | 12.98% |
| SIL3 | 2920.15 (h) | 1.33% |
| SIL4 | 33.07 (h) | 0.02% |

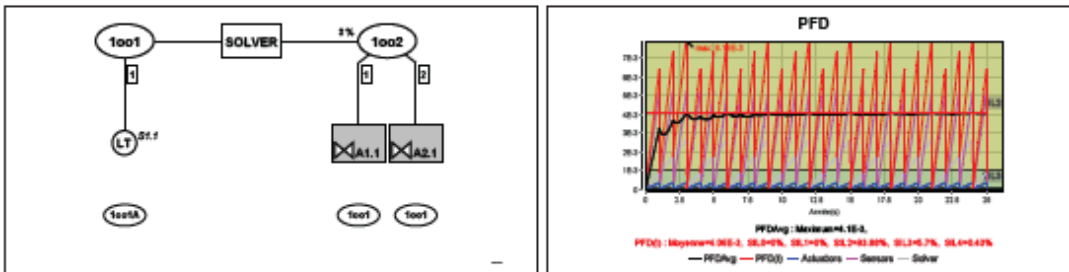


Configuration des composants

| | | Canal | | | | |
|-------------|-----------|-------------------------------|------------------------|---|--|----------------|
| Capteurs | Conf=1001 | Canal 1 : Configuration=1001A | | | | |
| | | Canal | | Actionneur | | |
| Actionneurs | Conf=2002 | Canal 1 : Configuration=1001 | | Actionneur 1 : 0 sous-actionneur | | |
| | | Canal 2 : Configuration=1001 | | Actionneur 1 : 0 sous-actionneur | | |
| | | Composant | | Paramètres | Autres paramètres | Tests partiels |
| Capteurs | S1.1 | LT-2151 | Transmetteur de niveau | Type A, Loi=Test unité à l'arrêt, T1=1.00y, T0=0y, Lambda DU=6.00E-7h ⁻¹ , Lambda DD=8.40E-7h ⁻¹ , Lambda SU=8.00E-7h ⁻¹ , Lambda SD=8.00E-7h ⁻¹ , SFF=80.26%, MTTR=8.00h, Gamma=0 | Khi=1, Sigma=1.00, Lambda*=3.04E-6h ⁻¹ , Omega1=0, Omega2=0, Couverture du test à l'épreuve=100.00% | |
| Solveur | SOLVER | I-2164 | S-PLC PDS-SINTEF | Loi=Avanci, Lambda=1.00E-7h ⁻¹ , MTTR=8.00Heure(s), T1=3.00Année(s), T0=3.00Année(s), Gamma=0 | Khi=1, Lambda*=1.00E-7h ⁻¹ , Pi=3.00Heure(s), Sigma=1.00, Omega1=0, Omega2=0 | |
| Actionneurs | A1.1 | UV-2154 | Vanne ON/OFF | Type A, Loi=Test unité à l'arrêt, T1=3.00y, T0=3.00y, Lambda=5.40E-6h ⁻¹ , LambdaD/Lambda=46.3%, DCd=25%, DCs=0%, SFF=65.28%, MTTR=8.00h, Gamma=0 | Khi=1, Sigma=1.00, Lambda*=5.40E-6h ⁻¹ , Omega1=0, Omega2=0, Couverture du test à l'épreuve=100.00%, Réparation sûre=Oui | |
| | A2.1 | P-93AB | Relais | Type A, Loi=Test unité à l'arrêt, T1=1.00y, T0=1.00y, Lambda DU=3.00E-7h ⁻¹ , Lambda DD=0h ⁻¹ , Lambda SU=0h ⁻¹ , Lambda SD=0h ⁻¹ , SFF=0%, Gamma=0 | Khi=0, Sigma=1.00, Lambda*=0h ⁻¹ , Omega1=0, Omega2=1.00E-2, Couverture du test à l'épreuve=100.00%, Réparation sûre=Oui | |

| | | | | | |
|---|-----------------|-------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|
| Numéro de SIF : SIF-LAHH-2151A | <i>Révision</i> | <i>Date</i> | <i>Réalisé par</i> | <i>Vérifié par</i> | <i>Validé par</i> |
| | 0 | 25/06/2025 | Benhqbrou Doha & Abdennebi Assila | INNAL Fares | INNAL Fares |

| | |
|--|--|
| Localisation | RA1K |
| Unités procédés | Unit 10 |
| Fonction de la SIF | Protection contre le passage de liquide GPL vers la ligne de Fuel gaz |
| Repères capteurs | LAHH-2151_S1.1(LT-2151) |
| Repère solvreur | LAHH-2151_SOLVER(I-2164) |
| Repères actionneurs | UV-2160, PV-21 |
| PID | 6648-0010-5-PS-PI-0001-F |
| Source des données | PDS-SINTEF |
| Définition de l'état stable | Fermeture des vannes UV-2160 et PV-21 (la fermeture d'une seule vanne suffit pour assurer cette fonction). |
| Source de la demande sur la SIF et son taux. | Défaillance de la boucle de régulation de niveau du liquide GPL |



PFDavg sur 25 ans = 4.0649E-3

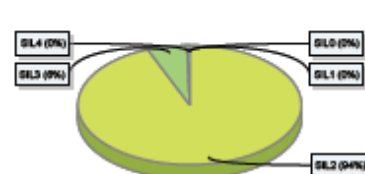
| SIL requis | SIL calculé | RRF requis | RRF calculé | Max SIL capteurs (IEC 61511 (Ed2 2016)) | Max SIL actionneurs (IEC 61511 (Ed2 2016)) | SIL réalisé pour la SIF | Conclusion du SIL pour la SIF |
|------------|-------------|------------|-------------|---|--|-------------------------|-------------------------------|
| 2 | 2 | 100.0 | 246 | 2 | 3 | 2 | Conforme |



| | PFD Avg | RRF | SIL calculé | Contribution (%) |
|--------------------|---------|---------|-------------|------------------|
| Partie capteurs | 2.62E-3 | 381.18 | 2 | 64.46% |
| Partie solvreur | 1.28E-3 | 782.04 | 2 | 31.42% |
| Partie actionneurs | 1.67E-4 | 5972.65 | 3 | 4.11% |
| SIF | 4.06E-3 | 246.01 | 2 | 100% |



| | Temps passé dans chaque SIL | Pourcentage |
|------|-----------------------------|-------------|
| SIL0 | 0 (h) | 0% |
| SIL1 | 0 (h) | 0% |
| SIL2 | 205592.82 (h) | 93.88% |
| SIL3 | 12472.71 (h) | 5.7% |
| SIL4 | 935.02 (h) | 0.43% |

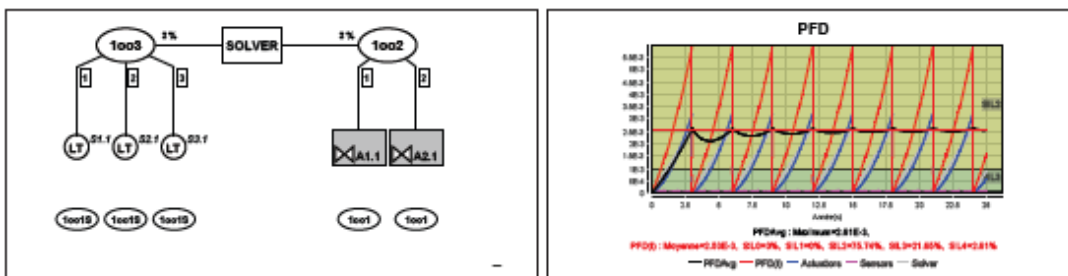


Configuration des composants

| | | Canal | | | | | |
|-------------------|--------|-------------------------------|-----------------------|--|--|-------------------|----------------|
| Capteurs | | Canal 1 : Configuration=1001A | | | | | |
| Conf=1001 | | | | | | | |
| | | Canal | | Actionneur | | | |
| Actionneurs | | Canal 1 : Configuration=1001 | | Actionneur 1 : 0 sous-actionneur | | | |
| Conf=1002 | | Canal 2 : Configuration=1001 | | Actionneur 1 : 0 sous-actionneur | | | |
| Beta=2% | | | | | | | |
| Beta (détecté)=2% | | | | | | | |
| | | Composant | | Paramètres | | Autres paramètres | Tests partiels |
| Capteurs | S1.1 | LAHH-2151_S1.1(LT-2151) | | Paramétrage identique au composant LT-2151 de la boucle SIF.LALL-2151 | | | |
| Solveur | SOLVER | LAHH-2151_SOLVER(]-2154) | S-PLC PDS-SINTEF | Loi=Avancé, Lambda=1.00E-7h ⁻¹ , MTTR=8.00Heure(s), T1=3.00Année(s), T0=3.00Année(s), Gamma=0 | Khi=1, Lambda*=1.00E-7h ⁻¹ , Pi=3.00Heure(s), Sigma=1.00, Omega1=0, Omega2=0 | | |
| Actionneurs | A1.1 | UV-2150 | | Paramétrage identique au composant UV-2154 de la boucle SIF.LALL-2151 | | | |
| | A2.1 | PV-21 | Electrovanne à manque | Type A, Loi=Test urité à l'arrêt, T1=1.00y, T0=1.00y, Lambda=2.80E-0h ⁻¹ , LambdaD/Lambda=0%, DCd=60%, DCs=70%, SFF=100%, MTTR=3.00h, Gamma=0 | Khi=1, Sigma=1.00, Lambda*=0h ⁻¹ , Omega1=0, Omega2=1.00E-2, Couverture du test à l'epouse=100.00%, Réparation sûre=Oui | | |

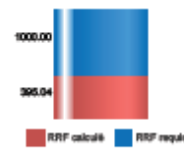
| | | | | | |
|--|-----------------|-------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|
| Numéro de SIF : SIF-LALL-2155 | <i>Révision</i> | <i>Date</i> | <i>Réalisé par</i> | <i>Vérifié par</i> | <i>Validé par</i> |
| | 0 | 25/6/2025 | Benhabrou Doha & Abdennebi Assila | INNAL Fares | INNAL Fares |

| | |
|--|---|
| Localisation | RA1K |
| Unités procédés | Unit 10 |
| Fonction de la SIF | protection contre le passage du GPL vers la ligne d'eau acide. |
| Repères capteurs | LI-2155A, LI-2155B, LI-2155C |
| Repère solveur | I-2165 |
| Repères actionneurs | UV-2157A, UV-2157B |
| PID | 6648-0010-5-PS-PI-0001-F |
| Définition de l'état stable | fermeture des vannes UV-2157 A/B |
| Source de la demande sur la SIF et son taux. | Défaillance de la boucle de régulation de niveau du liquide GPL |



PFDavg sur 25 ans = 2.5314E-3

| SIL requis | SIL calculé | RRF requis | RRF calculé | Max SIL capteurs (IEC 61511 (Ed2 2016)) | Max SIL actionneurs (IEC 61511 (Ed2 2016)) | SIL réalisé pour la SIF | Conclusion du SIL pour la SIF |
|------------|-------------|------------|-------------|---|--|-------------------------|-------------------------------|
| 3 | 2 | 1000.0 | 395 | 4 | 3 | 2 | Non conforme |

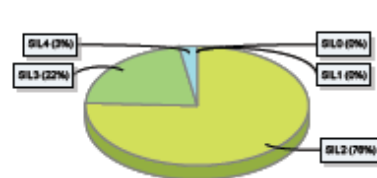


| | |
|----------|--|
| Remarque | SIL limité par la partie actionneurs SIL limité par l'APS SIL limité par la PFDavg de la SIF RRF obtenu inférieur au RRF requis |
|----------|--|

| | PFD Avg | RRF | SIL calculé | Contribution (%) |
|--------------------|---------|----------|-------------|------------------|
| Partie capteurs | 5.26E-5 | 19014.30 | 4 | 2.08% |
| Partie solveur | 1.28E-3 | 782.04 | 2 | 50.47% |
| Partie actionneurs | 1.20E-3 | 831.60 | 2 | 47.46% |
| SIF | 2.53E-3 | 395.04 | 2 | 100% |



| | Temps passé dans chaque SIL | Pourcentage |
|------|-----------------------------|-------------|
| SIL0 | 0 (h) | 0% |
| SIL1 | 0 (h) | 0% |
| SIL2 | 165877.17 (h) | 75.74% |
| SIL3 | 47411.31 (h) | 21.65% |
| SIL4 | 5711.30 (h) | 2.61% |



Configuration des composants

| | | Canal | |
|---|--|-------------------------------|--|
| Capteurs Conf=1003 Beta (détecté)=2% Beta=2% | | Canal 1 : Configuration=1001S | |
| | | Canal 2 : Configuration=1001S | |
| | | Canal 3 : Configuration=1001S | |

| | | Canal | Actionneur |
|--|--|------------------------------|----------------------------------|
| Actionneurs Conf=1002 Beta=2% Beta (détecté)=2% | | Canal 1 : Configuration=1001 | Actionneur 1 : 0 sous-actionneur |
| | | Canal 2 : Configuration=1001 | Actionneur 1 : 0 sous-actionneur |

| | | Composant | | Paramètres | Autres paramètres | Tests partiels |
|-------------|--------|-----------|--|--|--|----------------|
| Capteurs | S1.1 | LI-2155A | Paramétrage identique au composant LI-2151 de la boucle SIFLALL-2151 | | | |
| | S2.1 | LI-2155B | Paramétrage identique au composant LI-2155A | | | |
| | S3.1 | LI-2155C | Paramétrage identique au composant LI-2155A | | | |
| Solveur | SOLVER | I-2165 | S-PLC PDS-SINTEF | Loi=Avancé, Lambda=1.00E-7h ⁻¹ , MTTR=8.00Heure(s), T1=3.00Année(s), T0=3.00Année(s), Gamma=0 | Khi=1, Lambda*=1.00E-7h ⁻¹ , P=3.00Heure(s), Sigma=1.00, Omega1=0, Omega2=0 | |
| Actionneurs | A1.1 | UV-2157A | Paramétrage identique au composant UV-2154 de la boucle SIFLALL-2151 | | | |
| | A2.1 | UV-2157B | Paramétrage identique au composant UV-2154 de la boucle SIFLALL-2151 | | | |

λ (Lambda)-Taux de défaillances du composant (en h⁻¹), λd (LambdaD)-Taux de défaillances dangereux, β (Beta)-Proportion de défaillances de cause commune, γ (Gamma)-Défaillances dues au test, T1-Intervalle entre les tests, T0-Date du premier test, X (Khi)-Disponibilité pendant le test, λ* (Lambda*)-Lambda durant le test (en h⁻¹), x (P)-Durée du test, σ (Sigma)-Efficacité du test, ω2 (Omega2)-Oubli de reconfiguration après réparation, DC-Diagnostic Coverage, MTTR-Mean Time To Repair, RRF-Risk Reduction Factor, PFD-Probability of Failure on Demand, PFH-Probability of Failure per Hour

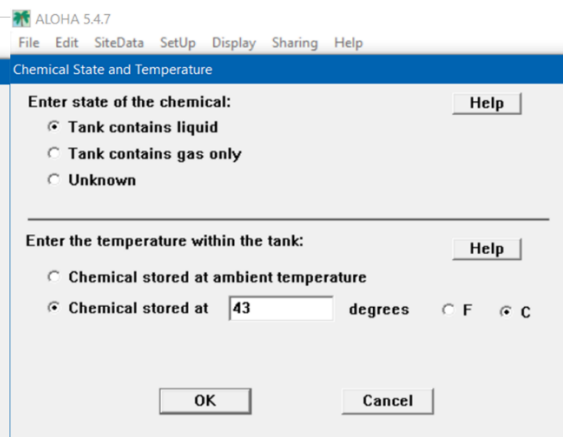
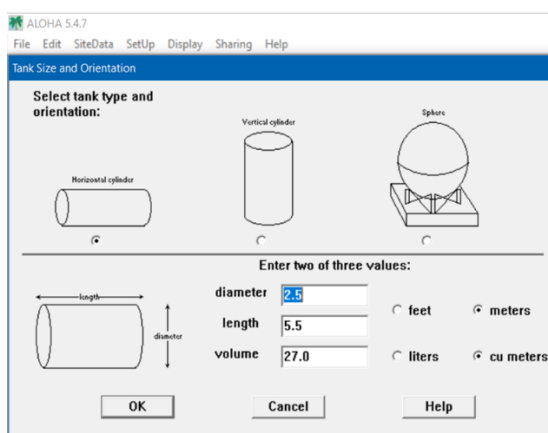
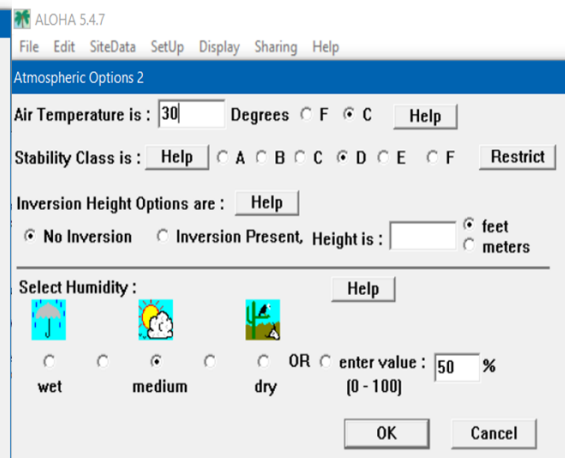
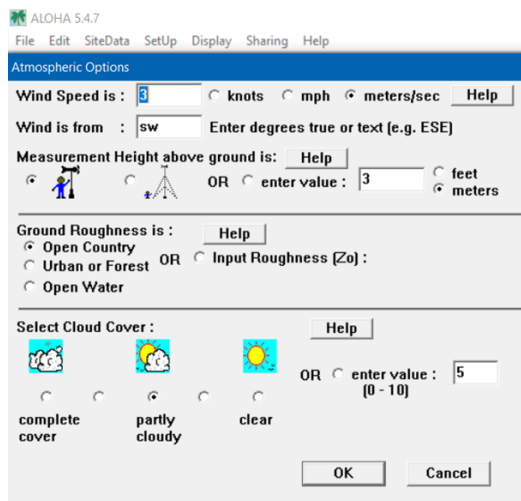
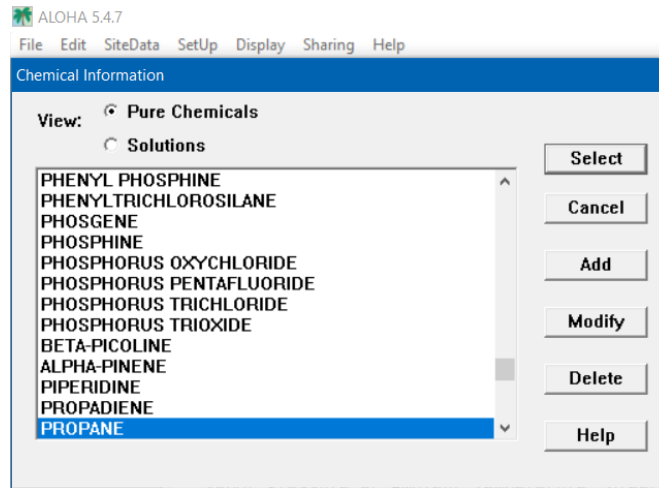
Synthèse des périodes de test

| Repère composant | Type de composant | Utilisé dans SIF: | Période de tests |
|-------------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| I-2164 | S-PLC | SIF.LALL-2151 | 3.00 Année(s) |
| LAHH-2151_51.1(LT-2151) | Transmetteur de niveau | SIF.LAHH-2151A | 1.00 Année(s) |
| LI-2155A | Transmetteur de niveau | SIF.LALL-2155 | 1.00 Année(s) |
| LI-2155B | Transmetteur de niveau | SIF.LALL-2155 | 1.00 Année(s) |
| LI-2155C | Transmetteur de niveau | SIF.LALL-2155 | 1.00 Année(s) |
| LT-2151 | Transmetteur de niveau | SIF.LALL-2151 | 1.00 Année(s) |
| P-93AB | Relais | SIF.LALL-2151 | 1.00 Année(s) |
| PV-21 | Electrovanne à manque | SIF.LAHH-2151A | 1.00 Année(s) |
| UV-2154 | Vanne ON/OFF | SIF.LALL-2151 | 3.00 Année(s) |
| UV-2157A | Vanne ON/OFF | SIF.LALL-2155 | 3.00 Année(s) |
| UV-2157B | Vanne ON/OFF | SIF.LALL-2155 | 3.00 Année(s) |
| UV-2160 | Vanne ON/OFF | SIF.LAHH-2151A | 3.00 Année(s) |

Annex. D

Simulation par Logiciel ALOHA

D.1. Scénario du BLEVE (paramètres d'entrée)



ALOHA 5.4.7
File Edit SiteData Setup Display Sharing Help

Liquid Mass or Volume

Enter the mass in the tank OR volume of the liquid

The mass in the tank is: pounds
 tons(2,000 lbs)
 kilograms

OR

Enter liquid level OR volume

The liquid volume is: gallons
 cubic feet
 liters
 cubic meters

% full by volume

ALOHA 5.4.7
File Edit SiteData Setup Display Sharing Help

Type of Tank Failure

Scenario:
Tank containing a pressurized flammable liquid.

Type of Tank Failure:

Leaking tank, chemical is not burning as it escapes into the atmosphere
 Leaking tank, chemical is burning as a jet fire
 BLEVE, tank explodes and chemical burns in a fireball

Potential hazards from BLEVE:

- Thermal radiation from fireball and pool fire
- Hazardous fragments and blast force from explosion (cannot be modeled by ALOHA)
- Downwind toxic effects of fire byproducts (cannot be modeled by ALOHA)

ALOHA 5.4.7
File Edit SiteData Setup Display Sharing Help

Thermal Radiation Level of Concern

Select Thermal Radiation Level of Concern:

Red Threat Zone
LOC:

Orange Threat Zone
LOC:

Yellow Threat Zone
LOC:

D.1. Scénario du UVCE (paramètres d'entrée)

ALOHA 5.4.7
File Edit SiteData Setup Display Sharing Help

Type of Tank Failure

Scenario:
Tank containing a pressurized flammable liquid.

Type of Tank Failure:

Leaking tank, chemical is not burning as it escapes into the atmosphere
 Leaking tank, chemical is burning as a jet fire
 BLEVE, tank explodes and chemical burns in a fireball


Potential hazards from flammable chemical which is not burning as it leaks from tank:

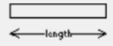
- Downwind toxic effects
- Vapor cloud flash fire
- Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion

ALOHA 5.4.7
File Edit SiteData Setup Display Sharing Help

Area and Type of Leak

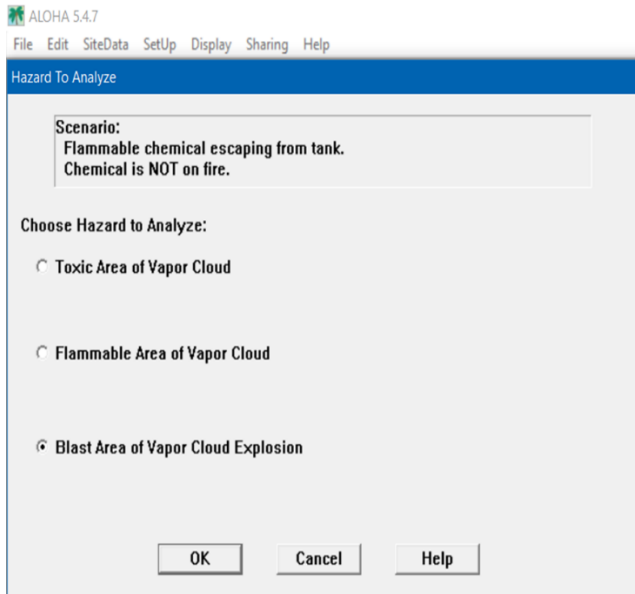
Select the shape that best represents the shape of the opening through which the pollutant is exiting

 Circular opening Rectangular opening



Opening diameter: inches
 feet
 centimeters
 meters

Is leak through a hole or short pipe/valve?
 Hole Short pipe/valve



ALOHA 5.4.7
File Edit SiteData SetUp Display Sharing Help

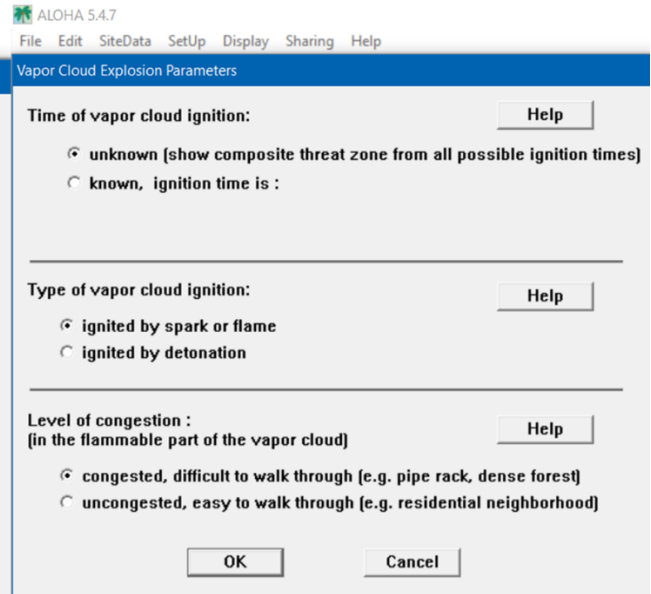
Hazard To Analyze

Scenario:
Flammable chemical escaping from tank.
Chemical is NOT on fire.

Choose Hazard to Analyze:

- Toxic Area of Vapor Cloud
- Flammable Area of Vapor Cloud
- Blast Area of Vapor Cloud Explosion

OK Cancel Help



ALOHA 5.4.7
File Edit SiteData SetUp Display Sharing Help

Vapor Cloud Explosion Parameters

Time of vapor cloud ignition: Help

- unknown (show composite threat zone from all possible ignition times)
- known, ignition time is :

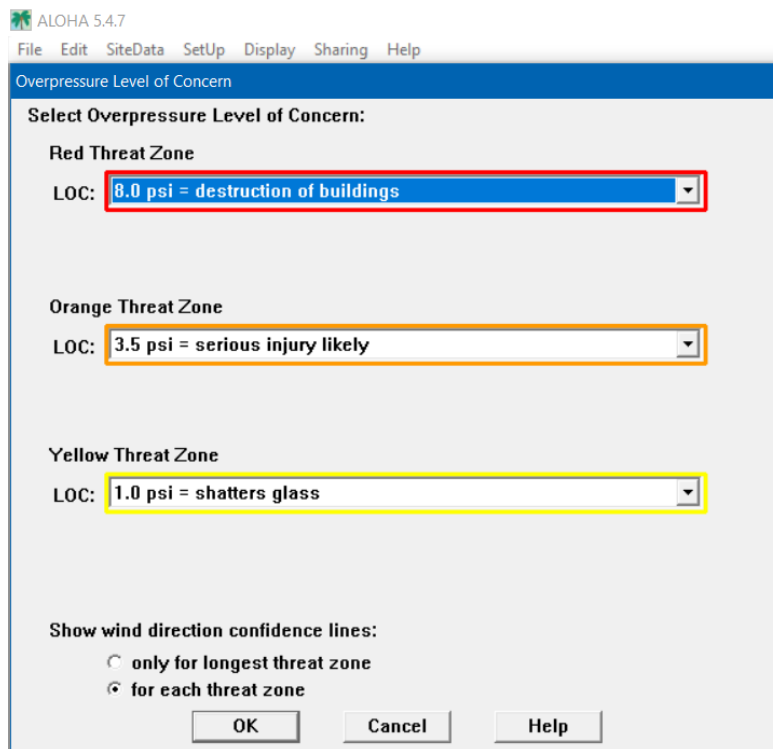
Type of vapor cloud ignition: Help

- ignited by spark or flame
- ignited by detonation

Level of congestion : (in the flammable part of the vapor cloud) Help

- congested, difficult to walk through (e.g. pipe rack, dense forest)
- uncongested, easy to walk through (e.g. residential neighborhood)

OK Cancel



ALOHA 5.4.7
File Edit SiteData SetUp Display Sharing Help

Overpressure Level of Concern

Select Overpressure Level of Concern:

Red Threat Zone

LOC: 8.0 psi = destruction of buildings

Orange Threat Zone

LOC: 3.5 psi = serious injury likely

Yellow Threat Zone

LOC: 1.0 psi = shatters glass

Show wind direction confidence lines:

- only for longest threat zone
- for each threat zone

OK Cancel Help

Annex. E

Taux d'échec pour les pannes matérielles aléatoires, les couvertures, les périphériques et Unités logiques de contrôle d'entrée PSF

Table 3: Failure rates for random hardware failures, coverages and PSF for input devices

| Input Devices | | | | | | | | |
|--|-----------------------|------------------|-------|----------|---------------------|----------------------|------|---|
| Component | $\lambda_{crit}^{1)}$ | $\lambda_D^{1)}$ | c_D | c_{ST} | $\lambda_{DU}^{1)}$ | $\lambda_{STU}^{1)}$ | SFF | PSF |
| Pressure Switch, Conventional | 3.4 | 2.3 | 30 % | 20 % | 1.6 | 0.9 | 52 % | $1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$ ²⁾ |
| Pressure Transmitter | 1.3 | 0.8 | 60 % | 20 % | 0.3 | 0.4 | 75 % | $3 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$ ³⁾ |
| Level (displace) Transmitter ⁹⁾ | 3.0 | 1.4 | 60 % | 50 % | 0.6 | 0.8 | 81 % | $3 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$ ³⁾ |
| Temperature Transmitter | 1.8 | 0.7 | 60 % | 60 % | 0.3 | 0.4 | 84 % | $3 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$ ³⁾ |
| Flow Transmitter | 3.7 | 1.5 | 60 % | 50 % | 0.6 | 1.1 | 84 % | $3 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$ ³⁾ |
| Gas detector, catalytic | 5.0 | 3.5 | 50 % | 40 % | 1.8 | 0.9 | 65 % | $3 \cdot 10^{-4} - 0.1$ ⁴⁾ |
| Gas detector IR point | 4.0 | 3.3 | 80 % | 70 % | 0.7 | 0.2 | 84 % | $6 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3}$ ^{4,5)} |
| Gas detector IR line | 5.3 | 3.3 | 80 % | 70 % | 0.7 | 0.6 | 88 % | $6 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-2}$ ^{4,5)} |
| Smoke detector | 3.7 | 1.3 | 40 % | 50 % | 0.8 | 1.2 | 81 % | $10^{-2} - 0.05$ ⁶⁾ |
| Heat detector | 2.4 | 0.9 | 50 % | 50 % | 0.5 | 0.8 | 81 % | $0.05 - 0.5$ ⁷⁾ |
| Flame detector | 8.2 | 4.1 | 60 % | 50 % | 1.6 | 2.1 | 80 % | $3 \cdot 10^{-4} - 0.5$ ⁸⁾ |
| ESD Push button | 1.1 | 0.3 | 20 % | 20 % | 0.2 | 0.6 | 78 % | 10^{-5} |

¹⁾ All failure rates are given per 10^6 hours

²⁾ Without/with the sensing line

³⁾ For smart/conventional, respectively

Table 4: Failure rates for random hardware failures, diagnostic coverage's and PSF for control logic units

| Control Logic Units | | | | | | | | |
|--|-----------------------|------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|-------|---------------------|
| Component | $\lambda_{crit}^{1)}$ | $\lambda_D^{1)}$ | DC_D ²⁾ | DC_{ST} ²⁾ | $\lambda_{DU}^{1)}$ | $\lambda_{STU}^{1)}$ | SFF | PSF |
| Standard industrial PLC – single system | 30 | 15 | 67 % | 20 % | 5.0 | 12.0 | 83 | $5 \cdot 10^{-4}$ |
| Programmable safety system – single system | 20 | 10 | 90% | 20 % | 1.0 | 8.0 | 95% | $5 \cdot 10^{-5}$ |
| Hardwired safety system – single system | 2 | 1 | 90% | 0 % | 0.1 | 1.0 | 95% | $0.5 \cdot 10^{-5}$ |
| Field bus coupler | 0.2 | 0.01 | 90 % | 20 % | 0.001 | 0.08 | 99.5% | 10^{-5} |
| Field bus CPU/Communic. unit | 0.2 | 0.01 | 90 % | 20 % | 0.001 | 0.08 | 99.5% | 10^{-5} |

¹⁾ All failure rates are given per 10^6 hours

²⁾ For logic units we give diagnostic coverage (DC) rather than coverage (c). Critical (random hardware) failures for control logic units are only detected by automatic self-testing.

Table 5: Failure rates for random hardware failures, coverage's and PSF for output devices

| Output devices | | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------|-------|----------|---------------------|----------------------|------|-----------------------------------|
| Component | $\lambda_{crit}^{1)}$ | $\lambda_D^{1)}$ | c_D | c_{ST} | $\lambda_{DU}^{1)}$ | $\lambda_{STU}^{1)}$ | SFF | PSF |
| ESV/XV incl. actuator (ex. pilot) | 5.4 | 2.7 | 25 % | 0 % | 2.0 | 2.7 | 63 % | $10^{-6} - 10^{-5}$ |
| Topside X-mas tree ESV incl. actuator (ex. pilot) | 2.1 | 1.1 | 25 % | 0 % | 0.8 | 1.0 | 61 % | $10^{-6} - 10^{-5}$ ²⁾ |
| Blowdown valve incl. actuator (ex. pilot) | 3.7 | 2.7 | 25 % | 0 % | 2.0 | 1.0 | 46 % | $10^{-6} - 10^{-5}$ |
| Solenoid / pilot valve | 3.2 | 1.3 | 30 % | 0 % | 0.9 | 1.9 | 71 % | - ³⁾ |
| Control valve, small | 7.5 | 7.1 | 60 % | 70 % | 2.8 | 0.1 | 62 % | 10^{-5} |
| Control valve, large | 2.8 | 2.1 | 60 % | 70 % | 0.8 | 0.2 | 70 % | 10^{-5} |
| Pressure relief valve, PSV | 1.2 | 1.0 | 0 % | 0 % | 1.0 | 0.2 ⁴⁾ | 17 % | 10^{-3} |

1) All failure rates are given per 10^6 hours

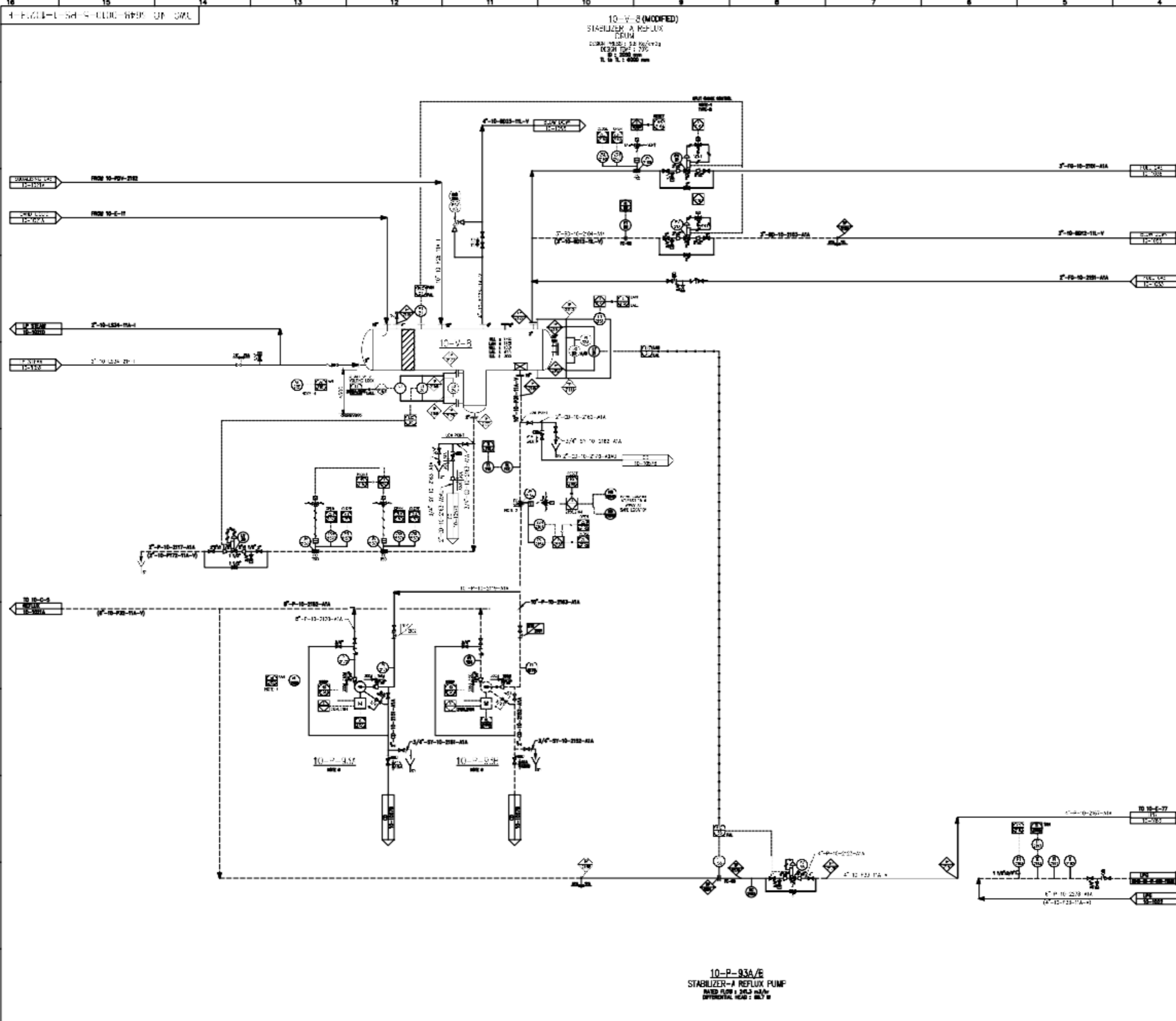
2) For complete and incomplete functional testing, respectively

3) PSF for pilot valve included in PSF for main valve.

4) Note that trip of PSV does not necessarily lead to system trip

Annex. F

P&ID de système étudié



10-V-8 (MODIFIED)
STABILIZER-A REFLUX
DRUM
DESIGN NO. 10-V-8 (MODIFIED)
DESIGN DATE: 1/97
S. K. S. 2000
S. K. S. 2000

10-P-93A/E
STABILIZER-A REFLUX PUMP
RATED FLOW: 240 t/h
DIFFERENTIAL HEAD: 80.7 m

| REFERENCE DRAWING | NO |
|-------------------|--------------------------|
| AS-BUILT P&ID | 10-02-1-001A, REV 11 |
| FEED P&ID | 0000-02-01-10-001, REV 7 |

GENERAL NOTES

- ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS TO BE PROVIDED BY UNIT NO.
- FOR ITEM IS RELATED TO PLUMBING CONNECTIONS & FRAMES FOR HEAT EXCHANGERS, TOWERS, DRUMS AND OTHER CONNECTIONS THE FRAMES SHALL BE CONSIDERED AS JOBS TO BE DONE BY LOCAL CONTRACTORS FOR ALL EXCEPT THE SAME FOR THE SAME CONNECTIONS REFER TO DRAWING NO. 10-02-1-001A-REV 11.
- FOR STANDARD SYMBOLS AND NOMENCLATURE REFER TO P&ID NO. 0000-02-01-10-001.
- FOR GENERAL NOTES REFER TO P&ID NO. 0000-02-01-10-001.
- ALL NEW INSTRUMENT LOGS (WHETHER ADD OR REPLACE EXISTING LOGS) AND CHECK UP IN "NEW INSTRUMENT LOGS" FOR NECESSARY JARIS WITH A 20% MARGIN AND RECORD THEM WHILE THE PROCESSING IS IN PROGRESS AND APPROVALS OF EXISTING INSTRUMENTS.

REVISIONS

- FOR CONTROL VALVE ADMIN. SYMBOL REFER P&ID NO. 10-V-8 (MODIFIED).
- INSTRUMENT VALVE AND ASSOCIATED ACCESSORIES/COMPONENTS TO BE PROVIDED.
- INSTRUMENT LOGS

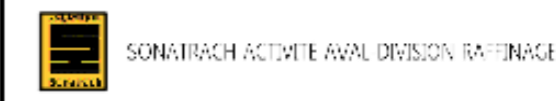
| ITEM NO. | ACTUATED BY | ACTION LOGS |
|----------|--|--|
| 1-202 | HS-215A/B | 0.001 10-215A STOP PUMP TO H. 215A/B |
| 1-203 | HS-215A/B (2 OUT OF 3 HOLDING LOGS) | 0.001 10-215A/B STOP PUMP TO H. 215A/B |
| 214 | L/LAMP 214 | 0.001 10-214 0.001 10-214-21 0.001 10-214-21 |
| | L/LAMP 215 | 0.001 10-215 STOP PUMP TO H. 215A/B |

- NEW/AM-215 IS HYDROCARBON DETECTOR NEAR 10-V-8 AND 10-V-8A-215 IS HYDROCARBON DETECTOR NEAR 10-V-8A-215.
- DELTS.
- FOR P&ID SEE P&ID NO. 10-P&ID-10-001-10-001-10-001.

| LEGEND | | EQUIPMENTS LIST | |
|--------|-------------|-------------------|--|
| | EXISTING | 10-V-8 (MODIFIED) | |
| | NEW | 10-P-93A/E | |
| | REPLACED | | |
| | TE-IN POINT | | |

| REV. | DATE | DESCRIPTION | DWN | OWN | APPD | PM |
|------|----------|------------------------|-----|-----|------|----|
| F | 30.06.13 | AS-BUILT | | | | |
| 4 | 27.12.11 | ISSUE FOR CONSTRUCTION | | | | |
| 3 | 15.04.11 | ISSUE FOR CONSTRUCTION | | | | |
| 2 | 20.08.10 | ISSUE FOR CONSTRUCTION | | | | |
| 1 | 18.05.10 | ISSUE FOR APPROVAL | | | | |
| 0 | 25.01.10 | 1ST ISSUE FOR APPROVAL | | | | |

REHABILITATION AND ADAPTATION PROJECT
SKIKDA REFINERY, ALGERIA



| | |
|--|--|
| | SAMSUNG ENGINEERING CO., LTD. SEOUL, KOREA JOB NO. 502278 A/C NO. |
|--|--|

TITLE: PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM
CRUDE DISTILLATION UNIT-I
STABILISER-A REFLUX DRUM SECTION

| SCALE | JOB NO. | UNIT | C | DEPT. | SIZE | SERIAL NO. | REV. |
|-------|---------|------|---|-------|------|------------|------|
| NONE | 6642 | 010 | 5 | PS | 1 | 102 B | F |

Table
des matières

Table des matières

Dédicaces

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Sommaire

Introduction générale

| | |
|---|----|
| CHAPITRE I : <i>Gestion des risques et barrières de sécurité</i> | |
| I.1. Introduction | 1 |
| I.2. Notions générales sur la sécurité industrielle | 1 |
| I.2.1. Notion de sécurité | 1 |
| I.2.2. Principes généraux de protection | 1 |
| I.2.2.1. Sécurités passives | 1 |
| I.2.2.2. Sécurités actives | 2 |
| I.2.3. Notion de danger | 2 |
| I.2.4. Notion de risque | 2 |
| I.2.5. Phénomène dangereux et situation dangereuse | 4 |
| I.2.6. Dommage | 5 |
| I.2.7. Accident | 5 |
| I.3. Gestion des risques | 5 |
| I.3.1. Définition | 5 |
| I.3.2. Approche | 6 |
| I.3.2.1. L'analyse des risques | 6 |
| I.3.2.1.1. Analyses qualitatives | 7 |
| I.3.2.1.2. Analyses Semi quantitatives | 7 |
| I.3.2.1.3. Analyses quantitatives | 8 |
| I.3.2.2. L'évaluation du risque | 9 |
| I.3.2.3. Acceptation du risque | 9 |
| I.3.2.4. Maîtrise ou réduction du risque | 10 |
| I.3.3. Importance de l'analyse des risques | 10 |
| I.4. Barrière de sécurité | 11 |
| I.4.1. Définition | 11 |
| I.4.2. Objectif | 11 |
| I.4.3. Les différents types des barrières de sécurités | 11 |
| I.4.3.1. Les Barrières Techniques de Sécurité (BTS) | 11 |
| I.4.3.1.1. Dispositif de sécurité | 12 |
| I.4.3.1.2. Système Instrumenté de Sécurité (SIS) | 12 |

| | |
|--|----|
| I.4.3.2. Les Barrières Organisationnelles de Sécurité (BOS) | 13 |
| I.4.3.3. Les Systèmes à Action Manuelle de Sécurité (SAMS) | 13 |
| I.4.4. Les critères de performance des barrières de sécurité | 15 |
| I.5. Les méthodes d'analyse des risques | 15 |
| I.5.1. La méthode HAZOP | 16 |
| I.5.1.1. Définition | 16 |
| I.5.1.2. Principe | 16 |
| I.5.1.3. Déroulement | 17 |
| I.5.1.4. Avantage et limites | 18 |
| I.5.2. La méthode LOPA (<i>Layer of Protection Analysis</i>) | 19 |
| I.5.2.1. Définition | 19 |
| I.5.2.2. Principales étapes de la méthode LOPA | 20 |
| I.5.2.3. Domaine d'expertise | 21 |
| I.5.2.4. Avantage et limites de la méthode | 22 |
| I.6. Conclusion | 23 |

| | |
|---|----|
| CHAPITRE II : <i>Le Système instrumentation de sécurité et les méthodes d'allocations du SIL</i> | |
| II.1. Introduction | 24 |
| II.2. Cadre normatif relatif à la sécurité fonctionnelle : IEC61508 et IEC61511 | 24 |
| II.2.1. Norme IEC 61508 | 24 |
| II.2.1.1. Domaine d'application | 24 |
| II.2.1.2. Structure générale de la norme | 21 |
| II.2.1.3. Objectifs de la norme | 27 |
| II.2.2. Norme IEC 61511 | 29 |
| II.2.2.1. Domaine d'application | 29 |
| II.2.2.2. Structure générale de la norme | 29 |
| II.2.2.3. Objectifs de la norme | 31 |
| II.3. Réduction du risque nécessaire | 31 |
| II.4. Système de sécurité | 33 |
| II.4.1. La sécurité fonctionnelle | 33 |
| II.4.2. Définitions relatives à la sécurité fonctionnelle | 33 |
| II.4.2.1. Système instrumenté de sécurité (SIS) | 33 |
| II.4.2.2. Fonction instrumentée de sécurité (SIF) | 34 |
| II.4.2.3. Couche de protection | 35 |
| II.4.2.4. Equipement sous contrôle (EUC) | 35 |
| II.4.2.5. Système de commande de processus de base (BPCS) | 35 |
| II.4.2.6. Intégrité de sécurité | 36 |
| II.4.2.7. Niveau d'intégrité de sécurité SIL | 36 |
| II.4.2.8. Spécification des exigences de sécurité SRS | 37 |
| II.4.3. Modes de Fonctionnement d'une SIF | 37 |
| II.4.4. Cycle de vie de sécurité du SIS | 37 |
| II.5. Evaluation du risque et détermination du niveau d'intégrité de sécurité | 38 |

| | |
|--|----|
| II.5.1. Risque tolérable et concept ALARP | 38 |
| II.5.1.1. Concept ALARP | 39 |
| II.5.1.2. Estimation du risque tolérable | 40 |
| II.6. Les méthodes d'allocation des SIL | 42 |
| II.5.1. Les méthodes qualitatives | 42 |
| II.5.1.1. Graphe de risque | 43 |
| II.5.1.2. Matrice de gravité des événements dangereux | 45 |
| II.5.2. Les méthodes quantitatives | 45 |
| II.7. Conclusion | 47 |

CHAPITRE III : *Présentation du complexe RA1K et du ballon de reflux de GPL V-8*

| | |
|--|----|
| II.1. Introduction | 48 |
| III.2. Généralités sur le GPL | 48 |
| III.2.1. Définition du GPL | 48 |
| III.2.2. Sources de GPL | 48 |
| III.2.3. La composition du GPL | 48 |
| III.2.4. Caractéristique du GPL | 49 |
| III.2.5. Utilisation du GPL | 50 |
| III.2.6. Les risques des GPL | 50 |
| III.2.7. Les phénomènes liés à la stabilisation du GPL dans un ballon de reflux | 51 |
| III.2.7.1. L'incendie | 51 |
| III.2.7.2. UVCE (explosion d'un nuage de gaz en atmosphère libre) | 51 |
| III.2.7.3. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapeur Explosion) | 52 |
| III.2.7.3.1. Les étapes du BLEVE | 52 |
| III.2.7.4. Eclatement du ballon | 52 |
| III.2.7.4.1. Les étapes de l'éclatement du ballon | 53 |
| III.3. Présentation du complexe RA1K et du ballon de reflux de GPL V-8 | 53 |
| III.3.1. Le raffinage en Algérie | 53 |
| III.3.2. NAFTEC Algérie | 53 |
| III.3.3. Produits de NAFTEC Algérie | 54 |
| III.3.4. Présentation du complexe RA1K | 55 |
| III.3.4.1. Situation géographique du complexe RA1K | 55 |
| III.3.4.2. Structure générale du complexe de raffinage de Skikda | 56 |
| III.3.4.3. Vue d'ensemble des unités de procès | 56 |
| III.3.4.4. Organisation générale du département HSE | 58 |
| III.3.4.5. Les unités 10 /11 (TOPPING) | 59 |
| III.3.4.6. Description du procédé (topping) | 59 |
| III.3.5. Le choix de l'installation Stabilisateur-A comme installation d'étude | 60 |
| III.3.5.1. Description générale du Système à étudier « Ballon de Reflux V-8 » | 62 |
| III.3.5.2. Système de sécurité de V-8 | 63 |

| | |
|--------------------------|----|
| III.4. Conclusion | 66 |
|--------------------------|----|

| | |
|---|----|
| CHAPITRE IV : Évaluation des risques au niveau de ballon de reflux de GPL V-8 | |
| IV.1. Introduction | 67 |
| IV.2. Evaluation des risques au niveau de ballon de reflux de GPL V-8 via les méthodes HAZOP et LOPA | 67 |
| IV.2.1. Analyse des risques et identification des évènements dangereux via la méthode HAZOP | 67 |
| IV.2.2. Quantification des fréquences d'accidents via la méthode LOPA | 73 |
| IV.2.2.1. Identification des fonctions instrumentées de sécurité SIFs de ballon de reflux de GPL V-8 | 73 |
| IV.2.2.2. Données de calcul des fréquences d'accidents et des probabilités de défaillance des barrières de sécurité et des fonctions instrumentées de sécurité | 75 |
| IV.2.2.3. Application de la méthode LOPA sur le ballon de reflux de GPL V-8 | 78 |
| IV.3. Analyse de la Conformité des SIFs : Estimation de la PFD_{avg} et du SIL Réel à l'aide de GRIF via logiciel GRIF – Module SIL | 83 |
| IV.4. Modélisation des conséquences d'un BLEVE à l'aide d'ALOHA | 88 |
| IV.5. Conclusion | 91 |

Conclusion générale

Annexe

Table des matières

Références bibliographiques

Résumé

Résumé

Dans un contexte industriel complexe, ce travail évalue le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) d'un ballon de reflux de GPL au sein du complexe RA1K.

Une analyse HAZOP a permis d'identifier les scénarios accidentels, suivie d'une évaluation de leur acceptabilité par la méthode LOPA.

L'outil SIL du logiciel GRIF a ensuite été utilisé pour quantifier les fonctions instrumentées de sécurité (SIF) de système instrumenté (SIS) de sécurité et formuler des recommandations visant à garantir un risque résiduel acceptable.

Mots-clés : **SIL, SIF, SIS, HAZOP, LOPA, GPL, ballon de reflux, GRIF.**

Abstract

In a complex industrial context, this work evaluates the Safety Integrity Level (SIL) of a GPL reflux drum within the RA1K complex.

A HAZOP analysis was conducted to identify potential accident scenarios, followed by an acceptability assessment using the LOPA method.

The SIL tool in GRIF software was then used to quantify the Safety Instrumented Functions (SIF) of the Safety Instrumented System (SIS) and propose recommendations to ensure an acceptable residual risk.

Keywords: **SIL, SIF, SIS, HAZOP, LOPA, GPL, reflux drum, GRIF.**

الملخص

في سياق صناعي معقد، يُقَيَّم هذا العمل مستوى سلامة السلامة (SIL) لخزان الراجع لغاز البترول المسال (GPL) ضمن مجمع RA1K.

حدد تحليل HAZOP سيناريوهات الحوادث، تبعه تقييم لمدى قبولها باستخدام طريقة تحليل طبقة الحماية (LOPA).

ثم استُخدمت أداة SIL في برنامج GRIF لتحديد وظائف السلامة المُجهزة (SIFs) لنظام السلامة المُجهزة (SIS)، وصياغة توصيات لضمان مستوى مقبول من المخاطر المتبقية.

الكلمات المفتاحية: **SIL, SIF, SIS, HAZOP, LOPA, GPL, خزان الراجع, GRIF.**