



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي

Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

## Département de Sécurité Industrielle et Environnement

### MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

**Filière :** Hygiène et sécurité industrielle

**Spécialité :** Prévention et intervention

### Thème

## L'étude d'un système instrumenté de sécurité au niveau du complexe GP1/Z

Présenté et soutenu publiquement par :

**FELIDJ ASMA**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
<b>Dr A. NADJI</b>	<b>MA</b>	<b>-</b>	<b>Président</b>
<b>Mr M. KEDDAR</b>	<b>MAA</b>	<b>Univ-Oran2</b>	<b>Encadreur</b>
<b>Mme N. AISSANI</b>	<b>MCA</b>	<b>Univ-Oran2</b>	<b>Examinatrice</b>

**Juin 2019**

## ***REMERCIEMENTS***

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier, mon encadreur Mr M. KEDDAR, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je tiens à adresser mes remerciements à Mr A. NADJI d'avoir accepté de présider mon jury. Je remercie également Mme N. AISSANI pour avoir accepté d'être examinatrice de mes travaux de mémoire, pour l'intérêt et le temps qu'ils ont portés à mon travail. Qu'ils trouvent ici mes considérations les plus sincères.

Je désire exprimer mes vifs remerciements à Mr M. BOURAS pour son accueil durant mon stage, et pour tous les conseils et éclaircissements qu'il m'a prodigués.

Aussi un grand merci à Mr A. YSSAD et Mr S. FEKIH pour leur sympathie, leur accueil et patience, les plus valorisants.

Également, je voudrai remercier tout le personnel du complexe GP1/Z en particulier ceux du département sécurité.

## *DEDICACES*

Je dédie ce travail :

*À mes chers parents,*

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitte jamais assez. Puisse Dieu, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive ;

*A ma sœur Bouchra, mon beau-frère Nadir et mon adorable neveu Yacine,*

En signe de l'affection et du grand amour que je vous porte, les mots sont insuffisants pour exprimer ma profonde estime. Je vous dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection et de mon attachement indéfectible. Que Dieu vous accorde santé, succès et félicité pour faire de vous un couple uni et heureux à jamais. Que Dieu protège Yacine et le bénisse.

*A mes chères amies Abdelaziz Leila, Yahiaoui Hanane, Ali bennacer Zohra, Bendjelida Hanane et bekkadour khiera,*

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et du bonheur

*A mon cher ami Grada Housseem Eddine,*

Je ne te remercierai jamais assez pour ton soutien, tes efforts et tes conseils bien nécessaires durant mes recherches, c'est grâce à ton aide que ce travail a pu voir le jour ;

*A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment*

## RÉSUMÉ

La principale vocation de la sécurité est d'éliminer les risques inacceptables qui pourraient être responsables de blessures physiques, d'atteinte à la santé des personnes, dégrader l'environnement et causer des pertes de production à coût élevé.

La sécurité, ce n'est évidemment pas que de l'organisation. C'est aussi des méthodologies à suivre, des moyens techniques à déployer. Et pour cela, une norme s'est imposée à l'échelle internationale : CEI 61508. Il s'agit d'une norme orientée "performances", c'est-à-dire qu'elle laisse à l'utilisateur le soin de réaliser son analyse de risque et lui propose des moyens pour le réduire.

Elle porte plus particulièrement sur le système E/E/EP (électrique, électronique et électronique programmable relatif à la sécurité).

La norme CEI 61511 décrit différentes méthodes pour déterminer le niveau d'intégrité de sécurité d'une fonction instrumentée de sécurité SIL « Safety Integrity Level ».

Cette étude est accomplie sur le site du complexe GP1/Z. Ayant pour objectif l'étude d'un système instrumenté de sécurité au niveau du compresseur de propane « 32-C-7001 » présenté au niveau de la section réfrigération du train 700 afin d'évaluer le niveau SIL ainsi d'apporter une amélioration du fonctionnement et des performances de ses installations, ainsi que leur sécurisation.

Dans cette étude, nous avons utilisé la méthode HAZOP pour identifier tous les scénarios et décortiquer leurs enchainements.

Ainsi, une sélection des scénarios à la base d'une cotation. Ensuite déterminer le niveau d'intégrité de sécurité par la méthode des graphes du risque « SIL requis ». Le risque résiduel fait l'objet d'une étude LOPA dans le but de vérifier le niveau d'intégrité de sécurité requis « SIL requis ».

À la fin de l'étude, nous avons fait une étude de disponibilité du système instrumenté de sécurité « PSHH-7214 » afin de s'assurer si elle est apte à répondre où moment de l'apparition des dysfonctionnements.

**Mots-clés :** la norme CEI 61508, la norme CEI 61511, Compresseur de propane, HAZOP, SIL, IPL, LOPA, SIS

## **ABSTRACT**

The main purpose of security is to eliminate unacceptable risks that might be responsible for physical injuries, damage to human health, that might degrade the environment and cause losses of high-cost production.

Security is obviously not just about organization. There are also methodologies to follow and technical resources to deploy. Therefore, a standard has emerged internationally: IEC 61508, it's a performance-oriented standard, which means that the user can be able to carry out his risk analysis and suggests ways to reduce it.

It focuses on the E / E / PE (Electrical / Electronic / Programmable Electronic Safety-related systems).

IEC 61511 standard describes various methods for determining the security and integrity level of an instrumented security function SIL (Safety Integrity Level).

This study was realized in GP1/Z complex. The purpose was to study an instrumented safety system in the propane compressor (32-C-7001), presented in the refrigeration section of train 700, in order to assess its SIL to improve the functioning of the operation and the performances of its facilities and their security.

We used the HAZOP method to identify all scenarios and analyse their sequences, a selection of scenarios based on a quotation, afterwards, determine the level of safety integrity by the risk graph method (SIL required). The residual risk represents the subject of study of LOPA to verify the required safety integrity level (the required SIL).

At the end of the study, we realized a study about the availability of the security instrument system "PSHH-7214" to make sure that it is able to respond when malfunctions occur.

**Key words:** standard IEC 61508, standard IEC 61511, propane compressor, IPL, HAZOP, SIL, LOPA, SIS.

# **SOMMAIRE**

## SOMMAIRE

Liste des tableaux.....	iv /v
Liste des figures.....	vi /vii
Glossaire.....	viii/ xi
Introduction générale.....	01
Problématique .....	03
 <b>Chapitre I : DETERMINATION DES SYSTÈMES INSTRUMENTE DE SÉCURITÉ</b>	
I.1. INTRODUCTION.....	05
I.2. PROBLÉMATIQUE DE LA SÉCURITÉ.....	05
I.2.1. Notion de danger.....	06
I.2.2. Notion de risque.....	06
I.2.2.1. Mesure de risque.....	07
I.2.2.2. Classification des risques.....	08
I.2.3. Notion de sécurité.....	09
I.2.4. Principes généraux de protection.....	09
I.2.4.1. Sécurités passives.....	09
I.2.4.2. Sécurité active.....	10
I.3. SÉCURITÉ FONCTIONNELLE.....	10
I.3.1. Définition.....	10
I.3.2. Système relatif aux applications de sécurité.....	10
I.4. CONCEPT DES SYSTÈME INSTRUMENTÉ DE SÉCURITÉ.....	11
I.4.1. Définition.....	11
I.4.2. Constitution d'un système instrumenté de sécurité.....	11
I.4.3. Fonction instrumente de sécurité SIF.....	12
I.4.4. Cycle de vie de sécurité d'un système.....	13
I.5. RÉFÉRENTIELS NORMATIFS.....	14
I.5.1. Introduction.....	14
I.5.2. Norme CEI 61508.....	14
I.5.2.1. Domaine d'application.....	14
I.5.2.2. Structure générale de la norme CEI61508.....	14
I.5.2.3. Objectifs de la norme.....	15
I.5.3. Norme CEI 61511.....	15
I.5.3.1. Domaine d'application.....	17
I.5.3.2. Structure générale de la norme.....	17
I.5.3.3. Objectif de la norme.....	17
I.6. EVALUATION DU NIVEAU D'INTEGRITE DE SÉCURITÉ.....	18
I.6.1. Méthodes qualitatives.....	18
I.6.1.1. Graphe de risque.....	18
I.6.2. Méthodes semi quantitatives.....	22
I.6.2.1. Matrice de risque.....	22
I.6.2.2. Méthode LOPA « LAYER OF PROTECTION ANALYSIS ».....	22
I.6.3. Méthodes quantitatives.....	33
I.6.3.1. Probabilité de défaillance dangereuse du système.....	34
I.7. CONCLUSION.....	35

## Chapitre II : CHAPMS D'ÉTUDE « INSTALLATION »

II.1. PRÉSENTATION DU COMPLEXE GP1/Z.....	36
II.1.1. Préambule.....	36
II.1.2. Situation géographique du complexe GP1/z.....	36
II.1.3 Historique.....	36
II.1.4. Fiche technique du GP1/Z.....	37
II.1.5. Description des différentes zones du complexe GP1/Z.....	39
II.1.5.1. Zone Procès.....	39
II.1.5.2. Zone utilité.....	39
II.1.5.3. Zone Stockage Et Chargement.....	40
II.1.6. POLITIQUE SSE AU SEIN DU COMPLEXE GP1/Z.....	40
II.1.6.1. Vision de Sonatrach vis-à-vis la politique SSE .....	40
II.1.6.2. Principes de la Sonatrach liées à la SSE.....	41
II.2. Description générale du procédé.....	43
II.2.1. Stockage de l'Alimentation.....	43
II.2.1.1. Section déshydratation.....	43
II.2.1.2. Section de séparation.....	44
II.2.1.3. Section de Réfrigération.....	45
II.2.1.4. Section de l'huile chaude.....	45
II.2.2. Stockage et Expédition.....	45
II.3. GÉNÉRALITÉ SUR LES COMPRESSEURS .....	48
II.3.1. Préambule .....	48
II.3.2. Historique.....	48
II.3.3. Définition.....	48
II.3.4. Type des compresseurs.....	48
II.3.4.1. Compresseurs volumétriques .....	49
II.3.4.1.1. Compresseurs alternatifs .....	50
II.3.4.1.2. Compresseurs rotatifs volumétriques.....	51
II.3.4.2. Compresseurs dynamiques.....	52
II.3.4.2.1. Compresseurs axiaux.....	53
II.3.4.2.2. Compresseurs centrifuges.....	53
II.3.5. Compresseurs de propane 32-C-7001.....	56
II.3.5.1. Caractéristiques techniques .....	56
II.3.5.2. Arrêt normal.....	58
II.3.5.3. Equipements de sécurité.....	58
II.3.5.3.1. Soupapes de sécurité .....	58
II.3.5.3.2. Alarmes instruments.....	58
II.3.5.4. Déclanchements de sécurité.....	59
II.3.5.5. Arrêt d'urgence.....	60
II.3.5.6. Etude HAZOP « Hazard and operability studies ».....	61
II.3.5.6.1. Méthodologie de l'étude HAZOP.....	61
II.3.5.7. Liste des SIF retenus.....	65
II.4. CONCLUSION.....	65

## Chapitre III : ÉVALUATION DE LA CLASSE SIL POUR LA BOUCLE PSHH-7214

III.1. INTRODUCTION.....	66
III.2. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ARRÊT D'URGENCE ESD.....	66
III.2.1. Description du système de contrôle distribué Système « DCS ».....	66

III.2.2. Description du système d'arrêt d'urgence ESD.....	66
III.3. MÉTHODOLOGIE DE CALCUL.....	68
II.4. Identification de la boucle ESD.....	70
III.4.1. Description de détecteur PSHH-7214.....	70
III.5. CALCUL DE LA CLASSE SIL POUR LA BOUCLE PSHH-7214.....	71
III.5.1. Diagramme cause & effet.....	71
III.5.2. Etude HAZOP pour la boucle PSHH-7214.....	72
III.5.3. Analyse de la classe SIL pour la boucle PSHH-7214.....	72
III.5.4. Détermination de la classe SIL pour SIF.....	75
III.5.5. Identification de IPL.....	78
III.5.6. Réduction de SIL.....	78
III.5.7. Conclusion « fin e l'analyse ».....	83
III.6. ÉTUDE DE DISPONIBILITÉ DE LA BOUCLE PSHH-7214.....	86
III.6.1. Recueil des données.....	86
III.6.2. Calcul des paramètres MTBF, MTTR, $\lambda$ et la disponibilité AI.....	87
I.7. CONCLUSION.....	88
Recommandations /Suggestions.....	90
Conclusion générale .....	91
 Bibliographie.....	 I /II
Annexe 01 : Structure générale de la norme IEC .....	III
Annexe 02 : Structure générale de la norme IEC 61511 [2] .....	IV
Annexe 03 : Politique QHSE au niveau du complexe GP1/Z.....	V
Annexe 04 : Système d'arrêt d'urgence installé au niveau du complexe GP1/Z.....	VI
Annexe 05 : La classe SIL pour la boucle PSHH .....	VII

# **LISTE DES TABLEAUX**

## LISTE DES TABLEAUX

### Chapitre I : DÉTERMINATION DES SYSTÈMES INSTRUMENTE DE SÉCURITÉ

<b>Tableau I.1</b> : Table d'estimation du risque [8].....	07
<b>Tableau I.2</b> : Le paramètre C (conséquence) du graphe de risque .....	19
<b>Tableau I.3</b> : Le paramètre F (Exposition) du graphe de risque.....	20
<b>Tableau I.4</b> : Le paramètre P (Possibilité d'éviter le danger) du graphe de risque.....	20
<b>Tableau I.5</b> : Le paramètre W (Taux de sollicitations) du graphe de risque.....	20
<b>Tableau I.6</b> : Proposition de fréquences d'occurrence pour des événements initiateurs.....	30
<b>Tableau I.7</b> : Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières passives.....	31
<b>Tableau I.8</b> : Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières humaines selon la norme IEC61511-3.....	32
<b>Tableau I.9</b> : Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières humaines selon le CCPs.....	32
<b>Tableau I.10</b> : Niveaux d'intégrité de sécurité (SIL) : Sollicitation faible [4].....	34
<b>Tableau I.11</b> : Niveaux d'intégrité de sécurité (SIL) : Sollicitation élevée ou continue [4]..	34

### Chapitre II : CHAPMS D'ÉTUDE « INSTALLATION »

<b>Tableau II.1</b> : L'historique du complexe GP1Z.....	37
<b>Tableau II.2</b> : Fiche technique du complexe GP1/Z.....	38
<b>Tableau II.3</b> : les bras de la rampe de chargement des produits.....	40
<b>Tableau II.4</b> : Paramètre de service pour le compresseur 32-C-7001.....	58
<b>Tableau II.5</b> : Liste des soupapes de sureté installées au niveau du compresseur 32-C-7001.....	58
<b>Tableau II.6</b> : Liste des alarmes de température installées au niveau du compresseur 32-C-7001.....	59
<b>Tableau II.7</b> : Liste des alarmes de débit installées au niveau du compresseur 32-C-7001.....	59
<b>Tableau II.8</b> : Liste des alarmes de pression installées au niveau du compresseur 32-C-7001.....	59
<b>Tableau II.9</b> : Liste des arrêts d'urgences du compresseur de propane 32-C-7001.....	61
<b>Tableau II.10</b> : L'étude HAZOP pour le compresseur de propane 3-C-7001.....	63/64
<b>Tableau II.11</b> : Les SIF retenus au niveau du compresseur 32-C-7001.....	65

### Chapitre III : ÉVALUATION DE LA CLASSE SIL POUR LA BOUCLE PSHH-7214

<b>Tableau III.1</b> : Matrice cause/effet pour la boucle PSHH-7214.....	72
<b>Tableau III.2</b> : L'étude de paramètre pression par l'HAZOP pour le compresseur de propane 3-C-7001.....	72
<b>Tableau III.3</b> : les composants de la boucle PSHH-7214.....	73
<b>Tableau III.4</b> : Cause de demande et conséquence de défaillance pour la boucle PSHH-7214.....	75
<b>Tableau III.5</b> : le niveau SIL requis pour la boucle PSHH-7214.....	78
<b>Tableau III.6</b> : Critères SONATRACH de Risques Tolérables pour l'Etude LOPA.....	80

**Tableau III.7** : Évaluation de la gravité des conséquences associées au scénario.....80  
**Tableau III.8** : Réduction de niveau SIL pour la boucle PSHH-7214 avec la méthode LOPA.....83  
**Tableau III.9** : Analyse du scénario N°1 par la méthode LOPA.....84/85  
**Tableau III.10** : Résultat de Calcul des MTBF, MTTR,  $\lambda$ , AI pour le détecteur PSHH-7214.....88

# **LISTE DES FIGURES**

## LISTE DES FIGURES

**Chapitre I : DÉTERMINATION DES SYSTÈMES INSTRUMENTÉ DE SÉCURITÉ**

<b>Figure I.1</b> : Diagramme état/transition du processus accidentel.....	06
<b>Figure I.2</b> : Courbe de Farmer [9].....	08
<b>Figure I.3</b> : structure d'un SIS [2].....	11
<b>Figure I.4</b> : Cycle de vie de sécurité d'un système.....	13
<b>Figure I.5</b> : Utilisateurs de l'IEC 61511 et l'IEC 61508.....	16
<b>Figure I.6</b> : Relations entre l'IEC 61511 et l'IEC 61508.....	16
<b>Figure I.7</b> : Structure générale de la norme IEC 61511 [2].....	17
<b>Figure I.8</b> : Graphe de risque [4].....	19
<b>Figure I.9</b> : Graphe des risques atteints aux personnes donnant le niveau SIL ou dégradation de l'environnement.....	21
<b>Figure I.10</b> : Graphe des risques donnant le niveau SIL avec perte de production.....	21
<b>Figure I.11</b> : Matrice de risque [4].....	22
<b>Figure I.12</b> : Répartition des méthodes d'analyse.....	23
<b>Figure I.13</b> : Processus général de la méthode LOPA.....	27
<b>Figure I.14</b> : les barrières indépendantes de sécurité.....	29

**Chapitre II : CHAPMS D'ÉTUDE « INSTALLATION »**

<b>Figure II.1</b> : Localisation géographique du complexe GP 1/z sur la zone d'Arzew (Source google earth).....	36
<b>Figure II.2</b> : Les différentes zones du complexe GP1/Z.....	39
<b>Figure II.3</b> : Schéma synoptique de principe du procédé de GPIZ.....	47
<b>Figure II.4</b> : Les catégories fondamentales de compresseur.....	49
<b>Figure II.5</b> : Les différents types des compresseurs volumétriques.....	49
<b>Figure II.6</b> : Compresseurs alternatifs.....	50
<b>Figure II.7</b> : Les compresseurs rotatifs.....	51
<b>Figure II.8</b> : Les compresseurs dynamiques.....	53
<b>Figure II.9</b> : Compresseur centrifuge.....	54
<b>Figure II.10</b> : Parcours du gaz à l'entrée du compresseur brides d'aspiration.....	55
<b>Figure II.11</b> : Parcours du gaz au niveau de l'impulser.....	55
<b>Figure II.12</b> : volute de refoulement.....	56

**Chapitre III : ÉVALUATION DE LA CLASSE SIL POUR LA BOUCLE PSHH-7214**

<b>Figure III.1</b> : Méthodologie de calcul du SIL dans la norme CEI 61508/61511 [2].....	68
<b>Figure III.2</b> : schéma fonctionnel de classification SIL [31].....	69
<b>Figure III.3</b> : schéma synoptique de la boucle PSHH-7214.....	70
<b>Figure III.4</b> : Détecteur (capteur) de pression PSHH-7214.....	71
<b>Figure III.5</b> : P&ID du compresseur 32-C-7001.....	74
<b>Figure III.6</b> : Etalonnage des paramètres du graphe de risque pour SILs.....	76
<b>Figure III.7</b> : Etalonnage des paramètres du graphe de risque pour SILc.....	77
<b>Figure III.8</b> : Etalonnage des paramètres du graphe de risque pour SILe.....	77
<b>Figure III.9</b> : Principe ALARP.....	79

**Figure III.10** : Description du scénario N°1 selon la méthode LOPA..... 81  
**Figure III.11** : L'emplacement du détecteur PSHH-7214..... 86  
**Figure III.12** : Extraction des données à partir du PHD. Détecteur PSHH-7214 au niveau du compresseur de propane 32-C-7001..... 87  
**Figure III.13** : Page d'EXCEL pour le calcul de MTBF, MTTR,  $\lambda$  et AI pour le détecteur PSHH-7214..... 87

# **GLOSSAIRE**

## GLOSSAIRE

### **A**

**APR** : Analyse préliminaire des risques  
**APS** : Automate programmable de sécurité

### **B**

**BP** : Basse pression  
**BPCS**: Basic Process Control System

### **C**

**CC** : Chargement par camion  
**CCPs**: Center for Chemical Process Safety  
**CEI** : Comité d'électrotechnique international

### **E**

**EI** : Événement initiateur  
**E/ E/ EP** : électriques/électroniques/électroniques programmables de sécurité

### **G**

**GNL** : Gaz naturel liquéfié  
**GPL** : Gaz de pétrole liquéfié

### **H**

**HP**: Haute pression  
**HAZOP**: Hazard and OPerability analysis

### **I**

**IEC**: International Electrotechnical Commission  
**IPL** : Independant Protection Layer/Couche de protection indépendante  
**ISA** : International Society of Automation  
**ISO** : International Organization for Standardization  
**ISA** : International Society of Automation

### **L**

**LOPA**: Layer of protection analysis  
**LCN** : local control network

## **M**

- MP** : Moyenne pression  
**MMRI** : Mesure de maîtrise des risques instrumentée  
**MMR** : Mesure de maîtrise des risques

## **P**

- PPM** : Partie par million  
**PLC** : Programmable logic controller  
**PFD** : Probability of Failure on Demand  
**PPRT** : Plan de prévention des risques technologiques

## **Q**

- QHSE** : Qualité, hygiène, sécurité et environnement

## **S**

- SIL** : Safety Integrity Level/Niveau d'intégrité  
**SIF** : Safety Instrumented Function/Fonction instrumentée de sécurité  
**SIS** : Système instrumenté de sécurité  
**SSE** : Santé, sécurité et environnement

## **U**

- UCN** : Universal control network

## NOMENCLATURE

**Zone ALARP** : (« as low as reasonably practicable », en anglais) : le risque est accepté sous condition que toutes les mesures de réduction du risque envisageables dont le coût n'est pas disproportionné par rapport aux bénéfices attendus ont été mises en œuvre. Il convient alors de s'assurer par un management approprié que le risque réponde toujours aux conditions ALARP et qu'il n'évolue pas dans la zone inacceptable au cours du cycle de vie de l'installation.

**GATIOR** : base de données e SONATRACH. L'outil de gestion de la maintenance.

**PHD** : (Process History Database) c'est un logiciel produit par Honeywell ; Il collecte, stocke et relit les données historiques et continues des processus de l'installation. Il contribue à améliorer la visibilité sur l'ensemble de la chaîne logistique afin de transformer des îlots de processus et de données métiers en informations précieuses, permettant aux organisations de prendre des décisions meilleures et plus rapides.

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

La Sécurité fonctionnelle consiste à identifier les défaillances spécifiques dangereuses qui conduisent à des conséquences graves « catastrophe humaine et matérielle », Les appareils dont l'échec contribue à chacun de ces risques est identifié et habituellement dénommé « relatif à la sécurité ».

Des exemples sont les systèmes industriels de contrôle de processus, les systèmes de l'arrêt de processus, de l'équipement de signalisation ferroviaire, les contrôles l'automobile, médicale, ...etc.

En d'autres termes, tout équipement « avec ou sans logiciel » dont la défaillance peut contribuer à un risque est susceptible d'être liés à la sécurité.

La sécurité, ce n'est évidemment pas que de l'organisation. C'est aussi des méthodologies à suivre, des moyens techniques à déployer. Et pour cela, une norme s'est imposée à l'échelle internationale c'est la norme CEI 61508. Il s'agit d'une norme orientée « performances », c'est-à-dire qu'elle laisse à l'utilisateur le soin de réaliser son analyse de risque et elle lui propose des moyens pour le réduire. Elle porte plus particulièrement sur le système E/E/EP (Electrique/ Electronique et électronique programmable de sécurité). En principe, elle ne concerne pas les systèmes simples, pour lesquels le mode de défaillance de chaque élément est clairement défini et pour lesquels le comportement du système peut être totalement déterminé dans le cas d'une défaillance.

La norme CEI 61508 définit la sécurité comme «la liberté d'inacceptables risque ». La Sécurité fonctionnelle a été définie comme « une partie de l'ensemble de sécurité concernant le processus « le Basic Process Control System (BPCS) qui dépend du bon fonctionnement du SIS et d'autres couches de protection indépendante ». Un niveau élevé de sécurité fonctionnelle signifie qu'un système de sécurité instrumenté (SIS) fonctionnera correctement et avec une forte probabilité de succès.

La norme CEI 61508 traite de la sécurité fonctionnelle, qui a un champ d'application plus réduit que celui de la sécurité globale car elle ne s'intéresse qu'aux systèmes E/E/EP.

Pour spécifier de tels systèmes, il faut commencer par faire une analyse approfondie des phénomènes dangereux et voir comment on va s'y prendre pour amener le risque à un niveau acceptable dans notre étude on va utiliser HAZOP (Hazard and operability study) pour identifier les scénarios et décortiquer leurs enchainements. Ainsi, une sélection de scénario associé au SIS qui va faire l'objet de notre étude. Afin d'identifier la fonction instrumentée de sécurité et définir son niveau SIL, il est nécessaire que les risques soient préalablement identifiés, ainsi que leurs conséquences sur les personnes, les biens et l'environnement.

En premier lieu il est indispensable de faire une description des procédés et des installations ensuite une caractérisation des potentiels de dangers et l'estimation de leurs effets est indispensable et puis on fait l'analyse de risques réalisés.

Ces données ne sont pas toujours explicitement formulées et recensées au niveau de la documentation de l'entreprise. Par conséquent, il est nécessaire de réaliser un travail visant

soit à améliorer la documentation soit à rechercher les informations indispensables notamment d'identifier les risques potentiels et les barrières de sécurité existantes. Pour ce faire, un audit de l'installation peut être envisagé afin de recenser les documents existants, de rassembler les éléments nécessaires à la définition du SIL et d'identifier les analyses complémentaires à mener.

La norme CEI 61511 décrit différentes méthodes de détermination de SIL. Parmi celles-ci, on citera la méthode qualitative qui est le graphe de risque et les méthodes semi-quantitatives que sont « la matrice de risque » et la méthode LOPA « Layer of Protection Analysis », ainsi les méthodes purement quantitatives que sont les équations simplifiées, les arbres de défaillance et les approches markoviennes.

Le complexe GP1/Z du groupe SONATRACH est un site qui a plusieurs unités composées de plusieurs sections. Ces dernières présentent des risques majeurs, selon la classification réglementaire (installation classée pour l'environnement), parmi lesquelles la section réfrigération du train 700 où le compresseur de propane est son élément stratégique.

L'étude de danger et les résultats de retour d'expérience REX effectué dans la section réfrigération ont montrés que le risque d'augmentation de pression de refoulement au niveau du compresseur de propane est le phénomène qui représente une probabilité considérable.

Pour cela, ce risque est repéré par un équipement représentatif du système instrumenté de sécurité, c'est la boucle PSHH-7214 destinée pour la protection du compresseur de propane contre une très haute pression de refoulement du compresseur 32-C-7001.

Dans notre étude, nous commençons par l'application de la méthode HAZOP dont l'objectif est de sélectionner et décortiquer le scénario qui mènent à l'étude de cette boucle.

L'évaluation du niveau d'intégrité de sécurité se fait par la méthode des graphes de risque en introduisant aussi la notion des couches de protection traitée à travers l'application de la méthode semi-quantitative LOPA (Layer Of Protection Analysis) qui a l'aptitude de déterminer et vérifier les SIL requis. Le CCPS « le centre de création de la méthode LOPA » indique que les résultats de l'HAZOP sont primordiaux comme éléments d'entrées de la méthode LOPA, Suite aux résultats de la méthode LOPA, nous pouvons juger qu'un tel risque est acceptable ou non, après on décide, que les barrières de sécurité qui ont été mises en place sont suffisantes ou pas.

À la fin de l'étude, nous avons fait une étude de disponibilité de la boucle afin de s'assurer si elle est apte à répondre où moment d'apparition des dysfonctionnements.

# **PROBLÉMATIQUE**

## **PROBLÉMATIQUE**

Parce que la sécurité et la santé des travailleurs sont des exigences essentielles pour les employeurs, les systèmes de sécurité prennent une place primordiale dans les équipements de travail et ceci pour des domaines aussi variés que les Industries de Procédés, les Machines, le Nucléaire, le Ferroviaire, les Atmosphères Explosives... etc.

Cette étude a été réalisée sur un des sites de l'entreprise SONATRACH- d'Arzew au niveau du complexe de séparation et liquéfaction de gaz pétrolier GP1/Z, ayant pour objectif d'étudier un système instrumenté de sécurité, de déterminer son niveau de SIL et d'évaluer sa disponibilité au niveau du compresseur de propane 32-C-7001 ainsi d'apporter une amélioration du fonctionnement et des performances de ses installations, ainsi que leur sécurisation.

Le risque prédominant dans cette installation étant celui de l'endommagement des diffuseurs du compresseur et d'incendie du fait de l'inversion de la pression en amont et en aval dans le compresseur de propane. Ce risque inacceptable, du point de vue analyse, a fait l'objet de mesures réductrices et d'instauration de barrières de sécurité à la hauteur de la gravité qu'il représente ; ces barrières étant principalement techniques et de design sont basées sur des équipements électriques et électroniques sujets à des perturbations dues à l'environnement dans lequel ils sont exploités.

Le complexe GP1/Z, par ses moyens techniques et organisationnels, s'est engagé à maintenir ces systèmes de sécurité en état de fonctionnement fiable en permanence ; d'où la nécessité d'avoir une approche fiabiliste en se basant sur l'analyse fonctionnelle des systèmes de sécurité.

Une de ces barrières exploitées au niveau de ce complexe fera l'objet de notre étude à savoir la barrière de protection du compresseur de propane 32-C-7001 contre une très haute pression de refoulement.

Le choix de cette barrière s'est basé sur son importance dans le dispositif sécuritaire exploité, ainsi que le risque majeur engendré par sa perte ou son mauvais fonctionnement qui peuvent inévitablement compromettre tout le complexe et mettre en danger le personnel opérant dans ces installations en plus de l'impact environnemental majeur du fait d'une mise à l'atmosphère de quantité de propane.

La barrière de protection du compresseur de propane contre une très haute pression de refoulement est un système instrumenté dédié uniquement à la sécurité d'un système Instrumenté de sécurité SIS.

Les Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS) assurent la Sécurité Opérationnelle des équipements en éliminant ou réduisant les phénomènes dangereux identifiés lors de la réalisation de leur analyse de risques.

Or, ces SIS, intégrant des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables (E/E/EP), doivent être conçus de façon à empêcher toutes défaillances dangereuses ou de les maîtriser quand elles surviennent.

L'application volontaire de la série des normes CEI 61508 utilise une approche basée sur le risque encouru permettant de déterminer les prescriptions nécessaires concernant l'intégrité de la sécurité des systèmes relatifs à la sécurité (mécanique, hydraulique, pneumatique, électrique ...) et plus spécifiquement des systèmes à base E/E/EP (Electrique/Electronique/Electronique programmable).

Ces prescriptions déterminées, elles permettent de définir les niveaux (appelés niveau d'intégrité de la sécurité) requis pour empêcher les défaillances dangereuses selon des méthodes qualitative « graphe de risque », semi-quantitative « LOPA et la matrice de risque » ou des méthodes qualitatives « les équations simplifiées, arbre de défaillance... » ; ces méthodes sont déterminées par la norme CEI 615011.

Ces niveaux d'intégrité de la sécurité pour de tels systèmes sont plus communément appelés SIL (Safety Integrity Level). Plus un SIL est élevé, plus la probabilité de défaillance dangereuse du système E/E/EP est faible.

Ce SIL peut être utilisé pour les différentes fonctions stratégiques d'un procédé, et de manière générale peut être représentatif de la bonne ou mauvaise dynamique du plan de management de la maintenance des équipements de sécurité d'un point de vue macroscopique; et dans un proche futur remplacer les états des bilans de tests très contraignants en terme d'analyse et d'avoir une appréciation réelle du fonctionnement des organes névralgiques de la sécurité instrumentée de manière à contribuer dans la sûreté de fonctionnement.

# **CHAPITRE I**

## **DÉTERMINATION DES SYSTÈMES INSTRUMENTÉS DE SÉCURITÉ**

## **I.1. INTRODUCTION**

Afin d'éviter que des phénomènes dangereux tels que des incendies, des explosions ou encore des rejets de matières dangereuses, pouvant occasionner des dommages sur les personnes, l'environnement ou les biens, les industriels sont amenés à mettre en place des systèmes instrumentés de sécurité dont le rôle est de prévenir l'apparition de tels phénomènes ou d'en limiter les conséquences.

Ce type de sécurité utilise des moyens contribuant soit à la prévention soit à la protection pour réduire les risques de dysfonctionnement. Les Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS) sont utilisés comme moyens de sécurité pour réaliser des Fonctions Instrumentées de Sécurité (SIF) afin de mettre le processus dans un état de repli de sécurité si le processus se trouve dans des conditions dangereuses de fonctionnement. La Commission Internationale d'Electronique (CEI), ou "International Electrotechnique Commission" (IEC), a normalisé les systèmes de sécurité ; Norme CEI 61508 en 1998 [1] et CEI 61511 en 2000 [2].

Nous présentons dans ce chapitre le cadre global de nos développements : l'étude d'un système instrumenté de sécurité. Nous étudions les problèmes soulevés par ce système dans le contexte industriel et nous formulons l'objet de notre travail. Le chapitre est composé de cinq parties.

Nous présentons d'abord la problématique de la sécurité dans les entreprises. Nous proposons ensuite une synthèse des notions de sécurité fonctionnelle et des systèmes relatifs aux applications de sécurité. Nous présentons le concept des systèmes instrumentés de sécurité. Nous exposons les principales normes de sécurité utilisées pour la conception de ces systèmes. Enfin, pour conclure, nous proposons les méthodes de détermination de niveau d'intégrité de sécurité SIL.

## **I.2. PROBLÉMATIQUE DE LA SÉCURITÉ**

Malgré les efforts déployés par les entreprises, les accidents (incendies, explosions, etc.) restent nombreux ; L'ampleur et la fréquence de ces accidents ont suscité de nombreux efforts sur les études de risques afin de mieux les prévenir, les prévoir et les gérer.

Dans les études de sécurité, l'étude de dangers reste l'outil d'information privilégié. Il doit permettre d'identifier les dangers que peut présenter l'exploitation de l'installation et les moyens de réduire la probabilité et les effets des potentiels de dangers.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux fonctions liées à la sécurité et plus particulièrement aux systèmes E/E/EP (électriques/électroniques/électroniques programmables) qui sont utilisés pour exécuter ces fonctions. Nous étudions par la suite les normes de sécurité qui décrivent le cycle de vie de ces systèmes depuis la rédaction du cahier des charges, en passant par la conception, l'installation, l'exploitation et la maintenance, jusqu'à la mise hors service.

**I.2.1. NOTION DE DANGER**

Selon A. Desroches [3] et la norme de sécurité IEC 61508 [4], le danger désigne une nuisance potentielle pouvant porter atteinte aux biens (détérioration ou destruction), à l’environnement, ou aux personnes. Les dangers peuvent avoir une incidence directe sur les personnes, par des blessures physiques ou des troubles de la santé, ou indirecte, au travers de dégâts subis par les biens ou l’environnement.

Et selon le référentiel OHSAS 18001 [5] un danger est une source ou une situation pouvant nuire par blessure ou atteinte à la santé, dommage à la propriété et à l’environnement du lieu de travail ou une combinaison de ces éléments.

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

**I.2.2. NOTION DE RISQUE**

La perception des dommages potentiels liés à une situation dangereuse se rapporte à la notion de risque. Le terme risque à plusieurs significations. De même, les risques peuvent être de nature très variée et beaucoup de classifications ont été proposées.

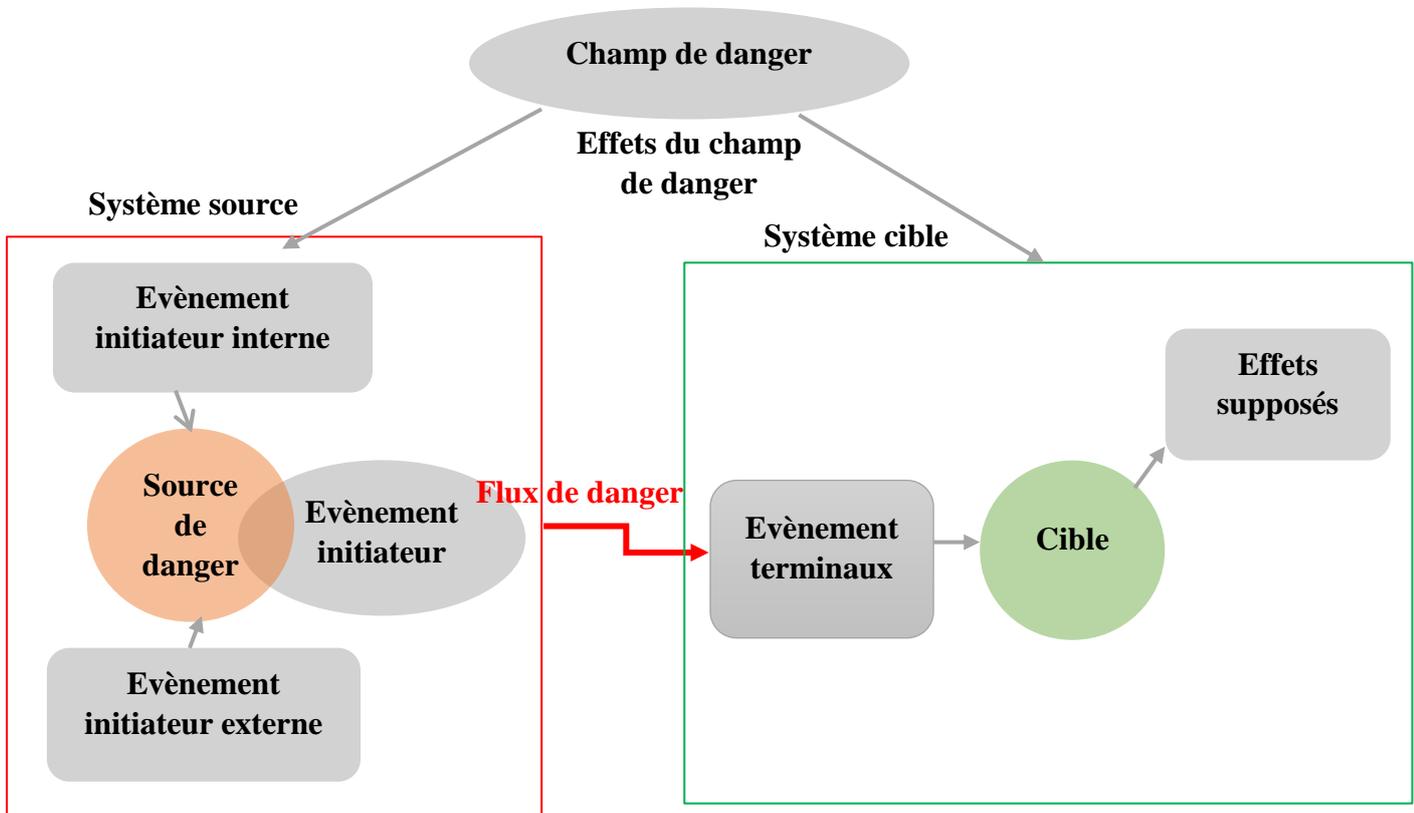


Figure I.1 : Diagramme état/transition du processus accidentel

Les définitions du risque à deux dimensions sont assez proches. Selon A. Villemeur [6], le risque est une mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement indésirable et une mesure de ses effets ou conséquences.

Et selon le référentiel OHSAS 18001 [5], un risque est la combinaison de la probabilité et de la (des) conséquence(s) de la survenue.

Cependant, il existe des définitions légèrement plus complexes que celle de [6] et du référentiel OHSAS 18001 [5] dans lesquelles apparaît une troisième dimension : l'acceptabilité du risque, seuil en dessous duquel on accepte l'existence du danger bien que sa gravité et sa probabilité d'occurrence ne soient pas nulles. Par ailleurs, il faut noter que Périlhon [7] propose une méthode logique pour mettre en évidence la majorité des risques d'une installation : la méthode organisée systémique d'analyse des risques ou MOSAR.

Elle fait appel à une décomposition de l'installation en sous-systèmes et une recherche systématique des dangers présentés par chacun d'entre eux, ces sous-systèmes sont remis en relation pour faire apparaître des scénarios de risques majeurs. La démarche peut se poursuivre par une analyse détaillée de type sûreté de fonctionnement. Elle se termine sur la construction des plans d'intervention.

Dans la suite de nos travaux, le terme risque est lié sans ambiguïté aux risques encourus dans la conduite des systèmes.

### I.2.2.1. MESURE DE RISQUE

Qualitativement, le risque se caractérise par :

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

Tableau I.1 : Table d'estimation du risque [8]

Fréquence d'évènements	Gravité du dommage				
	Catastrophique	Majeure	Mineure	Minime	Négligeable
Fréquent	H	H	H	H	I
Probable	H	H	H	I	I
Occasionnel	H	H	I	I	L
Rare	H	I	I	L	T
Improbable	I	I	L	T	T
Invraisemblable	I	L	T	T	T

Le tableau I.1 représente un exemple de table d'estimation du risque. La lettre **H** représente le risque élevé, la lettre **I** représente le risque intermédiaire, la lettre **L** représente le risque faible et la lettre **T** représente le risque insignifiant. Les couples (fréquence, gravité) résultant en un risque élevé (H) sont mis en valeur car ils représentent les risques les moins tolérables. Il est clair qu'un risque de niveau H fera sans aucun doute l'objet d'un travail de réduction.

En général, le risque se rapporte au couple (gravité, probabilité), le plus souvent cela quantifie le produit de la gravité d'un accident par sa probabilité d'occurrence. Farmer a montré que la gravité et la probabilité d'apparition étaient reliées de façon à peu près linéaire [9]. En effet, si nous représentons les accidents sur une grille (gravité (G), probabilité (P)), nous obtenons la courbe représentée dans la figure 1.2. Tous les risques classés sous la courbe sont considérés comme acceptables, à l'inverse, ils sont considérés comme inacceptables s'ils sont placés au-dessus de la courbe.

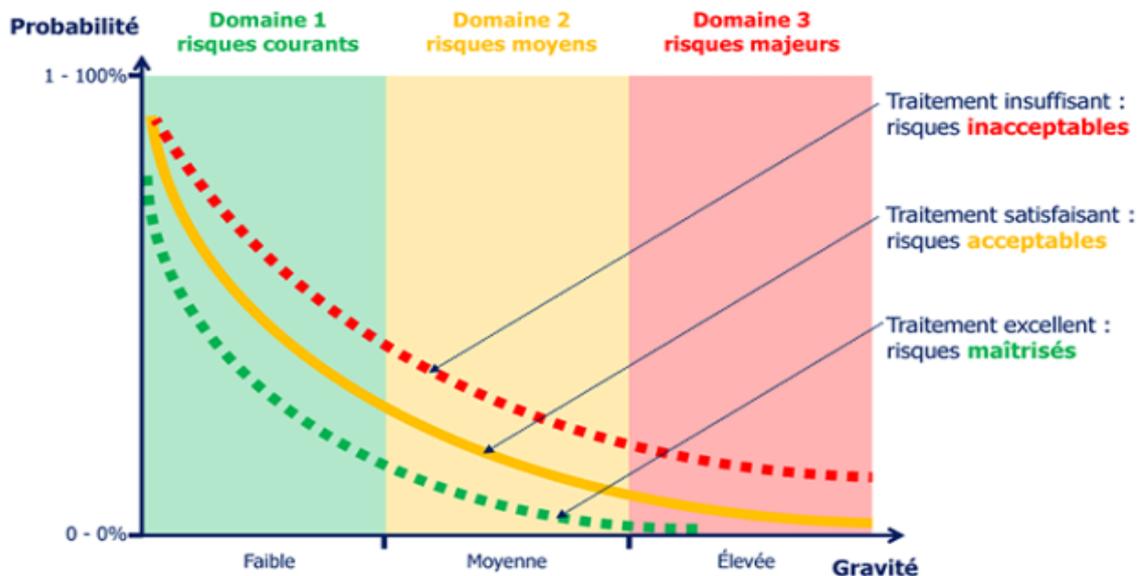


Figure I.2 : Courbe de Farmer [9]

### I.2.2.2. CLASSIFICATIONS DES RISQUES

Dans la littérature, on trouve plusieurs classifications des risques. Selon [10], l'analyse des risques permet de les classer en cinq grandes familles :

- Les risques naturels : inondation, feu de forêt, avalanche, tempête, séisme, etc. ;
- Les risques technologiques : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaires, biologiques, ruptures de barrage, etc. ;
- Les risques de transports collectifs (personnes, matières dangereuses) sont aussi considérés comme des risques technologiques ;
- Les risques de la vie quotidienne : accidents domestiques, accidents de la route ;
- Les risques liés aux conflits.

Une des classifications les plus répandue est de classer les risques en deux catégories ; les risques naturels et les risques liés à l'activité humaine.

Selon cette classification, les risques peuvent être naturels dans le sens où ils ont trait à un événement sans cause humaine directe avérée. Les causes directes supposées ou indirectes ne doivent pas modifier cette distinction. Finalement, nous pouvons caractériser l'opération de classification des risques par les deux types de classement suivants :

- Classement "subjectif" fait par des individus à partir de l'idée qu'ils se font du risque en se fondant sur leur expérience et leurs connaissances ou "objectif" fait à partir de données statistiques, d'enquêtes, etc. ;
- Classement "qualitatif" caractérisé par l'établissement d'un système d'ordre comparatif ou "quantitatif" basé sur le calcul de probabilités.

### **I.2.3. NOTION DE SÉCURITÉ**

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

Selon A. Desroches, A. Leroy, et F. Vallée [11], la sécurité concerne *la non occurrence d'événements pouvant diminuer ou porter atteinte à l'intégrité du système, pendant toute la durée de l'activité du système, que celle-ci soit réussie, dégradée ou ait échouée.*

Et suivant le guide ISO/CEI 73 [12] élaboré par l'ISO (organisation internationale de normalisation) sur la terminologie du management du risque, la sécurité est *l'absence de risque inacceptable, de blessure ou d'atteinte à la santé des personnes, directement ou indirectement, résultant d'un dommage au matériel ou à l'environnement.*

Signalons que dans le cadre des installations industrielles, on parle de sécurité des installations vis-à-vis des accidents et de sûreté vis-à-vis des attaques externes volontaires (type malveillance ou attentat), des intrusions malveillantes et de la malveillance interne ; ce qu'est confirmé par la norme CEI61508 : *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* [4].

### **I.2.4. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE PROTECTION**

Nous pouvons distinguer les mesures de sécurité par leur mode d'action : les sécurités passives et les sécurités actives.

#### **I.2.4.1. SÉCURITÉ PASSIVE**

La sécurité passive désigne tous les éléments (barrières) 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.2.4.2. SÉCURITÉ ACTIVE**

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

La sécurité d'une installation repose sur l'utilisation de ces deux modes d'action. Une préférence est donnée au mode passif quand il est techniquement possible. Des critères de qualité sont exigés pour le mode actif, notamment la tolérance à la première défaillance : doublement de l'organe de sécurité (redondance). La sécurité fonctionnelle reste l'un des moyens les plus importants pour la prise en compte des risques. D'autres moyens de réduction ou d'élimination des risques, tels que la sécurité intégrée dans la conception, sont également d'une importance essentielle [13].

## **I.3. SÉCURITÉ FONCTIONNELLE**

### **I.3.1. DÉFINITION**

Selon la norme IEC 61508 [4], la sécurité fonctionnelle est *le sous-ensemble de la sécurité globale qui dépend du bon fonctionnement d'un système ou d'un équipement en réponse à ses entrées.*

Suivant la norme IEC 61061 [14], la sécurité fonctionnelle *est le sous-ensemble de la sécurité globale se rapportant à la machine et au système de commande de la machine qui dépend du fonctionnement correct des systèmes électriques de commande relatifs à la sécurité, basés sur une autre technologie et des dispositifs externes de réduction de risque.*

La sécurité fonctionnelle veille donc à contrôler l'absence de risques inacceptables qui pourraient :

- Engendrer des blessures ;
- Porter atteinte, directement ou indirectement, à la santé des personnes ;
- Dégrader l'environnement ;
- Altérer la propriété.

La sécurité fonctionnelle couvre les produits ou systèmes mettant en œuvre des solutions de protection fondées sur diverses technologies :

- Mécanique, hydraulique, pneumatique, électrique, électronique, électronique programmable, optique, etc ;
- Ou toute combinaison de ces technologies.

### **I.3.2. SYSTÈME RELATIF AUX APPLICATIONS DE SÉCURITÉ**

Un système E/E/EP (électrique/électronique/électronique programmable de sécurité) relatif aux applications de sécurité comprend tous les éléments du système nécessaires pour remplir la fonction de sécurité. C'est-à-dire, depuis le capteur, en passant par la logique de contrôle et les systèmes de communication, jusqu'à l'actionneur final, tout en incluant les actions critiques de l'opérateur.

Les systèmes de sécurité sont définis en termes d'absence de risque inacceptable de blessure ou de préjudice à la santé des personnes. Les dommages aux personnes peuvent être directs ou indirects, comme des dommages aux biens ou à l'environnement par exemple. Certains systèmes peuvent être principalement conçus pour se prémunir contre des pannes ayant des implications économiques majeures. Ceci signifie que dans l'esprit, à objectifs techniques comparables ou identiques, il n'y a pas de différence entre un système de sécurité et un système de contrôle commande. La norme CEI 61508 [4] et CEI 61511 [2] peuvent donc être utilisées pour développer n'importe quel système E/E/EP comportant des fonctions critiques, telles que la protection des équipements, des biens ou de la productivité.

## I.4. CONCEPT DES SYSTÈMES INSTRUMENTÉ DE SÉCURITÉ

### I.4.1. DÉFINITION

Les SIS sont une composante essentielle des dispositifs de prévention des installations industrielles. La définition des fonctions de sécurité, la conception, la maintenance, et la modification des systèmes doivent assurer la disponibilité et la fiabilité de la fonction de sécurité en toute circonstance. Les meilleures pratiques disponibles dans le management des SIS ont été décrites dans la norme IEC 61511 [2] pour les industries de procédé.

La norme IEC 61511 définit les systèmes instrumentés de sécurité de la façon suivante : *système instrumenté utilisé pour mettre en œuvre une ou plusieurs fonctions instrumentées de sécurité (SIF). Un SIS se compose de n'importe quelle combinaison de capteur(s), d'unités logique(s) et d'élément (s) terminal (aux).*

A noter qu'un système instrumenté de sécurité est aussi appelé une chaîne ou boucle instrumentée de sécurité.

### I.4.2. CONSTITUTION D'UN SYSTÈME INSTRUMENTÉ DE SÉCURITÉ

Un SIS est un système visant à mettre le procédé en un état stable lorsque le procédé s'engage dans une voie comportant un risque réel (explosion, feu, ...), [15]. Un SIS se compose de trois couches comme le montre la figure I.3 ci-dessous :

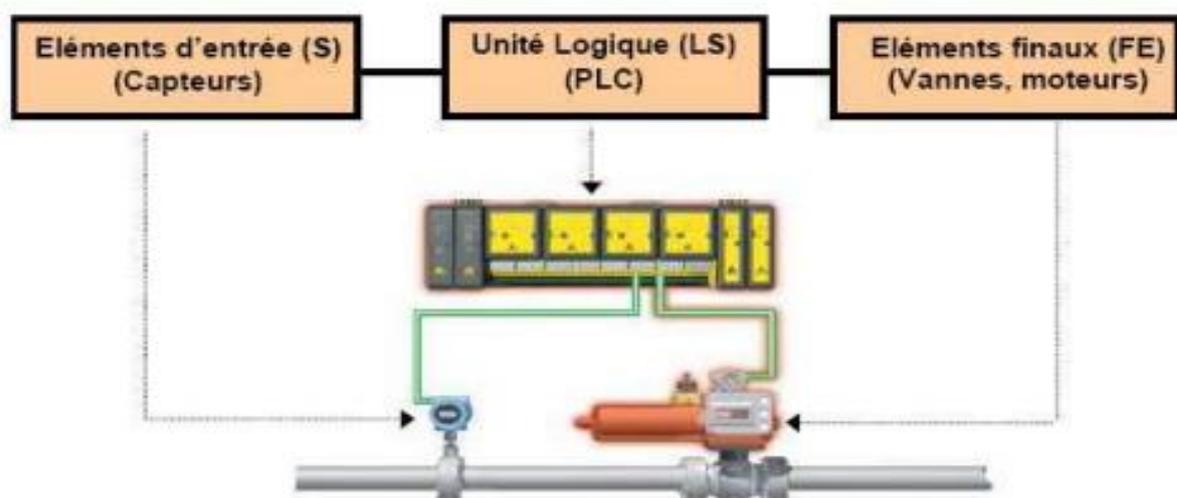


Figure I.3 : structure d'un SIS [2]

- Une partie capteur (Sensor) : elle est constituée d'un ensemble d'éléments d'entrée (capteurs, détecteurs) qui surveillent l'évolution des paramètres physicochimiques représentatifs du comportement du procédé (température, pression, niveau . . .) ;

- Une partie unité logique LS (Logic Solver) : ce sous-ensemble d'éléments logiques réalise le processus de prise de décision qui s'achève par l'activation du troisième sous-système FE (Final Élément) [15]. Le sous-système LS peut être un automate programmable ou un micro-ordinateur doté de logiciels spécifiques ;

- Une partie actionneur FE : Elle agit directement (ex : vannes d'arrêt d'urgence) ou indirectement (ex : vannes solénoïdes) sur le procédé pour neutraliser sa dérive en mettant, en général, le système à l'arrêt (état sûr) au terme d'un délai qui doit être spécifique pour chaque fonction de sécurité [15].

Un des principaux objectifs de la norme IEC 61508 [4] est d'assurer la sécurité d'une installation lorsqu'elle s'engage dans une voie comportant un risque réel pour les personnes et l'environnement. Autrement dit, une analyse de risque correcte du comportement du SIS permet d'étudier son aptitude à répondre à une demande sécuritaire [15], [17].

### **I.4.3. CYCLE DE VIE DE SÉCURITÉ D'UN SYSTÈME**

Afin de concevoir et exploiter un système instrumenté de sécurité, il est nécessaire que l'entreprise s'appuie sur une structure organisée, compétente, informée de la stratégie en termes de sécurité et disposant d'une planification des opérations de sécurité fonctionnelle documentée. Ceci implique que les fournisseurs doivent disposer d'un système de gestion de la qualité. L'équipe en charge de l'évaluation de la sécurité fonctionnelle s'appuiera sur l'analyse du cycle de vie de sécurité du système. Une forme typique de cycle de vie de sécurité est donnée dans la figure I.4 ci-dessous :

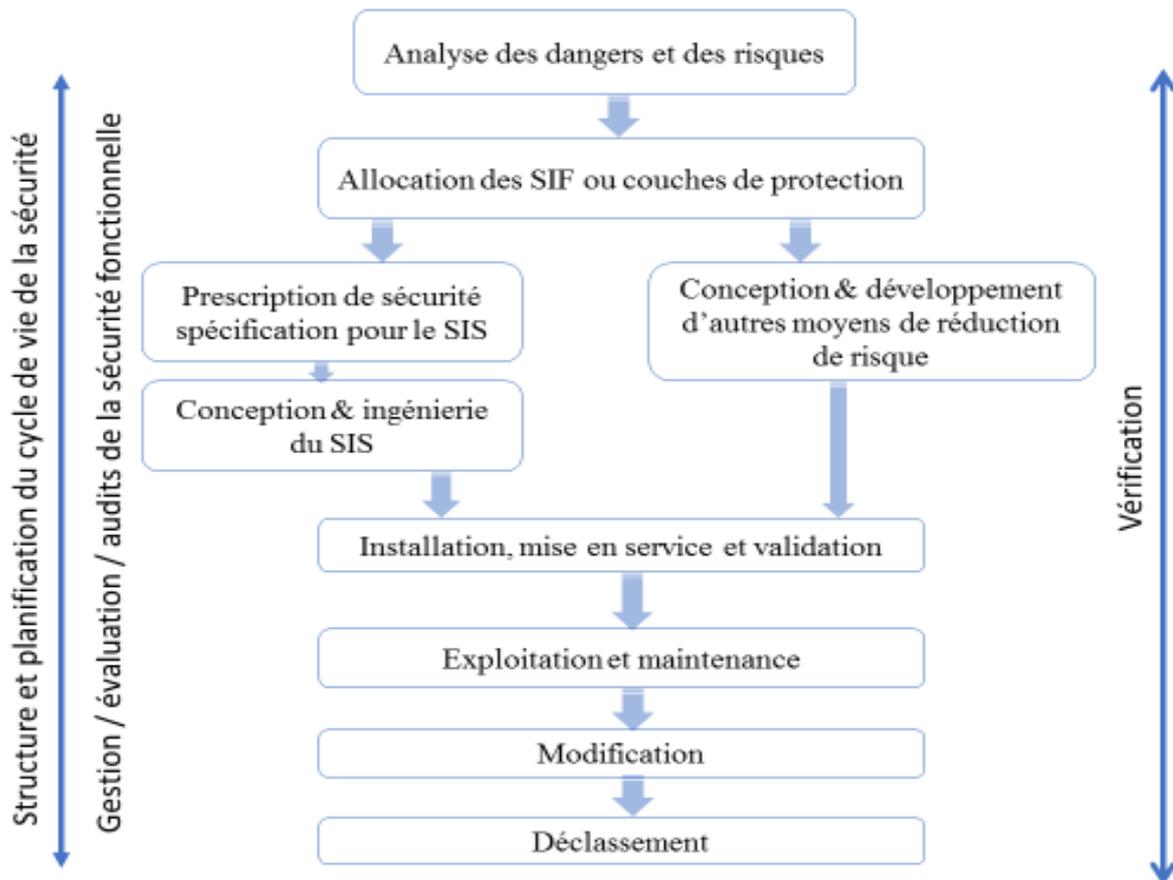


Figure I.4 : Cycle de vie de sécurité d'un système

#### I.4.4. FONCTION INSTRUMENTÉE DE SÉCURITÉ

Les principales étapes de la norme IEC 61508 [4] et ses normes filles sont déclinées dans ce qu'on appelle le cycle de vie, c'est-à-dire que ces normes traitent depuis l'analyse des risques jusqu'à l'exploitation des fonctions de sécurité instrumentées SIF (Safety Instrumented Functions).

Une SIF est définie pour obtenir un facteur de réduction du risque mise en œuvre pour un SIS. Lorsque le SIS est considéré comme un système réalisant une barrière de protection fonctionnelle, cette barrière est considérée comme une fonction de sécurité [16].

Un SIS contient généralement plus qu'une SIF. Si les exigences d'intégrité de la sécurité pour ces SIF diffèrent, alors les exigences applicables au niveau d'intégrité de la sécurité le plus élevé s'appliquent au SIS. Pour une situation donnée, plusieurs fonctions de sécurité peuvent conduire à la réduction de la fréquence d'occurrence du danger.

L'architecture fonctionnelle d'un SIS est un ensemble de SIF qui comprend trois fonctionnalités de base, la détection, le traitement (ou la décision) et l'actionnement.

## I.5. RÉFÉRENTIELS NORMATIFS

### I.5.1. INTRODUCTION

La sécurité fonctionnelle a depuis longtemps retenu l'attention des industriels. Pour mener à bien leur démarche sécurité, ils peuvent s'appuyer sur des normes. La norme internationale de sécurité IEC 61508 [4] est une des dernières normes dédiées à la sécurité fonctionnelle. Elle est devenue une norme française en 1999. Les normes filles que cette norme de base a générées, sont plus récentes et restent encore assez peu connues des acteurs de la sécurité dans certains secteurs industriels mondiales. La norme ANSI/ISA S84.01 [18] s'identifie à la norme dérivée IEC 61511 [2] applicable au secteur de l'industrie des procédés. Cet ensemble normatif s'impose comme la référence pour le développement, la mise en œuvre et l'exploitation des systèmes relatifs aux applications de sécurité.

Ces normes de sécurité fonctionnelle introduisent une approche probabiliste qui vient compléter l'approche déterministe classique. Elles préconisent l'utilisation de certaines méthodes (équations simplifiées, arbres de défaillance, approches markoviennes et LOPA) sans pour autant les rendre obligatoire.

### I.5.2. NORME CEI 61508

#### I.5.2.1. DOMAINE D'APPLICATION

La norme IEC 61508 [4] est une norme internationale qui porte plus particulièrement sur les systèmes E/E/EP, 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/EP, 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/EP. 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/EP : industries manufacturières, industries des process continus, pharmaceutiques, nucléaires, ferroviaires, etc.

#### I.5.2.2. STRUCTURE GÉNÉRALE DE LA NORME CEI 61508

Cette norme comprend 7 parties (**Voir annexe 01**), afin de couvrir les multiples aspects des systèmes E/E/EP :

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

**I.5.2.3. OBJECTIFS DE LA NORME**

La norme CEI 61508 [4] a pour but de :

- Fournir le potentiel des technologies E/E/EP 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.

**I.5.3. NORME CEI 61511**

La norme CEI61508 [4] 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 (figure I.5). Ces principales normes sont :

- CEI 61511 [2] : Cette norme concerne les process industriels. Dans les sections suivantes, nous détaillerons les principes de cette norme.

- CEI 62061 : la norme IEC 62061 est une norme spécifique au secteur des machines dans le cadre de l'IEC 61508 [4]. Elle est destinée à faciliter la spécification du fonctionnement des systèmes de commande électriques 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 uniquement les aspects du cycle de vie de sécurité relatifs à l'allocation des exigences de sécurité jusqu'à la validation de la sécurité.

- CEI 61513 [24] : la norme IEC 61513 [24] 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.

- La norme EN 50126/8/9 : ces trois normes concernent les applications ferroviaires.

- La norme EN 50126 [25] est destinée à la spécification et la démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité ;
- La norme EN 50128 [26] concerne les logiciels pour systèmes de contrôle/commande et de protection ferroviaire ;
- La norme EN 50129 [27] est destinée aux systèmes électroniques de sécurité pour la signalisation.

- La norme ISO 26262 est une norme internationale pour la sécurité fonctionnelle des véhicules routiers. Elle est une adaptation de la norme de sécurité fonctionnelle IEC 61508 pour les systèmes électriques/électroniques dans l'automotive. ISO 26262 offre un cycle de vie de sécurité et décrit des activités nécessaires lors de ses différentes phases. Elle fournit une approche spécifique axée sur les risques pour déterminer les classes de risque (Automotive Safety Integrity Levels, ASIL) et les utilise pour spécifier les exigences de sécurité nécessaires à la réalisation d'un risque résiduel acceptable [23].

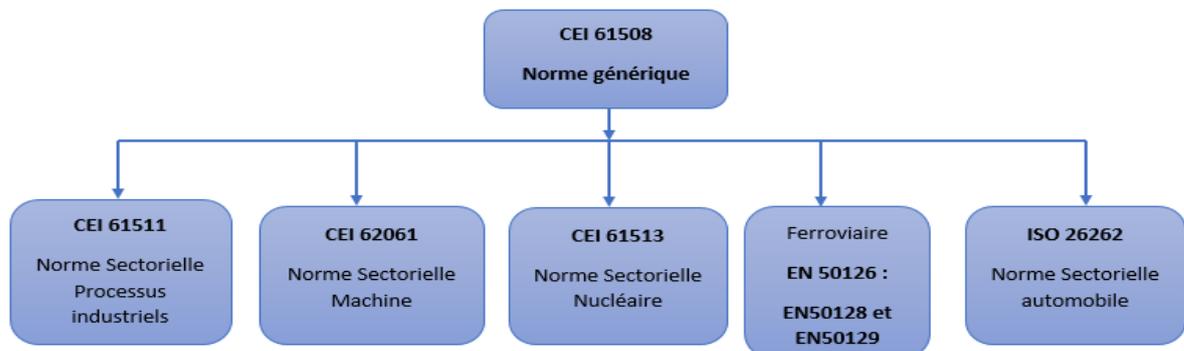


Figure I.5 : Les normes sectorielles de l'IEC 6150

Dans ces normes sectorielles, une distinction est faite entre l'application du système E/E/EP de sécurité (qui dépend du secteur) et les spécifications détaillées de conception (qui sont indépendantes du secteur). Les spécifications indépendantes du secteur font référence à des parties et paragraphes de l'IEC 61508 et évitent les répétitions (cf. fig. I.6 et fig. I.7). Les utilisateurs qui veulent mettre en œuvre une norme sectorielle ont donc besoin de l'CEI 61508.



Figure I.6 : Utilisateurs de l'IEC 61511 et l'IEC 61508

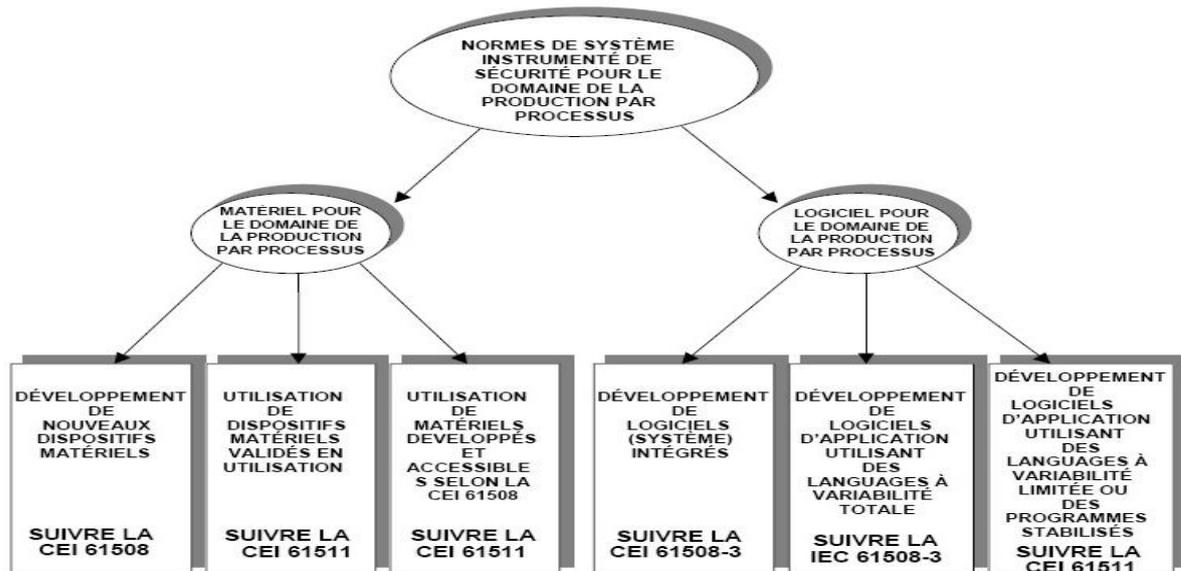


Figure I.7 : Relations entre l'IEC 61511 et l'IEC 61508

### I.5.3.1. DOMAINE D'APPLICATION

La norme IEC 61511 concerne les SIS qui sont basés sur l'utilisation d'une technologie E/E/EP. 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 la norme CEI 61508. Nous pouvons ainsi conclure que l'IEC 61511 est destinée aux intégrateurs et aux utilisateurs, alors que la norme CEI 61508 est une norme générique difficile à mettre en œuvre et donc destinée surtout aux fabricants et fournisseurs de systèmes E/E/EP.

### I.5.3.2. STRUCTURE GÉNÉRALE DE LA NORME

La norme CEI 61511 [2] comprend les parties suivantes (**Voir annexe 02**) :

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

### I.5.3.3. 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.

## **I.6. EVALUATION DU NIVEAU D'INTEGRITÉ DE SÉCURITÉ « SIL »**

Le niveau SIL est une caractéristique intrinsèque du système. Il est fixé par l'exploitant suite à une analyse de risque qui permettra de déterminer quelles barrières de sécurité doivent être mises en place, avec quel niveau de confiance. Ainsi, le niveau de SIL est une cible à laquelle l'équipement devra satisfaire, de manière durable.

La partie 3 de la norme CEI 61511 et la partie 5 de la norme CEI 61508 décrivent les méthodes de détermination de SIL.

### **I.6.1. 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

#### **I.6.1.1. GRAPHE DE RISQUE [19]**

Le graphe consiste à hiérarchiser les niveaux de sécurité à partir de quatre paramètres liés à la conséquence du risque sur le personnel ou l'environnement (C), à la fréquence d'exposition au risque (F), à la possibilité d'éviter le danger (P) et à la probabilité d'occurrence du danger (W) tels que présenté sur la figure I.8.

La méthode définissant le niveau SIL requis selon un graphe de risques reposant sur l'évaluation qualitative de 4 paramètres :

- C : conséquences de l'événement dangereux ;
- F : taux d'occupation de la zone dangereuse ;
- P : possibilité d'éviter l'événement dangereux ;
- W : taux de sollicitation.

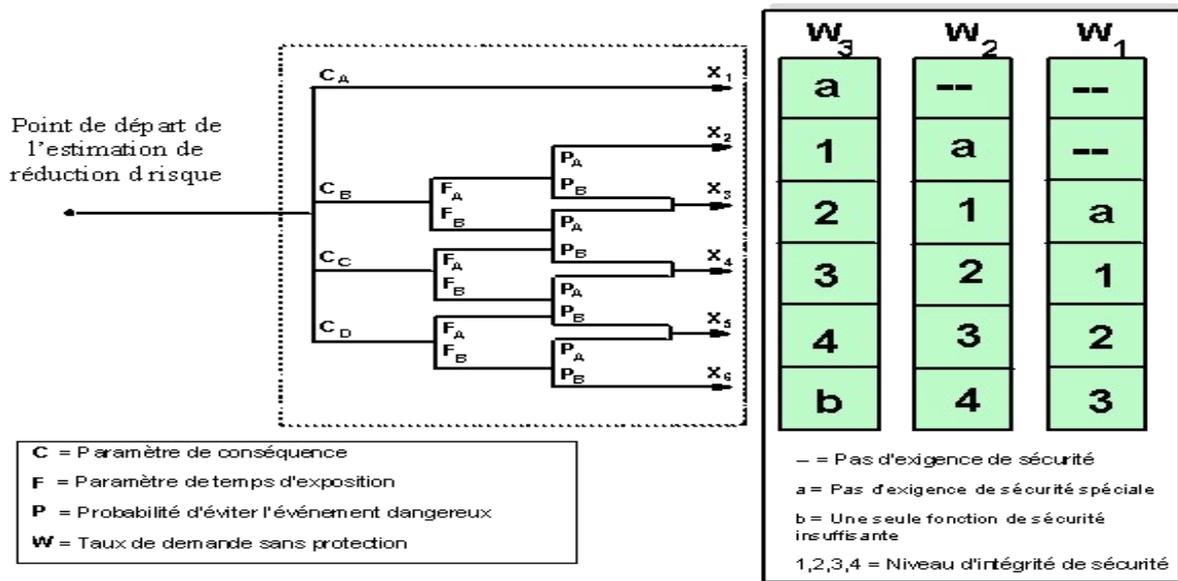


Figure I.8 : Graphe de risque [4]

▪ Paramètre C (Conséquences)

Conséquences attendues en cas de défaillance à la sollicitation. Le niveau SIL de la boucle est le plus contraignant des 3 catégories.

Tableau I.2 : Le paramètre C (conséquence) du graphe de risque

Échelle	Atteintes aux personnes	Perte de production (En équivalent jour de production totale)
C <sub>A</sub>	Blessure légère	Entre 4 heures et un jour d'arrêt
C <sub>B</sub>	Blessure irréversible d'une ou plusieurs personnes	Entre un jour et une semaine d'arrêt
C <sub>C</sub>	Décès d'une ou plusieurs personnes	Entre une semaine et un mois d'arrêt
C <sub>D</sub>	Nombreux décès	Plus d'un mois d'arrêt

▪ Paramètre F (Exposition)

Probabilité que la zone dangereuse soit occupée lorsque l'événement dangereux se produit (fraction de temps pendant laquelle la zone est occupée au moment où l'événement dangereux se produit).

**Tableau I.3 :** Le paramètre *F* (Exposition) du graphe de risque

Échelle	Atteintes aux personnes
F <sub>A</sub>	Exposition rare à fréquente du personnel dans la zone dangereuse (<10% du temps)
F <sub>B</sub>	Exposition fréquente à permanente du personnel dans la zone dangereuse (>10% du temps)

▪ **Paramètre P (Possibilité d'éviter le danger)**

La probabilité que les personnes exposées puissent éviter le danger si la fonction de sécurité est défaillante. Ceci dépend de l'existence de moyens indépendants d'alerte et d'évacuation des personnes.

**Tableau I.4 :** Le paramètre *P* (Possibilité d'éviter le danger) du graphe de risque

Echelle	
P <sub>A</sub>	Possibilité d'éviter le danger sous certaines conditions : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence de moyens pour l'opérateur de détecter la défaillance de la boucle ;</li> <li>- Equipements permettant d'arrêter et d'éviter le danger ou permettant à toutes les personnes de se mettre à l'abri ;</li> <li>- Délai entre avertissement de l'opérateur et apparition d'un événement dangereux &gt;1 heure ou suffisant pour prendre des mesures nécessaires.</li> </ul>
P <sub>B</sub>	Impossibilité d'éviter le danger

▪ **Paramètre W (Taux de sollicitations)**

La fréquence à laquelle la boucle de sécurité est sollicitée.

**Tableau I.5 :** Le paramètre *W* (Taux de sollicitations) du graphe de risque

Échelle	
W1	Moins d'une fois tous les 10 ans
W2	Entre une fois par an et une fois tous les 10 ans
W3	Plus d'une fois par an

▪ Graphes de risques donnant le niveau SIL requis

Atteintes aux personnes SILs :

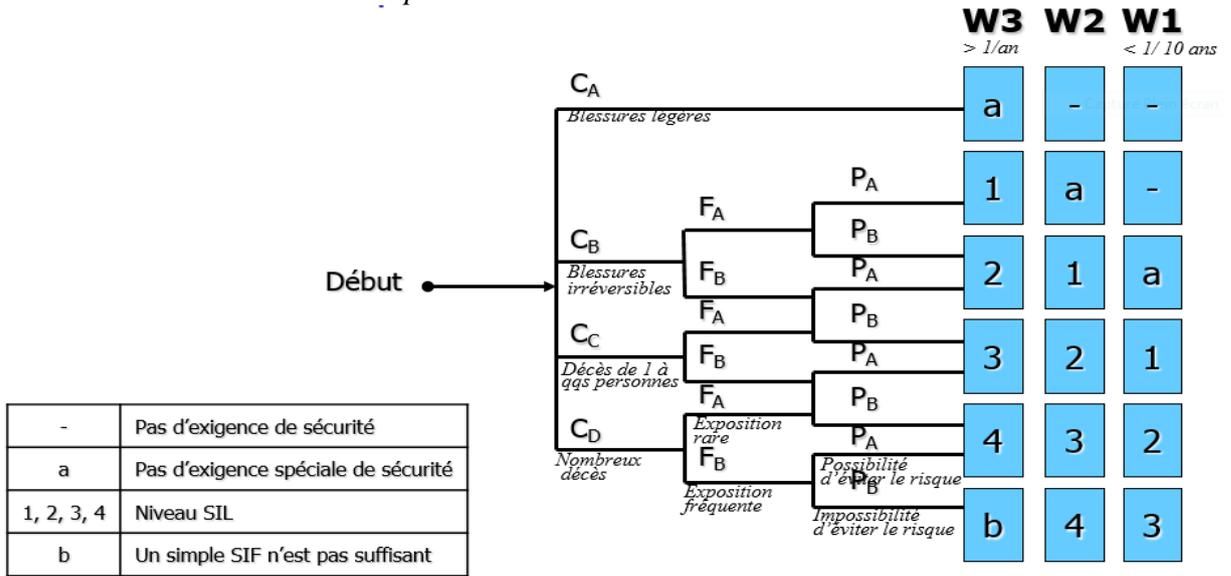


Figure I.9 : Graphe des risques atteints aux personnes donnant le niveau SIL.

Perte de production SILc et dégradation de l'environnement SILe :

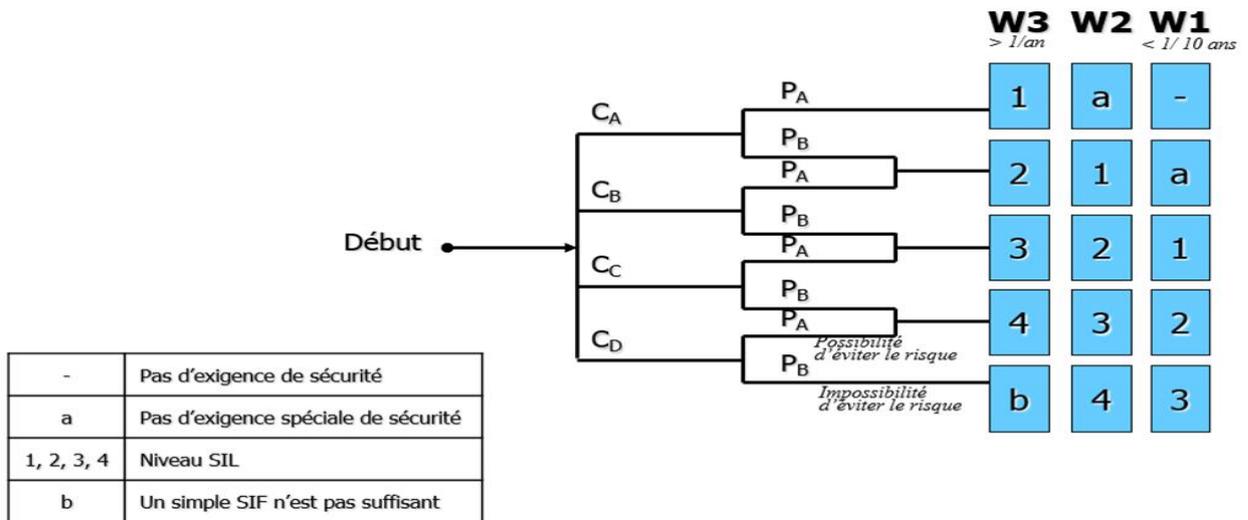


Figure I.10 : Graphe des risques donnant le niveau SIL avec perte de production ou dégradation de l'environnement

La classification repose sur une hiérarchisation en 6 classes d'exigences graduées de "a" à "b" en passant par SIL1 à SIL 4. La catégorie "a" ne correspond alors à "aucune exigence particulière de sécurité" tandis que la catégorie "b" correspond à une situation inacceptable (le système instrumenté est insuffisant).

La phase de calibrage ou d'étalonnage des paramètres du graphe de risque fut nécessaire. Elle a permis de prendre en compte les spécificités de l'entreprise et le retour d'expérience.



barrières de sécurité indépendantes (IPL) à mettre en œuvre dans le but de pouvoir justifier d'un niveau de risque acceptable. La finalité de la méthode est d'estimer le niveau de risque résiduel en considérant l'effet des IPL. Pour ce faire, il est nécessaire :

- D'une part, de calculer la fréquence d'occurrence du scénario d'accident (par an), ce qui nécessite d'évaluer la fréquence d'occurrence des événements initiateurs et les probabilités de défaillances de chaque IPL ;
- D'autre part, d'évaluer la gravité associée à la conséquence en cas de survenue de l'accident.

La méthode LOPA peut aussi être utilisée comme une alternative à une analyse quantifiée en termes de fréquence d'occurrence et de gravité. À ce titre, la figure I.12 présente l'exemple de répartition des méthodes d'analyse de risques proposé par le CCPs.

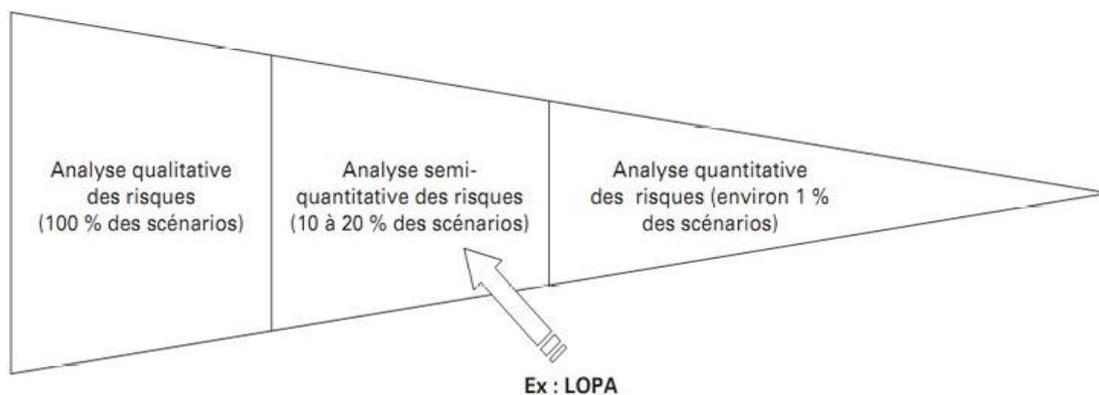


Figure I.12 : Répartition des méthodes d'analyse

### ▪ Déroulement de la méthode LOPA

La méthode a pour vocation d'évaluer la fréquence annuelle résiduelle d'accident. Pour ce faire, il est alors nécessaire de pouvoir quantifier les fréquences d'occurrence des événements initiateurs et les probabilités de défaillances de chaque couche de protection.

Les principales étapes de la méthode LOPA [29] sont les suivantes :

#### 1. Sélection d'un scénario d'accident :

La méthode LOPA traite les scénarios d'accident les uns après les autres. Les scénarios à étudier à l'aide d'une LOPA peuvent être le résultat d'une phase d'analyse préliminaire telle que l'HAZOP.

Les scénarios sont alors ceux qui ont été identifiés par le groupe de travail comme devant faire l'objet d'une analyse complémentaire. Ce besoin peut se justifier soit par la complexité du scénario, soit par son niveau de gravité. En effet, il est possible que le groupe de travail considère que l'analyse de certains scénarios doit faire l'objet d'une analyse plus détaillée en termes de fréquence d'occurrence et de gravité. Un scénario pourra aussi faire l'objet d'une LOPA si une recommandation de mise en place d'une nouvelle barrière de sécurité a été faite en fin d'HAZOP.

**2. Identification de l'ensemble des événements initiateurs pouvant être à l'origine du scénario d'accident :**

Les événements initiateurs sont les événements susceptibles d'être à l'origine de réalisation du scénario d'accident qui mène à la conséquence étudiée. Dans le cas où plusieurs événements initiateurs mènent à la même conséquence, ils doivent être traités de manière indépendante. Lorsque la LOPA fait suite à une HAZOP, les événements initiateurs peuvent être sélectionnés en se référant aux causes identifiées dans l'HAZOP. Sinon, il est aussi possible d'utiliser des listes d'événements initiateurs « types » à étudier. Dans [30] le CCPs précise que le déclenchement intempestif d'une IPL ne doit pas être considéré comme un événement initiateur. En revanche, ce type d'initiateur devra être pris en compte lors de l'analyse des scénarios d'accident pouvant survenir durant les phases de redémarrage (entre autres lors de l'évaluation de la fréquence d'occurrence des phases de redémarrage).

**3. Évaluation de la gravité des conséquences associées au scénario d'accident :**

Cette étape est certainement la moins « bornée » de toute la méthode. Tout d'abord, il est nécessaire de définir la manière dont la gravité des conséquences sera déterminée. Deux approches coexistent :

- Évaluation de la gravité au regard de l'intensité des phénomènes dangereux. Par exemple, pour une perte de confinement, l'évaluation de la gravité pourra se faire en se basant sur le débit de fuite ou bien sur la masse de produit relâchée ;
- Évaluation de la gravité par rapport à une estimation des dommages consécutivement à la réalisation du scénario d'accident. Les dommages peuvent être évalués au regard des conséquences sur les hommes (morts ou blessés), sur l'environnement (pollution) ou encore financières (perte d'exploitation, dommages sur les équipements, etc.).

Dans les deux approches précédentes, l'évaluation de la gravité se fait généralement en se référant à des tables qui ont pour objectif d'orienter les choix du groupe de travail. Dans certains cas, la réalisation de modélisations pour évaluer l'intensité des phénomènes dangereux pourrait être envisagée. En revanche, dans ce cas, l'évaluation de la gravité ne pourrait pas se faire en temps réel et demanderait donc à être revalidée par le groupe de travail.

**4. Identification de l'ensemble des mesures (ou couches de protection) qui permettent de prévenir du déroulement du scénario d'accident :**

Les barrières valorisées dans une LOPA peuvent être de plusieurs types. L'une des particularités de la méthode est d'intégrer les barrières organisationnelles. De même, la conception du procédé et son système de conduite (BPCS) pourront être valorisés comme des barrières. Il est important de rappeler que la LOPA impose :

- Que les barrières soient indépendantes les unes des autres ;
- Que les barrières soient indépendantes de l'événement initiateur (IPL). Ce critère d'indépendance amène à la préconisation suivante :

Lorsque la défaillance du système de conduite BPCS est à l'origine de l'événement initiateur, celui-ci ne peut être valorisé comme barrière (approche recommandée par le CCPs dans [30]).

Lors de la sélection des barrières, il est important de conserver à l'esprit la nécessité :

- De vérifier le bon dimensionnement de la barrière vis-à-vis de l'événement initiateur ;
- De documenter la justification des critères de performances alloués aux barrières car celles-ci pourront être « auditées » ;
- De pouvoir justifier du maintien dans le temps des critères de performance des barrières.

### **5. Évaluation de la fréquence des événements initiateurs :**

L'évaluation de la fréquence d'occurrence des événements initiateurs peut se faire à l'aide de valeurs d'occurrence déduites du retour d'expérience du site, du retour d'expérience d'un secteur d'activité ou encore d'avis d'expert. En l'absence de données spécifiques, des tables récapitulant des ordres de grandeur de fréquences pour des événements initiateurs « types » peuvent être utilisées (généralement, ces tables reprennent des valeurs issues de banques de données reconnues).

### **6. Évaluation des probabilités de défaillances à la sollicitation allouées aux différentes mesures :**

Dans la méthode LOPA, l'évaluation des probabilités de défaillances se fait à l'aide de valeurs « types » proposées dans l'ouvrage du CCPs [30]. L'utilisation de ces valeurs permet d'éviter de recourir à des méthodes de calcul lourdes. En revanche, il est important de conserver à l'esprit que ces valeurs ne constituent que des ordres de grandeur et qu'en fonction du contexte d'utilisation, de la politique de maintenance et de test des barrières, ces valeurs peuvent se révéler minorants ou au contraire majorants. Ce dernier point est aussi vrai pour les barrières organisationnelles ; en fonction du niveau de formation des opérateurs, les valeurs de probabilités d'erreur humaine peuvent être très différentes.

### **7. Évaluation de la fréquence d'occurrence du scénario d'accident en prenant en compte le facteur de réduction lié aux mesures mises en place (fréquence résiduelle) :**

L'évaluation de la fréquence d'occurrence du scénario d'accident se calcule à partir de la connaissance de la fréquence de l'événement initiateur et des probabilités de défaillances des barrières.

### **8. Définition des besoins en termes de barrières supplémentaires :**

La fréquence d'occurrence évaluée à l'étape 7 est comparée à une fréquence cible qui a été définie au début de l'analyse. Pour déterminer cette fréquence cible, un référentiel d'acceptabilité des risques est utilisé. À partir de la connaissance de la gravité des conséquences, il est possible d'en déduire la fréquence d'occurrence maximale admissible pour que le scénario soit en zone de risque acceptable. Ce référentiel d'acceptabilité des risques peut être, soit interne à un groupe, soit imposé par la réglementation en vigueur.

Si la fréquence d'occurrence du scénario est inférieure à la fréquence cible, la criticité du scénario est jugée acceptable et l'analyse s'arrête. Dans le cas contraire, deux solutions :

- Envisager de mettre en place une nouvelle barrière ;
- Envisager de modifier le procédé.

La seconde solution est rarement retenue car si la LOPA est menée dans une phase avancée d'un projet (ou sur une installation existante), la première solution sera toujours préférée. La seconde solution ne semble envisageable que dans les cas suivants :

- La LOPA est menée dans une phase de conception où il est encore possible de modifier les choix de conception ;
- La criticité d'un scénario est inacceptable et aucune barrière supplémentaire ne peut être mise en œuvre.

Lorsque la mise en place d'une nouvelle barrière est proposée, il est alors nécessaire de réévaluer la fréquence d'occurrence du scénario.

Les étapes précédentes ont été récapitulées dans la figure I.13 ci-dessous :

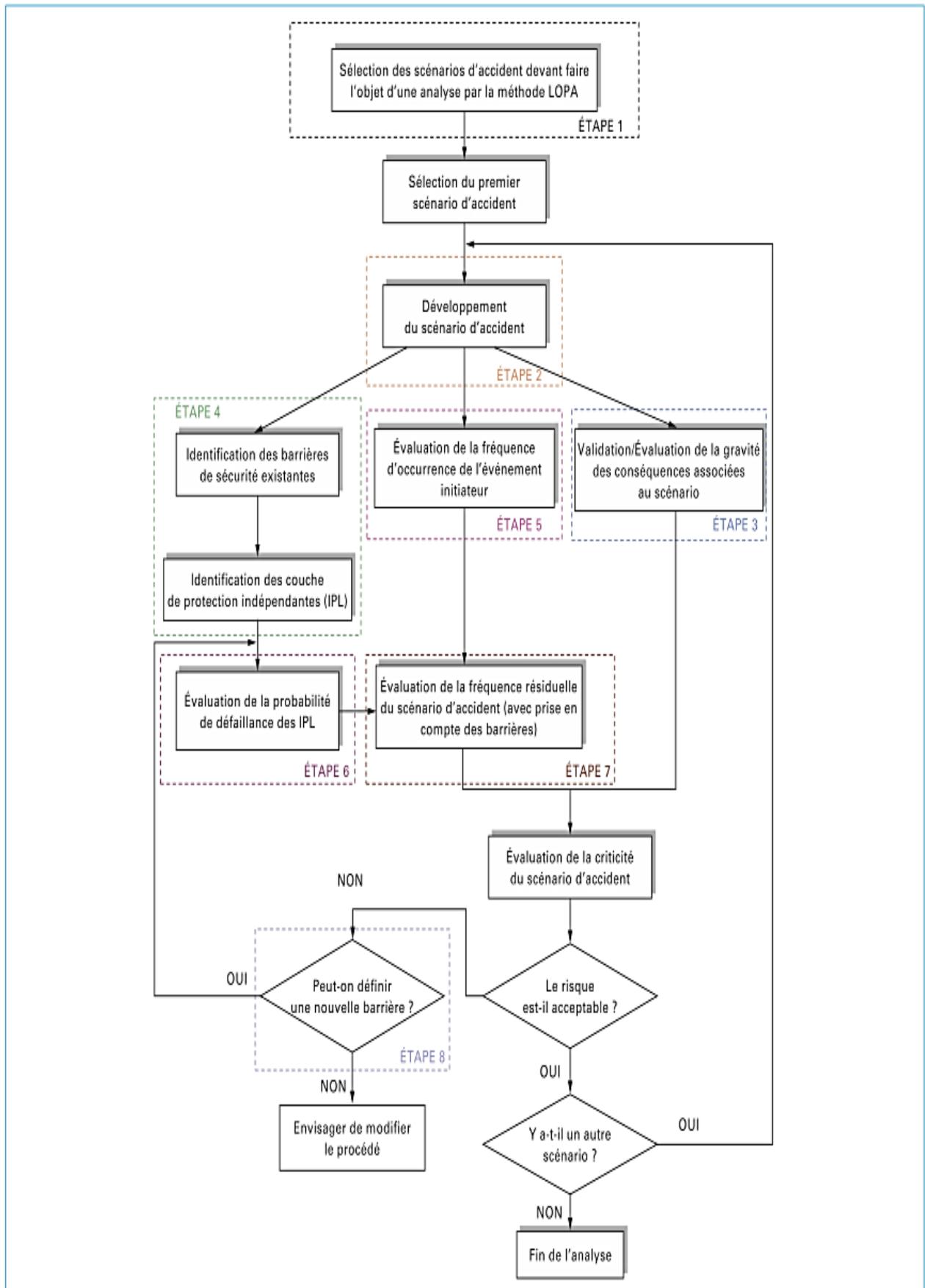


Figure I.13 : Processus général de la méthode LOPA

**▪ Description des différentes couches de protection**

Dans le cadre de la réduction des risques, on est amené à mettre en place différentes barrières prévues, soit pour agir sur la probabilité d'un accident (barrière de prévention), soit sur la gravité (barrière de mitigation et de protection).

Pour cela, la méthode LOPA introduit le concept de « couches de protection », Ce concept repose sur le principe que les moyens mis en œuvre dans le but de réduire les risques sont nombreux et diversifiés. Ces différents moyens sont prévus pour intervenir de manière graduelle dans le temps. En d'autres termes, ces différentes couches vont être « sollicitées » tour à tour avec pour objectif de « stopper » le déroulement du scénario d'accident ou d'en réduire les effets.

Une barrière est dite performante si elle vérifie les trois (03) critères suivants :

***L'efficacité :***

Est l'aptitude de la barrière de sécurité à remplir la fonction de sécurité pour laquelle elle a été choisie, dans son contexte d'utilisation et pendant une durée donnée de fonctionnement ;

***Temps de réponse :***

Correspond à l'intervalle de temps entre le moment où une barrière de sécurité, dans un contexte d'utilisation, est sollicitée et le moment où la fonction de sécurité assurée par cette barrière de sécurité est réalisée dans son intégralité ;

***Probabilité de défaillance :***

On distingue deux types :

- Probabilité de défaillance lors d'une sollicitation (PFD) : Elle correspond à l'indisponibilité du système relatif à la sécurité à un instant donné ;
- Probabilité de défaillance moyenne lors d'une sollicitation (PFDavg) : C'est la valeur moyenne de la PFD sur un intervalle de temps donné.

Ce concept-clé que la méthode LOPA fournit vise à déterminer si suffisamment de niveaux de protection ont été mis en place pour assurer que le niveau de risque est tolérable.

Un IPL est défini comme un système réalisant une fonction de sécurité, de façon active ou de façon passive, et qui doit vérifier les critères suivants :

- Un IPL doit permettre de détecter et prévenir ou atténuer les conséquences d'évènements redoutés spécifiés, comme par exemple une perte de confinement ou un emballement de réaction ;
- Un IPL doit être indépendant de toutes les autres couches de protection associées à l'évènement redouté ;
- Un IPL doit être fiable de façon à réduire le risque d'un niveau spécifié ;
- Un IPL doit être vérifiable de façon à permettre une validation périodique des fonctions de sécurité qu'il assure.

La notion IPL est à rapprocher des MMR (méthode de maîtrise des risques) ; citons quelques exemples d'IPL :

- Les procédures opératoires standards ;
- Le système de conduite du procédé ;
- Les alarmes avec un acquittement de l'opérateur ;
- Les systèmes instrumentés de sécurité ;
- Les soupapes ;
- Les murs anti-explosion ;
- Les détecteurs d'incendie et de gaz ;
- Les sprinklers.

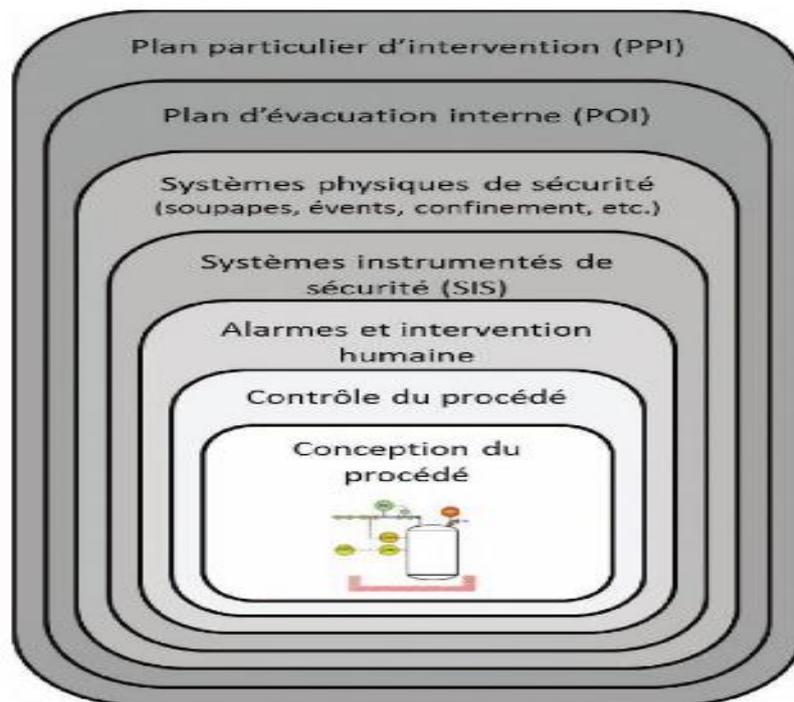


Figure I.14 : les barrières indépendantes de sécurité

▪ *Quantification des événements initiateurs*

Les événements initiateurs peuvent être répartis en trois (03) catégories :

1. Les événements externes (les phénomènes naturels) ;
2. Les défaillances d'équipements ;
3. Les erreurs humaines.

L'évaluation de la fréquence d'occurrence des événements initiateurs est une étape incontournable de la méthode LOPA. Pour évaluer l'occurrence d'un événement initiateur, il est possible de se référer à :

- Des banques de données ;
- Des statistiques issues de l'analyse du retour d'expérience de l'industriel, d'un groupe ou d'un secteur d'activité.

La norme IEC 61511-3 rapporte, à titre d'exemple, quelques valeurs de fréquences d'occurrence susceptibles d'être utilisées dans le cadre d'une LOPA. Ces valeurs présentées dans le tableau I.6 ci-dessous.

**Tableau I.6 : Proposition de fréquences d'occurrence pour des événements initiateurs**

Événement initiateurs :	Intervalle de fréquence issu de la littérature (Par an) :	Exemple de valeur pour application à la LOPA (Par an) :
Perte de confinement d'un réservoir sous pression	$10^{-7}$ à $10^{-5}$	$10^{-6}$
Rupture d'une canalisation de 100 m	$10^{-6}$ à $10^{-5}$	$10^{-5}$
Brèche 10 % DN sur une canalisation de 100 m	$10^{-4}$ à $10^{-3}$	$10^{-3}$
Perte de confinement sur un réservoir à pression atmosphérique	$10^{-5}$ à $10^{-3}$	$10^{-3}$
Fuite sur joint	$10^{-6}$ à $10^{-2}$	$10^{-2}$
Survitesse d'un moteur générant une brèche sur le corps de l'équipement	$10^{-4}$ à $10^{-3}$	$10^{-4}$
Agressions par choc (véhicule, etc.)	$10^{-4}$ à $10^{-2}$	$10^{-4}$
Chute de grue	$10^{-4}$ à $10^{-3}$ par levage	$10^{-4}$ par levage
Impact de foudre	$10^{-4}$ à $10^{-3}$	$10^{-3}$
Ouverture intempestive d'une soupape	$10^{-4}$ à $10^{-2}$	$10^{-2}$
Défaillance d'un système de refroidissement	$10^{-2}$ à 1	$10^{-1}$
Défaillance d'une garniture de pompe	$10^{-2}$ à $10^{-1}$	$10^{-1}$
Rupture d'un flexible de transfert	$10^{-2}$ à 1	$10^{-1}$
Boucle du BPCS	$10^{-2}$ à 1	$10^{-1}$
Incendie de faible envergure	$10^{-2}$ à $10^{-1}$	$10^{-1}$
Incendie de grande envergure	$10^{-3}$ à $10^{-2}$	$10^{-2}$
LOTO procédure	$10^{-4}$ à $10^{-3}$	$10^{-3}$
Erreur humaine pour exécuter une procédure de routine	$10^{-3}$ à $10^{-2}$	$10^{-2}$
Pour un opérateur bien formé, non stressé et non fatigué.		

▪ **Quantification des probabilités de défaillance des barrières**

□ **Barrières actives :**

La méthode LOPA définit deux (02) principaux types de barrières de sécurité pouvant être définies comme des IPL actives. Il s'agit des systèmes suivants :

- BPCS qui inclut détecteur(s), système logique et actionneur(s) ;
- SIF qui inclut détecteurs(s), système logique de sécurité et actionneur(s).

Les probabilités de défaillance associées à ces systèmes sont rappelées dans le tableau I.6. Les valeurs de PFD proposées pour les SIF (caractérisés par un niveau de SIL) sont en accord avec les valeurs rapportées dans la norme IEC 61511. Pour rappel, la probabilité de défaillance d'une SIF permet de déterminer son niveau de SIL (Safety Integrity Level) ou niveau d'intégrité de sécurité.

□ **Barrières passives :**

Le tableau I.3 présente quelques valeurs de probabilité de défaillance de barrières de sécurité pouvant être définies comme des IPL passives. Ces valeurs sont extraites de l'ouvrage LOPA.

Le CCPs recommande d'allouer aux barrières passives une valeur de probabilité de défaillance dans le but d'éviter que les scénarios qui pourraient survenir en cas de défaillance de la barrière ne disparaissent de l'analyse de risques. En d'autres termes, le CCPs rappelle par ce principe qu'une barrière passive n'est pas « infaillible ».

**Tableau I.7 :** Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières passives

IPL :	Intervalle de probabilité de PFD issu de la littérature :	PFD proposée pour la LOPA :
Cuvette de rétention	$10^{-3}$ à $10^{-2}$	$10^{-2}$
Système de drainage	$10^{-3}$ à $10^{-2}$	$10^{-2}$
Évent	$10^{-3}$ à $10^{-2}$	$10^{-2}$
Ignifuge	$10^{-3}$ à $10^{-2}$	$10^{-2}$
Mur résistant à la surpression/bunker	$10^{-3}$ à $10^{-2}$	$10^{-3}$
Arrête flamme	$10^{-3}$ à $10^{-1}$	$10^{-2}$
Soupape de sécurité	$10^{-3}$ à $10^{-1}$	$10^{-2}$
Disque de rupture	$10^{-3}$ à $10^{-1}$	$10^{-2}$

□ **Barrières humaines**

La norme IEC 61511-3 rapporte quelques valeurs de probabilité d'erreur humaine qui sont pour la plupart du même ordre de grandeur, Ces valeurs sont présentées dans le tableau I.8.

Lorsque les barrières sont considérées comme des IPLs, selon le CCPs il est important de comparer la complexité des actions à mettre en œuvre et le temps disponible pour les réaliser (tableau I.9).

**Tableau I.8 :** Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières humaines selon la norme IEC61511-3

Action humaine :	PFD :
Opérateur formé et non stressé	$10^{-2}$ à $10^{-4}$
Opérateur stressé	0.5 à 1
Réponse à une alarme	$10^{-1}$

**Tableau I.9 :** Probabilité de défaillance à la sollicitation pour les barrières humaines selon le CCPs

IPL :	Intervalle de probabilité de PFD issu de la littérature :	PFD proposée pour la LOPA :
Action humaine avec un temps disponible de 10 minutes pour mettre en œuvre l'action	$10^{-1}$ à 1	$10^{-1}$
Action humaine sur alarme transmise par un BPCS avec un temps disponible de 40 minutes pour mettre en œuvre l'action	$10^{-1}$	$10^{-1}$
Action humaine avec un temps disponible de 40 minutes pour mettre en œuvre l'action	$10^{-2}$ à $10^{-1}$	$10^{-1}$

▪ **Évaluation de la fréquence d'occurrence résiduelle du scénario**

L'évaluation de la fréquence d'occurrence résiduelle du scénario d'accident nécessite au préalable :

- D'avoir quantifié les fréquences d'occurrence des différents initiateurs pouvant mener à la conséquence identifiée ;
- D'avoir quantifié les probabilités de défaillance des IPL identifiées vis-à-vis du scénario d'accident.

Dans le cas particulier des scénarios d'accident ayant pour conséquence la mise à l'atmosphère de produit inflammable, il est alors nécessaire de pouvoir évaluer la probabilité d'inflammation. Plus précisément, ce sont généralement deux probabilités qui doivent être définies :

- La probabilité d'inflammation immédiate ;
- La probabilité d'inflammation retardée.

L'évaluation des probabilités d'inflammation immédiate et retardée est peu développée. Le CCPs conseille d'utiliser des arbres de décision « types » lors des revues LOPA pour orienter les choix du groupe de travail.

En fonction des critères retenus pour estimer le niveau de gravité à associer à la conséquence du scénario, d'autres paramètres pourront être inclus dans le calcul de la fréquence résiduelle.

- La probabilité de présence du personnel dans la zone exposée à la conséquence (si l'évaluation de la gravité est faite en fonction du nombre de personnes impactées) ;
- La probabilité de blessure ou de mort en fonction du seuil et de la durée d'exposition à un effet (surpression, toxique ou thermique).

En se référant à la formule donnée par le CCPS, la fréquence d'occurrence du scénario peut s'évaluer comme suit :

$$Fi^c = Fi^I \times \prod_{j=1}^J PFD_{ij}$$

Avec :

$Fi^c$  : est la fréquence pour la conséquence c d'initiation de l'événement i ;

$Fi^I$  : Fréquence de la conséquence associée à l'événement initiateur i à l'origine du scénario d'accident ;

$PFD_{ij}$  : Barrière de sécurité indépendante (IPL) numéro j vis-à-vis du scénario d'accident.

La formule générale pour calculer la fréquence résiduelle dans le cas où il existe un risque d'inflammation, surpression ou des personnes impactées est :

$$Fi^c = Fi^I \times \prod_{j=1}^J PFD_{ij} \times \prod^n P_n$$

Avec :

$P_n$ : est la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux (inflammation, surpression, personnes blessées ou des morts).

### I.6.3. MÉTHODES QUANTITATIVES

Ces méthodes sont les plus rigoureuses et les plus précises. L'estimation quantitative de la fréquence de l'évènement 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 :  $F_t$ )

Les méthodes les plus répandues sont :

- Les équations simplifiées [20] qui donnent le  $PFD_{avg}$  du SIS en fonction de l'architecture des composants (1oo1, 1oo2, etc.) et des paramètres de fiabilité utilisés (taux de défaillance des composants  $\lambda$ , taux de défaillance dangereuses détectées DC et le facteur  $\beta$  qui caractérise les défaillances de cause commune) ;
- Les arbres de défaillance [22] ;
- Les approches markoviennes [21].

### I.6.3.1. PROBABILITÉ DE DÉFAILLANCE DANGEREUSE D'UN SYSTÈME « PFD »

La norme IEC 61508 [4] fixe le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) qui doit être atteint par un SIS qui réalise la Fonction Instrumentée de Sécurité (SIF). Elle donne le SIL en fonction de sa probabilité de défaillance moyenne (PFD<sub>avg</sub>) sur demande pour les SIS faiblement sollicités (moins d'une sollicitation par an) (cf. tableau I.10) ou en fonction de probabilité de défaillance par heure (PFH) pour les SIS fortement sollicités ou agissant en mode continu (cf. tableau I.11). L'allocation du SIL se fait par des méthodes qualitatives et semi quantitatives, alors que l'évaluation du PFD<sub>avg</sub> des SIS qui doivent satisfaire au SIL exigé se fait par des méthodes quantitatives.

**Tableau I.10 :** Niveaux d'intégrité de sécurité (SIL) : Sollicitation faible [4]

SIL	Probabilité moyenne de défaillance à la sollicitation (P F D <sub>avg</sub> )
SIL 1	[10 <sup>-2</sup> , 10 <sup>-1</sup> [
SIL2	[10 <sup>-3</sup> , 10 <sup>-2</sup> [
SIL 3	[10 <sup>-4</sup> , 10 <sup>-3</sup> [
SIL 4	[10 <sup>-5</sup> , 10 <sup>-4</sup> [

**Tableau I.11 :** Niveaux d'intégrité de sécurité (SIL) : Sollicitation élevée ou continue [4]

SIL	Fréquence des défaillances dangereuses par heure (N)
SIL 1	[10 <sup>-6</sup> , 10 <sup>-5</sup> [
SIL2	[10 <sup>-7</sup> , 10 <sup>-6</sup> [
SIL 3	[10 <sup>-8</sup> , 10 <sup>-7</sup> [
SIL 4	[10 <sup>-9</sup> , 10 <sup>-8</sup> [

Lorsque la détermination de la classe SIL se fait par le PFD (La probabilité de défaillance dangereuse du système), les paramètres de la sûreté de fonctionnement jouent un rôle primordial dans le calcul de la probabilité de défaillance dangereuse du système PFD.

#### ▪ *Indice de maintenabilité MTTR*

La maintenabilité s'entend, pour une entité utilisée dans des conditions données, comme la probabilité pour qu'une opération donnée de maintenance puisse être effectuée sur un intervalle de temps donné, lorsque la maintenance est assurée dans des conditions données et avec l'utilisation de procédures et moyens prescrits.

L'indicateur **MTTR** (**M**ean **T**ime **T**o **R**epair) littéralement : temps moyen pour réparer, exprime la moyenne des temps de tâches de réparation. Il est calculé en additionnant les temps actifs de maintenance ainsi que les temps annexes de maintenance, le tout divisé par le nombre d'interventions.

$$MTTR = \frac{\text{Temps d'arrêt total}}{\text{Nombre d'arrêts}} \quad (1)$$

▪ *Indice de fiabilité MTBF*

Le **MTBF** est la mesure du taux de défaillances aléatoires dans un lot de composants, à l'exclusion des pannes systématiques dues par exemple aux défauts de fabrication (« défauts de jeunesse ») et à l'exclusion de l'usure due à l'usage (Wear-out en anglais).

- Le MTBF est une notion statistique sur un lot de fabrication identique ;
- Pour un système réparable, le MTBF est le temps moyen entre la fin de réparation et la panne suivante ;
- Le MTBF désigne le temps moyen entre défaillances consécutives.

$$MTBF = \frac{\text{Somme des Temps de Bon Fonctionnement}}{\text{Nombre de défaillance}} \quad (2)$$

La Somme des Temps de Bon Fonctionnement inclut les temps d'arrêt hors défaillance et les temps de micro arrêts. La MTBF peut s'exprimer en unités plus parlantes pour les opérationnels ; par exemple : nombre de pannes pour 100 heures de production.

$$\text{Ainsi : } MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

Avec  $\lambda_i$  Taux de défaillance des  $i$  constituants ou fonctions élémentaires.

▪ *Taux de défaillance  $\lambda$*

Le taux de défaillance est un terme relatif à la fiabilité des équipements ou composants défini comme l'inverse du MTTF (Mean Time To Failure), le temps moyen jusqu'à la première défaillance. Son symbole est la lettre grecque lambda ( $\lambda$ ). Le taux de défaillance s'exprime en FIT (Temps moyen entre pannes). En anglais, le taux de défaillance est nommé Failure rate.

## I.7. CONCLUSION :

Ce chapitre a souligné la problématique de la gestion de risque dans les installations industrielles. Nous avons d'abord repris les notions clés comme la sécurité, le risque, et le danger et nous avons cherché à faire le lien entre ces différents termes. Ensuite, nous avons étudiés la constitution des SIS ainsi une description des normes utilisées dans la conception des SIS et à la fin, nous avons montrés les méthodes utilisées pour la détermination de la classe SIL qui correspond à chaque SIF.

**CHAPITRE II**  
**CHAMPS D'ÉTUDE « INSTALLATION »**

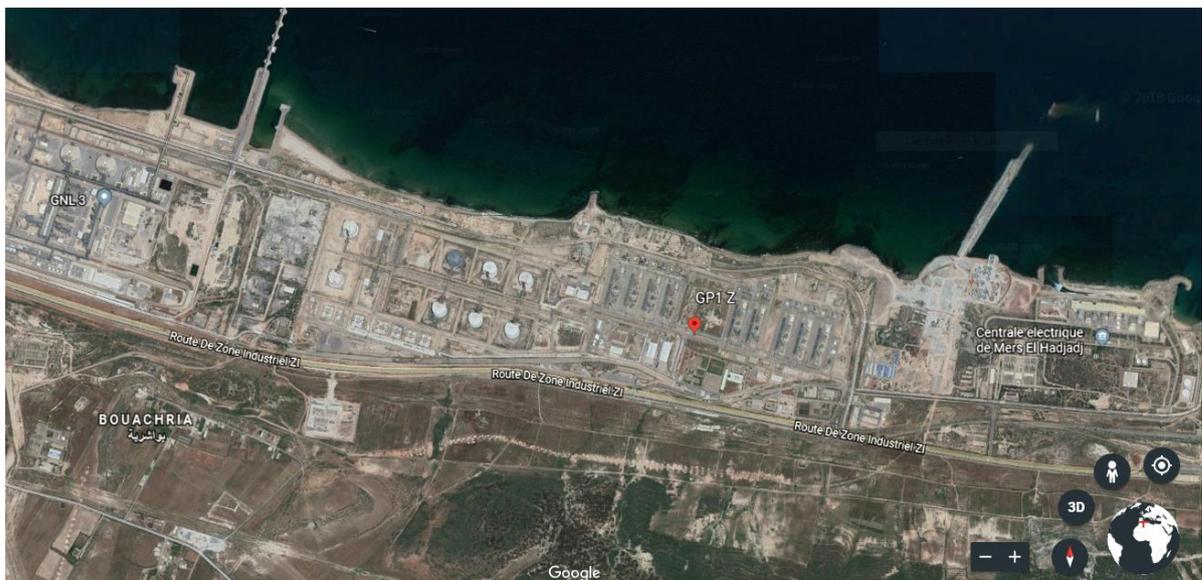
## II.1. PRÉSENTATION DU COMPLEXE GP1/Z

### II.1.1. PRÉAMBULE

Le sud Algérien possède des richesses naturelles, parmi lesquelles nous citons les réserves en hydrocarbures d'où la présence d'une large gamme de produits relatifs aux gisements de pétrole et gaz. Pour la séparation de ces produits et de leurs dérivés, notre pays a investi des sommes colossales dont la nécessité est d'acquérir et installer ces grands complexes de traitement qui sont répartis en plusieurs unités comme c'est le cas du complexe GP1/Z.

### II.1.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE DU COMPLEXE GP1/Z

Le complexe GP1/Z fait partie des six complexes de liquéfaction appartenant à l'activité (AVAL) de l'entreprise nationale SONATRACH. Il est situé sur la côte, à 40km de la ville d'Oran et à 8km de la ville d'Arzew, entre la centrale thermoélectrique de Mers EL Hadjadj à l'Est et les complexes de GNL à l'Ouest et qui s'étend sur une superficie de 120 hectares.



**Figure II.1:** Localisation géographique du complexe GP 1/z sur la zone d'Arzew (Source google earth)

### II.1.3 HISTORIQUE

La région d'Arzew est un pôle structurant composé du complexe industrialo- portuaire d'Arzew- Bethioua. Ce pôle, exportateur de pétrole et de gaz naturel liquéfié, abrite une importante zone industrielle créée à partir des années 1960.

Cette zone industrielle est essentiellement dédiée au transport et à la transformation des hydrocarbures par la SONATRACH et ses filiales.

Le complexe GP1Z dénommé "JUMBO-GPV" est le premier dans le monde pour ces grandes capacités de production 10.8 millions de tonnes par an ; il a pour objectif, le traitement d'une charge GPL venant de plusieurs sources du sud algérien (HASSI-MESSAOUD et HASSI-RMEL) pour la production des produits PROPANE et BUTANE

liquéfiés. Le complexe a été construit avec le concours d'un consortium Japonais IHI-C-ITACHI dans le cadre d'un contrat clé en main, en trois phases de construction.

En 1983, le complexe disposait de quatre trains (phase I) de traitement GPL qui lui permettait de produire 4.8 millions de tonnes par an et suite à une acquisition de deux trains supplémentaires (extension du complexe en 1998) (phase II) cette extension a augmenté la production pour atteindre 7,2 millions de tonnes par an ; et en AVRIL 2010 une dernière extension du complexe avec 03 trains (phase III). L'historique du complexe GP1Z est résumé dans le tableau II.1 suivant :

**Tableau II.1 : L'historique du complexe GP1Z**

Dates :	Évènements :	Commentaires :
11/12/1978	Le contrat de construction passé avec <b>IHI-ITOH JAPON</b>	
11/10/1980	Ouverture du chantier	
10/11/1980	Démarrage des travaux	
12/12/1983	Mise en production de la phase 1	- 4 trains de traitement GPL produisant au total 4.8 Mt/an
31/12/1983	Inauguration officiel	
20/02/1984	Chargement du premier navire de propane réfrigéré	
24/02/1998	Extension phase 2	- 2 trains de traitement GPL supplémentaires permettant de passer à une production totale de 7.2 Mt/an pour (pour 6 trains)
Avril 2010	Extension phase 3	- 3 trains de traitement GPL apportant une capacité de production de 3 Mt/an supplémentaire, permettant de passer à une production totale de 9 Mt/an pour (pour 9 trains).

#### II.1.4. FICHE TECHNIQUE DU COMPLEXE GP1/Z

La fiche technique du complexe GP1Z est résumé dans le tableau II.2 suivants :

Tableau II.2 : Fiche technique du complexe GP1/Z

<b>Raison Sociale :</b>	- Complexe GP1/Z
<b>Superficie :</b>	- 120 hectares.
<b>Effectifs :</b>	- 924 agents.
<b>Objectifs :</b>	- 10.8 Mt/an de GPL.
<b>Produits :</b>	- Propane Commercial, Butane Commercial
<b>Produits utilisés :</b>	- Distillation sous pression.
<b>Nombre de train :</b>	- Neuf (09) trains de 1,2 Mt/an chacun.
<b>Constructeur :</b>	- Consortium japonais IHI (Ishikawa Jima Arima Heavy Industries) et C. ITOH Companies.
<b>Date de démarrage des travaux :</b>	- 10 Novembre 1980
<b>Date de Mise en Production du premier train Phase I :</b>	- 12 Décembre 1983.
<b>Date de Mise en Production du premier train Phase II :</b>	- 24 février 1998.
<b>Date de Mise en Production du premier train Phase III :</b>	- 12 février 2010.
<b>Enlèvements :</b>	- Deux quais de chargement recevant navire des Gaz Pétrolier Liquéfier d'une capacité de 3 000 à 50 000 tonnes de GPL (D1, M6)
<b>Une rampe de chargement par camions :</b>	- Six (06) camions.
<b>Destination de la Production :</b>	- Exportation et Marché national.
<b>Source (l'Approvisionnement) :</b>	- Gaz en provenance des champs gaziers du sud algérien.
<b>Capacité de stockage :</b>	- Vingt-deux (22) Sphères de Stockage de la charge : 22 000 m <sup>3</sup> . - Quatre (04) Bacs de Stockage de propane réfrigéré : 280 000 m <sup>3</sup> - Quatre (04) Bacs de Stockage du butane réfrigéré : 280 000 m <sup>3</sup> - Quatre (04) sphères, une (01) de propane et trois (03) de butane ambiant : 500 m <sup>3</sup> et 1500 m <sup>3</sup> . - Une (01) Sphère de stockage pentane : 500 m <sup>3</sup> .

### II.1.5. DESCRIPTION DES DIFFÉRENTES ZONES DU COMPLEXE GP1/Z

L'usine comprend les principales zones suivantes :

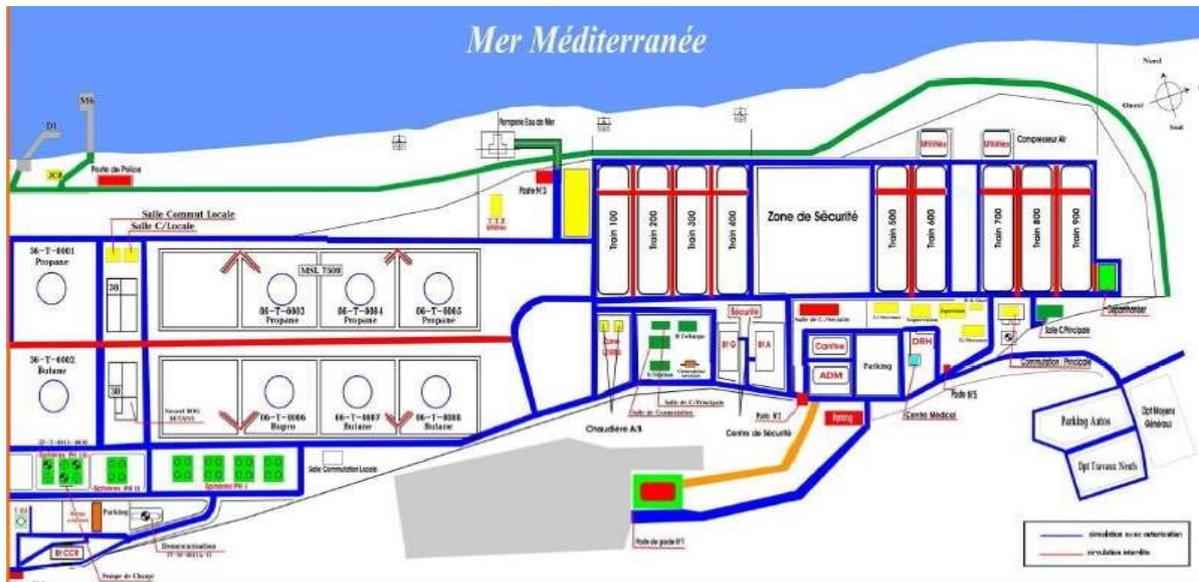


Figure II.2 : Les différentes zones du complexe GP1/Z

#### II.1.5.1. ZONE PROCÈS

Elle comprend Neuf (09) Trains de production dont trois nouvellement installés, chaque train comprend les sections suivantes :

- Une (01) Section de déshydratation ;
- Une (01) Section de séparation ;
- Une (01) Section de réfrigération ;
- Une (01) Section Huile chaude.

#### II.1.5.2. ZONE UTILITÉ

Cette zone sert à fournir les énergies nécessaires pour le fonctionnement de l'usine tel que :

- Production d'eau distillée ;
- Une alimentation en gaz naturel ;
- Production de la vapeur d'eau ;
- Production d'air comprimé ;
- Une alimentation en carburant diesel ;
- Une alimentation en méthanol ;
- Un générateur de secours ;
- Une alimentation en azote.

Et elle comprend :

- Section de stockage de la charge GPL composée de 22 sphères et un système de filtration de la charge brute de GPL ;
- Quatre (04) Chaudières d'une capacité unitaire de 1 Ot/h ;

- Deux (02) dessaleurs de 10t/h chacun ;
- Trois (03) Sections de production d'air comprimé ;
- Six (06) Générateurs assurant l'énergie de secours du complexe ;
- Une (01) section d'azote ;
- Trois (03) sections de distribution de gaz naturel.

### II.1.5.3. ZONE STOCKAGE ET CHARGEMENT

Produits réfrigérés : Le propane et le butane réfrigérés sont stockés respectivement à -42°C et -6°C dans quatre bacs chacun, d'une capacité unitaire de 70 000 m<sup>3</sup>.

Le Chargement de ces produits est assuré par deux quais de chargement pouvant recevoir des GPL d'une capacité de 3 000 à 50 000 tonnes. Chaque quai est doté de Trois (03) bras de chargement :

- Un bras (01) retour vapeur (Boil Off) ;
- Un bras (01) de chargements des produits ;
- Un bras (01) de sauvetage.

Produits ambiants : Le propane et le butane sont stockés à température ambiante dans quatre (04) sphères, d'une capacité unitaire de 500 m<sup>3</sup>. Le pentane est aussi stocké dans une sphère de 500 m<sup>3</sup>.

Le chargement de ces produits est assuré par une rampe de chargement camions qui est dotée de :

**Tableau II.3 :** les bras de la rampe de chargement des produits

<b>Butane :</b>	- (03) bras de chargement - (03) bras retour vapeur (Boil Off)
<b>Propane :</b>	- (02) bras de chargement - (02) bras retour vapeur (Boil Off)
<b>Pentane :</b>	- Bras de chargement. - (01) bras retour vapeur (Boil Off)

Un Pipe Arzew - Sidi Bel abbés -Tlemcen connu sous le nom de AST est entré en service le 14/10/2005 pour alimenter à partir du complexe GP1/Z les trois wilayas en butane ambiant vrac à raison de 125 m<sup>3</sup> par heure.

### II.1.6. POLITIQUE SSE AU SEIN DU COMPLEXE GP1/Z

#### II.1.6.1. VISION DE SONATRACH VIS-A-VIS LA POLITIQUE SSE

En référence à son statut d'Entreprise Nationale et à ses activités de Recherche, Production, Transport et Commercialisation des Hydrocarbures, SONATRACH considère la gestion de la Santé, de la Sécurité et de la protection de l'Environnement, comme une condition pré-requis pour créer de la valeur ajoutée pour toutes ses parties intéressées internes et externes.

De ce fait, SONATRACH mène ses activités de manière à répondre aux exigences de la Santé, de la Sécurité et de l'Environnement et à respecter les préoccupations des

communautés parmi lesquelles elle opère. Le respect des prescriptions légales applicables à la Santé, à la Sécurité et à la protection de l'Environnement, est un minimum en matière de performance. Pour aller au-delà de ce niveau, SONATRACH se tourne vers l'innovation et l'adoption des bonnes pratiques au sein de l'industrie mondiale.

Elle est convaincue qu'une gestion efficace de la santé, la sécurité et l'environnement, produit une valeur économique, assure la productivité des actifs et des personnes et établit de bonnes relations avec les communautés locales et les autres parties intéressées.

Les responsabilités liées à la Santé, à la Sécurité et à l'Environnement incombent à tous les employés. La Direction à son plus haut niveau, assure le leadership et aide à maintenir une culture dans ce domaine à travers tout le groupe [28].

Cette politique est établie par le PD-G de la Sonatrach ; le directeur de chaque complexe Sonatrach s'engage à créer une politique QHSE et à maintenir un environnement de travail prenant en compte toutes les exigences de sécurité liées à ses activités (**voir annexe 03**).

#### **II.1.6.2. PRINCIPES DE LA SONATRACH LIÉS A LA SSE**

Sonatrach s'appuie sur des valeurs fondamentales basées sur la Personne, la Transparence et le Dialogue. Elle s'engage à respecter les principes suivants [28] :

- ***Priorité première :***

La gestion de la Santé de la Sécurité et de l'Environnement constitue un levier prioritaire pour assurer un équilibre entre l'impératif de production et la nécessité de protection des Hommes, de l'Environnement, des Installations et du Patrimoine.

- ***Responsabilité vis-à-vis de la Santé, de la Sécurité et de l'Environnement :***

Chaque employé, quel que soit son niveau hiérarchique et son rôle dans l'Organisation, a le devoir de mener son travail de manière à ne pas présenter de risque pour lui-même, pour les autres et pour l'environnement. Les résultats individuels et collectifs, en matière de Santé, de Sécurité et d'Environnement, sont examinés, évalués et valorisés.

- ***Conformité réglementaire :***

Là où Sonatrach est installée et/ou opère, ses activités doivent être conformes aux lois et règlements en vigueur relatifs à la Santé, à la Sécurité et à la protection de l'Environnement.

- ***Gestion des risques :***

La gestion efficace des risques est fondamentale pour assurer la Santé et la Sécurité des personnes, la protection de l'Environnement et l'intégrité des Installations et du patrimoine. Pour cela, SONATRACH développe et met en œuvre un système d'identification et d'évaluation continue des risques et prend les dispositions nécessaires et appropriées de leur maîtrise et/ou de leur réduction. Les résultats et les performances obtenus sont régulièrement mesurés.

- ***Gestion et acceptabilité sociale des projets :***

La gestion des risques fait partie intégrante des projets de Sonatrach durant les phases de conception, d'approbation, d'approvisionnement, de construction, de mise en service et de démantèlement. De ce fait, aucun projet de Sonatrach n'est lancé avant de s'assurer de sa conformité réglementaire, de réaliser toutes les études de risques requises, d'évaluer les impacts sociaux, économiques et environnementaux et de mettre en place des mesures appropriées pour faire face aux effets négatifs liés à la Santé, à la Sécurité, à l'Environnement et le bien-être des populations environnantes.

- ***Gestion des Partenaires et Entreprises Extérieures :***

Tout en reconnaissant que ses Partenaires, ses Entreprises Extérieures et leurs Sous-Traitants sont essentiels à la réalisation de ses objectifs, Sonatrach attend un excellent niveau de conformité et de performance par rapport à ses exigences en matière de Santé, de Sécurité et d'Environnement.

- ***Gestion des Produits et Services :***

Sonatrach veille à la conformité et à l'amélioration continue des aspects Santé, Sécurité et Environnement liés à ses produits et ses services, depuis leurs origines jusqu'à leurs destinations finales.

- ***Amélioration de la culture Santé, Sécurité et Environnement :***

Convaincue que dans une organisation, la gestion efficace des risques dépend essentiellement du comportement des individus, Sonatrach développe une culture de Santé, de Sécurité et d'Environnement basée sur l'information, la formation, le retour d'expérience, la concertation et la communication interne.

- ***Gestion des urgences et des situations de crise :***

Être bien préparé pour faire face à des urgences et des situations de crise est d'une importance vitale. Au-delà de sa démarche de prévention, Sonatrach élabore et maintient ses propres plans d'urgence et engage les moyens et les ressources adaptés, pour assurer une réponse rapide, efficace et intégrée afin de minimiser les effets néfastes de tout accident ou événement majeur. Ces plans sont périodiquement testés par des exercices de contrôle et remis régulièrement à jour.

- ***Gestion des ressources naturelles et de l'Environnement dans le cadre du Développement Durable :***

Afin de maîtriser sa consommation de ressources naturelles et d'énergie, de réduire au minimum ses émissions de gaz à effet de serre et de gérer sa production de déchets, Sonatrach veille à appliquer les meilleures pratiques de l'industrie tout au long de ses opérations, par la mise en œuvre des mesures adéquates de suppression, de réduction et/ou de compensation de ses impacts négatifs, en étroite concertation avec les autorités et les populations concernées.

- **Gestion des relations avec les parties intéressées externes :**

Engagée dans la mise en œuvre effective d'une communication externe transparente en matière de Santé, de Sécurité et d'Environnement, Sonatrach mène ses activités de façon responsable en consultant toutes ses parties intéressées externes sur des questions d'intérêt mutuel.

- **Allocation des ressources :**

Sonatrach veille à allouer les ressources nécessaires et optimales pour mettre en œuvre sa Politique et atteindre ses objectifs de Santé, de Sécurité et d'Environnement.

## II.2. DESCRIPTION GÉNÉRALE DU PROCÉDÉ

Le GPL venant de l'extérieur est stocké dans 16 réservoirs sphériques dans la section de stockage, ensuite est acheminé vers neuf (09) trains de procédés qui fonctionnent d'une façon parallèle et chaque train passe par les différentes sections suivantes :

### II.2.1. STOCKAGE DE L'ALIMENTATION

L'alimentation se fait à partir des champs gaziers et pétroliers de Hassi R'mel et de Hassi -Messaoud par un Gazoduc 24 " via le terminal RTO situé sur le plateau de Bathioua. L'alimentation de la section de déshydratation est effectuée par huit (08) pompes.

Les 16 sphères sont réparties en quatre (04) groupes comportant chacun quatre (04) sphères et deux (02) pompes d'alimentations. Une fois introduit dans les trains, le GPL doit passer à travers les 04 sections suivantes (identiques pour tous les trains) :

#### II.2.1.1. SECTION DESHYDRATATION

Le but de cette section est de réduire la teneur d'eau dissoute dans le GPL de 100 ppm à 5 ppm, pour éviter le problème de givrage dans les équipements au niveau de la section de réfrigération. Cette dernière comprend trois colonnes d'adsorption (sécheur) à tamis moléculaires, à tout instant on a une colonne en service (en adsorption), l'autre en régénération et la dernière en attente. Le GPL passe dans le sécheur qui est en adsorption du bas vers le haut, l'humidité est extraite lors du passage du GPL à travers les tamis moléculaires. La durée de cette opération est de 36 heures, une fois cette durée dépassée le sécheur passe automatiquement en régénération, cette dernière comprend les séquences suivantes :

- **Drainage** : (durée 1h)

La vidange du sécheur se fait par l'injection du gaz naturel sous une pression de 20 kg/cm<sup>2</sup>. Le GPL restant est acheminé vers les sphères de charge.

- **Dépressurisation** : (durée 30 min)

Afin de préparer la colonne à la séquence de réchauffage, il convient de réduire la pression du sécheur de 20 kg/cm<sup>2</sup> à 3 kg/cm<sup>2</sup> et cela se fait par l'évacuation de GN contenu dans le sécheur vers la section fuel gaz.

- **Réchauffage :**

Le réchauffage se fait par le GN chauffé dans le four à une température de 280°C, il passe dans le sécheur de haut en bas pour évaporer l'eau contenue dans les tamis moléculaires.

- **Refroidissement :** (durée 5/1)

Le sécheur étant chaud après la séquence de réchauffage, il est refroidi par le GN porté à une température de 12 à 45°C, le gaz chaud passe à travers l'aéroréfrigérant et le ballon séparateur puis envoyé vers la section fuel gaz.

- **Pressurisation :** (durée 30 min)

Avant le remplissage de la colonne par le GPL, il faut avoir sa pression de service qui est de 20 kg/cm<sup>2</sup>, cette opération se fait par l'introduction de GN à haute pression pour éviter une détente brusque du GPL.

- **Remplissage :**

Cette opération consiste à mettre le sécheur en attente.

### II.2.1.2. SECTION SÉPARATION

C'est la section qui assure la séparation de GPL en deux produits finis propane et butane, en plus de très faibles quantités d'éthane et de pentane.

Le GPL déshydraté avant de passer au fractionnateur il doit être porté à sa température d'ébullition (71°C), en passant à travers trois préchauffeurs (échangeur de chaleur), le premier est chauffé par le produit de fond du dééthaniseur, le second par les produits de fond du fractionnateur et le dernier par l'huile chaude provenant du four.

Le GPL ainsi préchauffé à 71°C passe directement dans le fractionnateur (c'est une colonne de distillation constituée de 55 plateaux à clapets) où il est séparé en (propane + éthane) en tête de colonne et en (butane + pentane) au fond de la colonne.

Les produits de tête de colonne sont condensés et récupérés au niveau du ballon de reflux.

Les produits de fond de colonne sortent à une température de 110°C, préchauffent la charge GPL et passent vers le déépentaniseur.

- **Dééthaniseur :**

Dans le but de produire du propane commercial plus au moins pur.

Les produits de tête de colonne passent au dééthaniseur, ce dernier est une colonne de fractionnement équipée de 25 plateaux à clapets. L'éthane sort de la tête de colonne, alors que le propane sort du fond de la colonne à une température de 62°C.

IL se dirige directement vers le premier préchauffeur de fractionnateur.

- *Déepentaniseur :*

Il existe un seul déepentaniseur commun pour les 06 trains, son rôle est d'éliminer les traces de pentane contenues dans le butane.

Le déepentaniseur est une colonne constituée de 50 plateaux à clapets.

### **II.2.1.3. SECTION RÉFRIGÉRATION**

Le but de cette section est de refroidir les produits finis à leur température de stockage (-42°C pour le propane et -6°C pour le butane).

Les produits sont réfrigérés par trois (03) échangeurs suivant un cycle fermé formant une boucle de réfrigération au propane (Le fluide utilisé comme réfrigérant est le propane pur).

Le propane est évaporé dans les échangeurs de chaleur, cette évaporation provoque l'abaissement de température du produit à réfrigérer.

Une partie du propane réfrigéré sera comprimée et envoyée au déméthaniseur de la section de séparation comme réfrigérant de tête de colonne. La vapeur de propane générée dans les ballons d'aspiration, les condenseurs de tête des déméthaniseur et les dispositifs de réfrigération du butane, sont comprimés par un compresseur centrifuge à trois (03) étages entraînés par une turbine à gaz dans la phase I du complexe et entraînés par un moteur électrique dans la phase II et III du complexe. Elle est ensuite condensée dans les condenseurs de type aéroréfrigérant. Les produits finis sont ensuite canalisés vers les bacs de stockage.

### **II.2.1.4. SECTION DE L'HUILE CHAUDE**

Cette section est utilisée comme source de chaleur pour le troisième préchauffeur, les rebouilleurs et finalement pour le gaz naturel de régénération utilisé à la section de déshydratation. L'huile sort du four à une température de 180°C.

### **II.2.2. STOCKAGE ET EXPEDITION**

On distingue deux types de stockage :

▪ *Section de stockage à basse température :*

Sont destinés pour le marché international :

Quatre (04) bacs pour le Propane de 70 000 m<sup>3</sup> chacun ;  
Quatre (04) bacs pour le Butane de 70 000 m<sup>3</sup> chacun.

- ***Section de stockage à température ambiante :***

Sont destinés pour le marché national.

Une sphère (01) pour le Propane de 500 m<sup>3</sup> chacune ;  
Trois sphères (03) pour le Butane de 500 m<sup>3</sup> chacune ;  
Une sphère (01) pour le pentane de 500 m<sup>3</sup> chacune.

Le service Stockage et Expédition chapote trois zones :

- ***BOG (Boil- Off- Gaz):***

C'est une zone de récupération qui sert à re liquéfier les gaz d'évaporation provenant des différentes capacités. Les gaz sont récupérés liquéfiés par pressurisation au moyen des compresseurs (5 pour le propane et 3 pour le butane) et refroidis à travers des aéro-réfrigérants et renvoyés à la section de stockage de produits.

La section BOG se compose de deux ensembles indépendants un pour le propane et un pour le butane.

- ***Section jetée (CIV) :***

S'occupe des enlèvements par navire, il y a deux jetées : D1, concernant les petits navires et M6, concernant les grands navires, (on appelle les enlèvements par navire, Post de chargement navire).

**JCR :** Salle de contrôle post de chargement navire, elle permet la supervision de chargement par navire.

- ***Section Chargement par Camion (CC) :***

S'occupe de la gestion des enlèvements par camion au niveau de la rompe de chargement par camion (client NAFTAL et les opérateurs privés).

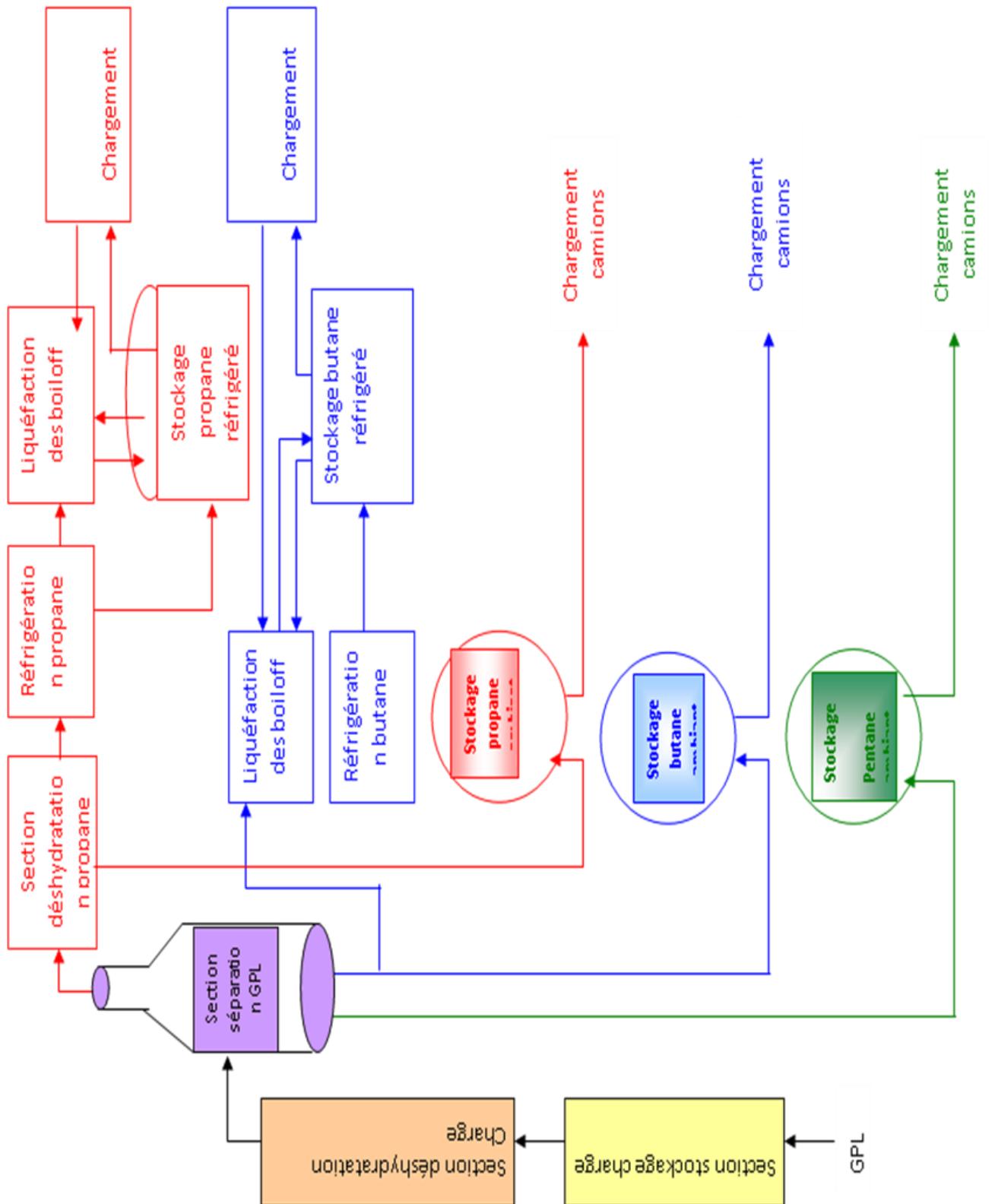


Figure II.3 : Schéma synoptique de principe du procédé de GPIZ.

## **II.3. GÉNÉRALITE SUR LES COMPRESSEURS**

### **II.3.1. PRÉAMBULE**

Dans un complexe de séparation et liquéfaction du GPL, le compresseur de propane est l'élément le plus important dans la section réfrigération et dans tous le train, ainsi que son moteur qui l'entraîne.

### **II.3.2. HISTORIQUE**

L'invention de la pompe à vide par l'Allemand Otto von Guericke permet d'augmenter les pressions. Entre 1770 et 1800, les mécanismes de plus en plus performants sont animés par des moteurs à eau, puis à vapeur, sous l'impulsion d'ingénieurs Anglais comme John Smeaton qui travaillait avec Thomas Newcomen.

Ces engins sont encore uniquement destinés à des usages industriels. En 1857, d'énormes compresseurs sont utilisés pour augmenter la ventilation lors du creusement du tunnel du Mont-Blanc.

De nouveaux dispositifs plus compacts (mouvement axial, transmissions pneumatiques) apparaissent dans l'entre-deux-guerres et sont utilisés pour améliorer l'aération dans les sous-marins. À partir des années 1970, les compresseurs individuels sont produits par de nombreuses entreprises, offrant une panoplie d'usages de plus en plus importante.

### **II.3.3. DÉFINITION [33]**

Les compresseurs sont des appareils qui transforment l'énergie mécanique fournie par une machine motrice en énergie de pression ; (en réalisant un accroissement de pression d'un fluide à l'état gazeux).

### **II.3.4. TYPE DES COMPRESSEURS [33]**

Les compresseurs peuvent être classés selon plusieurs caractéristiques Selon :

- Le principe de fonctionnement (volumétrique, dynamique) ;
- Mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire, rotatif) ;
- Les compresseurs d'air ;
- Les compresseurs des gaz.

On général il existe deux grandes familles de compresseur (figure II.4 ci-dessous), les compresseurs volumétriques et les compresseurs dynamiques, Dans les premiers, l'élévation de pression est obtenue en réduisant un certain volume de gaz par action mécanique, Dans les seconds, on augmente la pression en convertissant de façon continue l'énergie cinétique communiquée au gaz en énergie de pression due à l'écoulement autour des aubages dans la roue.

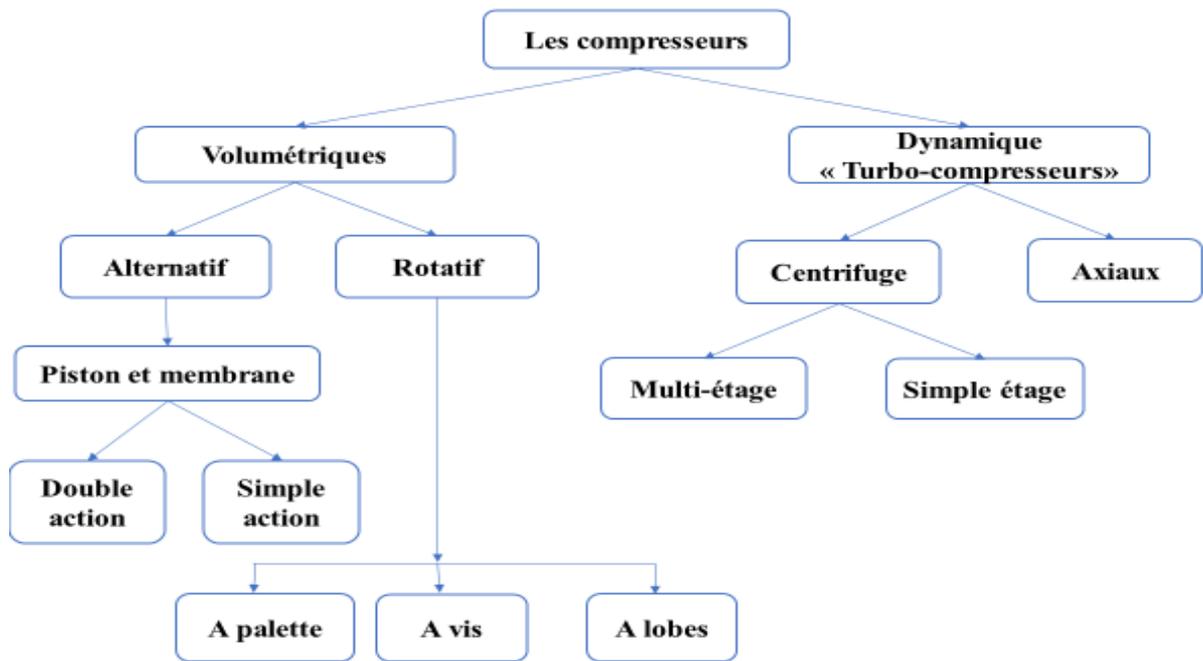


Figure II.4 : Les catégories fondamentales de compresseur [33]

### II.3.4.1. COMPRESSEURS VOLUMÉTRIQUES

On divise cette famille on deux catégories

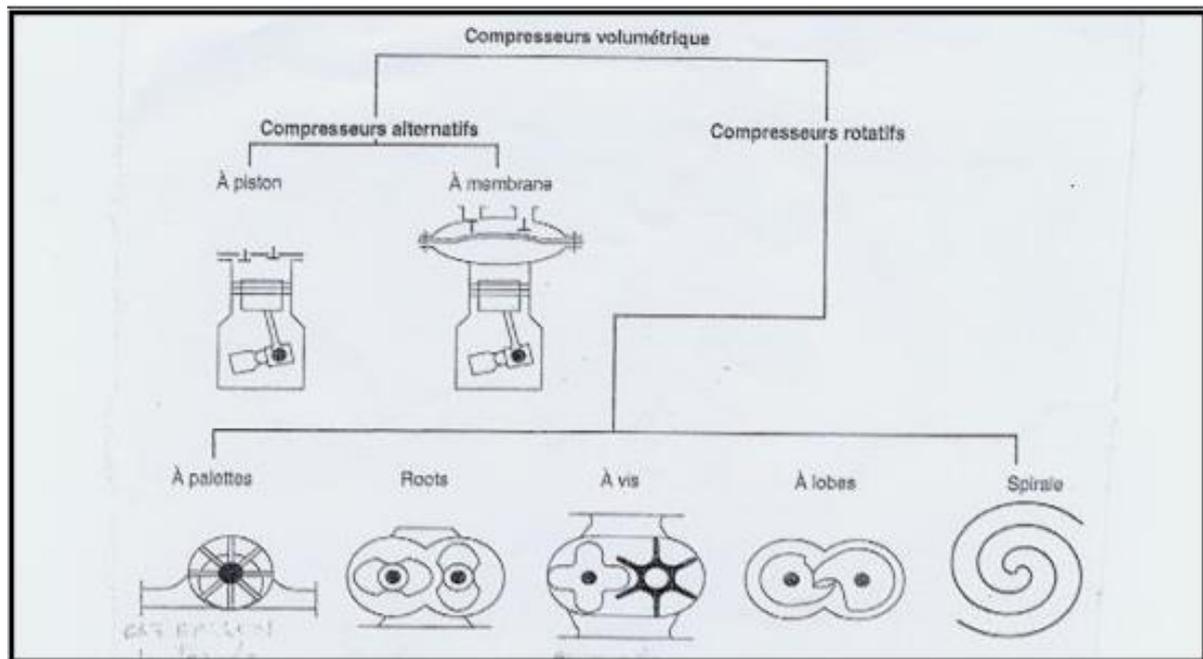


Figure II.5 : Les différents types des compresseurs volumétriques

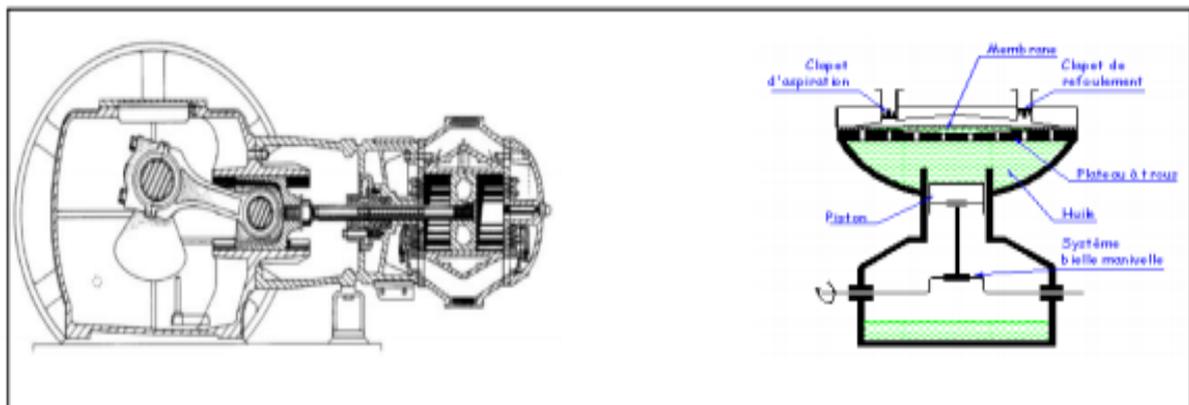
### II.3.4.1.1. COMPRESSEURS ALTERNATIFS

Le gaz est introduit dans un espace limité par des parois métallique (cylindre et piston).

L'espace à disposition du gaz est réduit (le piston avance) et par conséquent la pression augmente, quand la pression est parallèle à celle du circuit de haute pression le gaz est refoulé.

On distingue deux types :

1. Compresseur à piston : (Système bielle manivelle ; Système à barillet) ;
2. Compresseur à membrane.



Compresseur à piston

Compresseur à membrane

Figure II.6 : Compresseurs alternatifs

#### a. Compresseurs à piston

Ces compresseurs réalisent la compression du gaz par réduction du volume qui lui est offert. La variation du volume et le déplacement du gaz est obtenu par le mouvement alternatif d'un piston à l'intérieur d'un cylindre. On classe les compresseurs à piston d'après les différents indices :

- Disposition des cylindres (horizontale, verticale) ;
- Nombres des cylindres (monocylindrique, ...) ;
- Méthode de refroidissement (air, eau) ;
- Méthode de graissage (barbotage, sous pression...).

#### b. Compresseur à membrane

C'est la déformation élastique d'une membrane qui assure l'aspiration et la compression du gaz. Un système hydraulique permet d'assurer la flexion de la membrane : un piston se déplace dans le cylindre et agit sur le fluide hydraulique qui transmettra son mouvement oscillatoire à la membrane.

Le rôle du plateau à trous est d'assurer une bonne répartition du fluide sous la membrane. Celle-ci est souvent constituée de trois disques métalliques : ce système a l'avantage de permettre la détection de la rupture de la membrane par une mesure de prévention.

La membrane assure une étanchéité statique côté gaz procédé. De ce fait, les compresseurs à membrane sont utilisés pour des gaz dangereux, nocifs et corrosifs.

La membrane permet également de réaliser l'étanchéité vis à vis de la partie mécanique.

### II.3.4.1.2. COMPRESSEURS ROTATIFS VOLUMÉTRIQUES

Ces compresseurs tels que les compresseurs à piston compriment les gaz par réduction du volume. Parmi ces appareils :

- Les uns réalisent la compression progressivement dans une capacité fermée de volume, décroissant suivant un cycle semblable à celui qui est obtenue dans les compresseurs à piston ;
- Les autres transportent les gaz d'une enceinte à basse pression à une autre à pression élevée, le cycle est alors tout à fait différent.

Parmi les compresseurs rotatifs on distingue :

- Compresseurs à palettes mobiles ;
- Compresseur à anneau liquide ;
- Compresseur à rotors hélicoïdaux ;
- Compresseur à lobes.

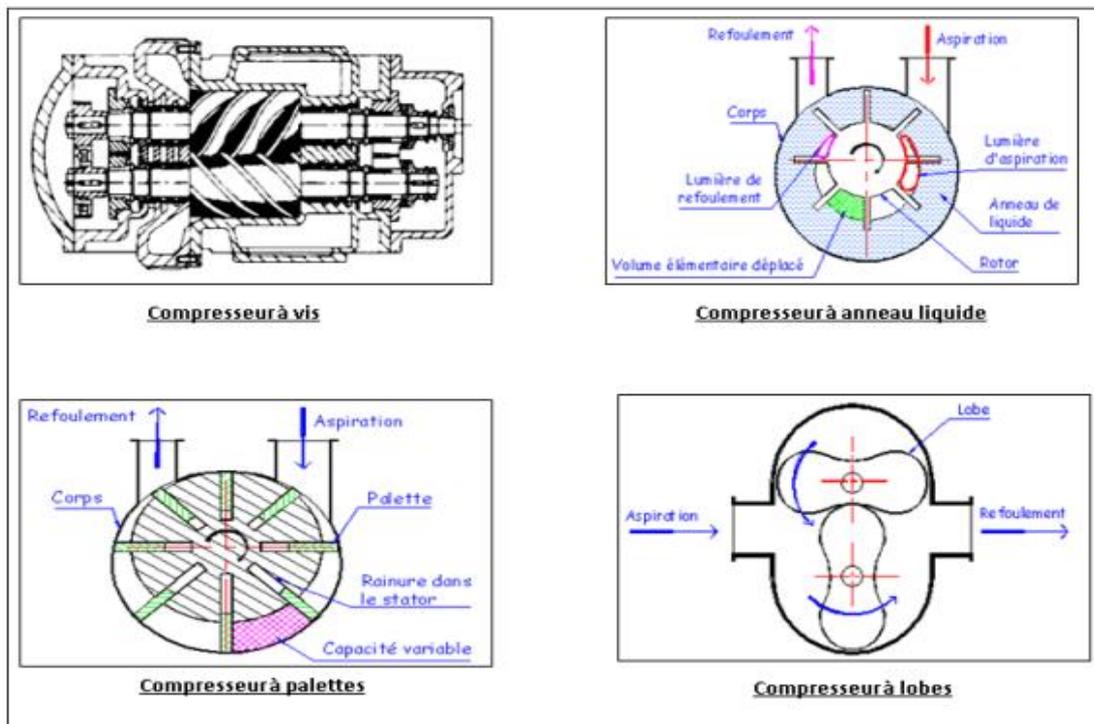


Figure II.7 : Les compresseurs rotatifs

#### a. Compresseur à palet

Il est constitué d'un stator dans lequel tourne un rotor excentré. Ce dernier est muni de rainures dans lesquelles coulisent des palettes qui sont plaquées contre la paroi du stator par la force centrifuge

Sous l'action de la force centrifuge, les palettes sont continuellement appliquées contre le cylindre. Le volume compris entre deux palettes est variable.

Le gaz aspiré par augmentation progressive du volume est ensuite emprisonné entre deux palettes et transporté vers le refoulement. Dans cette zone de refoulement, le volume diminue et le gaz comprimé s'échappe dans la tuyauterie de refoulement.

### ***b. Compresseur à vis***

La partie mobile est composée de deux vis s'engrenant l'une dans l'autre. Ces deux vis tournent en sens contraire. Le passage du gaz s'effectue parallèlement aux axes des deux vis.

La vis femelle comporte toujours un pas de plus que la vis mâle avec un profil différent.

### ***c. Compresseur à lobes***

Ils comprennent deux rotors engrenés qui ont le profil d'un lobe. Ils sont logés dans un corps muni de deux orifices, un pour l'aspiration, l'autre pour le refoulement.

L'engrenage des deux rotors est réalisé à l'aide d'un couple de pignons de synchronisation placé à l'extérieur de la machine.

Le jeu entre les rotors peut varier de 0,1 à 1mm suivant le type de machine.

Les arbres des rotors sont portés par des roulements placés à l'extérieur. L'étanchéité vers l'extérieur est assurée soit par des presses étoupes, soit par des garnitures mécaniques.

L'entraînement des deux rotors se fait en sens inverse l'un de l'autre.

## **II.3.4.2. COMPRESSEURS DYNAMIQUE**

Au point de vue de l'écoulement du fluide, les compresseurs dynamiques se divisent en machines axiaux et centrifuges.

Les compresseurs centrifuges augmentent l'énergie du gaz comprimé grâce à la force centrifuge qui est provoquée par le mouvement de rotation des roues à aube.

L'indice principal de ces compresseurs est la continuité de l'écoulement de l'entrée à la sortie, A l'entrée de la roue se passe la compression du gaz et l'augmentation de l'énergie cinétique. L'énergie cinétique obtenue par le gaz est transformée en énergie potentielle dans les éléments immobiles.

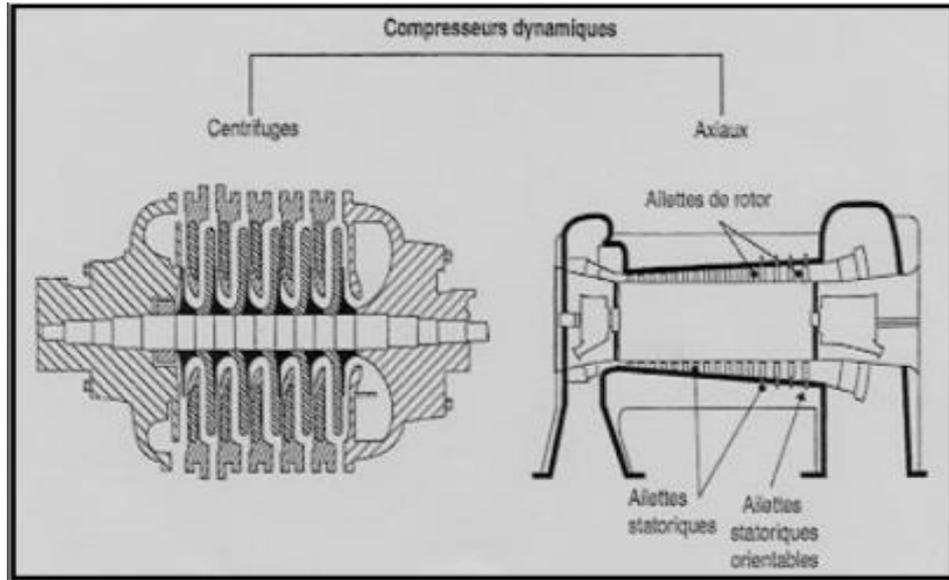


Figure II.8 : Les compresseurs dynamiques

#### II.3.4.2.1. COMPRESSEURS AXIAUX

Les compresseurs axiaux comme les compresseurs centrifuges, sont des turbocompresseurs, l'accroissement de pression résulte d'une action sur la vitesse de fluide.

Le travail fourni par la turbine sous forme d'énergie mécanique transmise à l'aube du compresseur est transformé en énergie cinétique du gaz à comprimer grâce à la rotation des aubes ; celle-ci est à son tour transformée en énergie de pression dans le diffuseur.

Chaque étage est constitué par une rangée d'aubes fixes, et une rangée d'aubes mobiles, disposées en un même cylindre. Les compresseurs axiaux sont utilisés pour les grands débits.

#### II.3.4.2.2. COMPRESSEURS CENTRIFUGES

Le compresseur centrifuge est une turbomachine dans laquelle le gaz s'écoule principalement dans le sens radial. L'énergie nécessaire pour augmenter la pression de gaz est fournie en fluide par les aubes d'une roue centrifuge. Ces aubes divisent la surface latérale de la roue en secteurs servant de canaux d'écoulement, et forment un aubage.

Les roues solidaires à l'arbre fournissent de l'énergie à ce dernier. Une partie de cette énergie est transformée en augmentation de pression directement dans les roues, le reste dans le stator, c'est-à-dire dans les diffuseurs.



**Figure II.9 :** *Compresseur centrifuge*

Bien que la théorie des compresseur centrifuges soit connue avec plus ou moins de raffinement ; depuis fort longtemps ce n'est qu'aux alentours 1945-1950 que leur utilisation industrielle à grande échelle commença. Actuellement le fait est établi que leur production excède celle des compresseurs alternatifs pour les raisons les suivantes :

- La taille des usines chimiques augmente continuellement d'où des volumes de gaz comprimé est de plus en plus importants ; ce qui est à l'avantage des compresseurs centrifuges.
- Il faut généralement plusieurs compresseurs alternatifs pour remplacer un seul compresseur centrifuge.
- La compression se fait à sec sans huile dans le gaz.
- Les pulsations de pressions sont faibles d'où en principe des massifs de fondation moins onéreux.

Bien étendu les compresseurs centrifuges ont aussi quelques inconvénients par rapport à ceux alternatifs, leurs rendements, de l'ordre de 77% suivant les cas :

Leur exploitation demande une main d'œuvre très qualifiée et capable de discerner, dans un but préventif les causes provoquant le changement de la machine en cours d'exploitation :

Par exemple, les causes possibles d'évolution du niveau des vibrations du rotor où les contrôles et la surveillance systématique de ces machines, jouent un grand rôle dans leur fiabilité. Après quoi cela permet de se familiariser avec les compresseurs centrifuges.

Le compresseur centrifuge très utilisé en raffinage et dans les industries chimiques.

### ◆ Principe de fonctionnement d'un compresseur centrifuge

Le gaz est aspiré par le compresseur à travers la bride d'aspiration, il entre dans une chambre annulaire appelé **volute d'aspiration** et converge uniformément vers le centre de toutes les directions radiales (voir la Figure II.10). Dans la chambre annulaire du côté opposée par rapport à la bride d'aspiration, il existe une ailette pour éviter la formation de tourbillons du gaz.

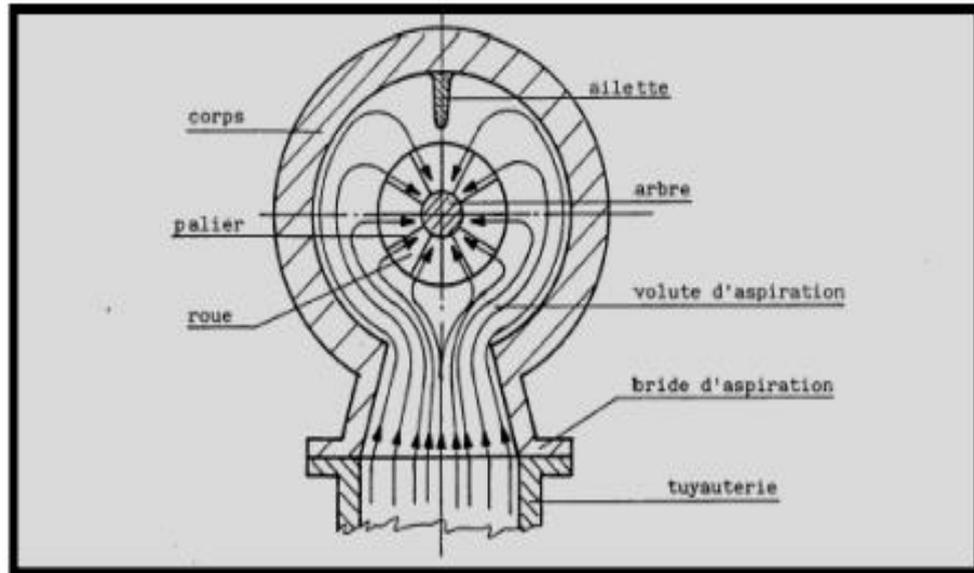


Figure II.10 : Parcours du gaz à l'entrée du compresseur brides d'aspiration

Le gaz entre dans le **diaphragme** d'aspiration et donc aspiré par la première roue

La roue pousse le gaz vers la périphérie en augmentant sa vitesse et sa pression ; la vitesse à la sortie aura une composante radiale et une composante tangentielle. Ensuite, d'un mouvement en spirale, le gaz parcourt une chambre circulaire formée d'un diffuseur où la vitesse diminue avec une augmentation de la pression.

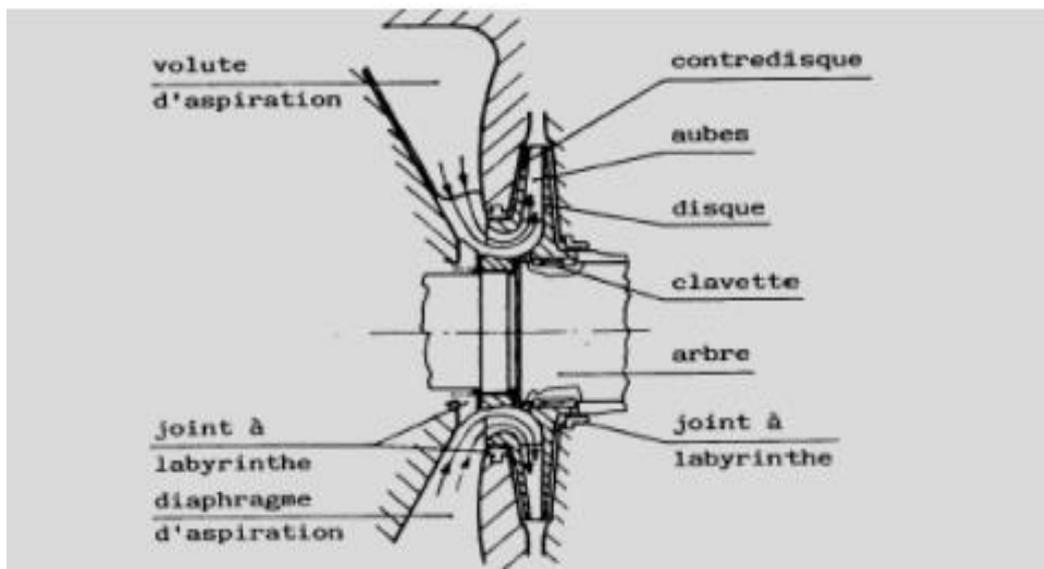


Figure II.11 : Parcours du gaz au niveau de l'impulser

La dernière roue de l'étage envoie le gaz dans un diffuseur qui mène à une chambre annulaire appelée volute de refoulement qui collecte le gaz de la périphérie des diffuseurs et le dirigeant vers la bride de refoulement, près de cette dernière il y a une autre ailette qui empêche le gaz de continuer à retourner dans la volute et qu'il envoie à la bride de refoulement.

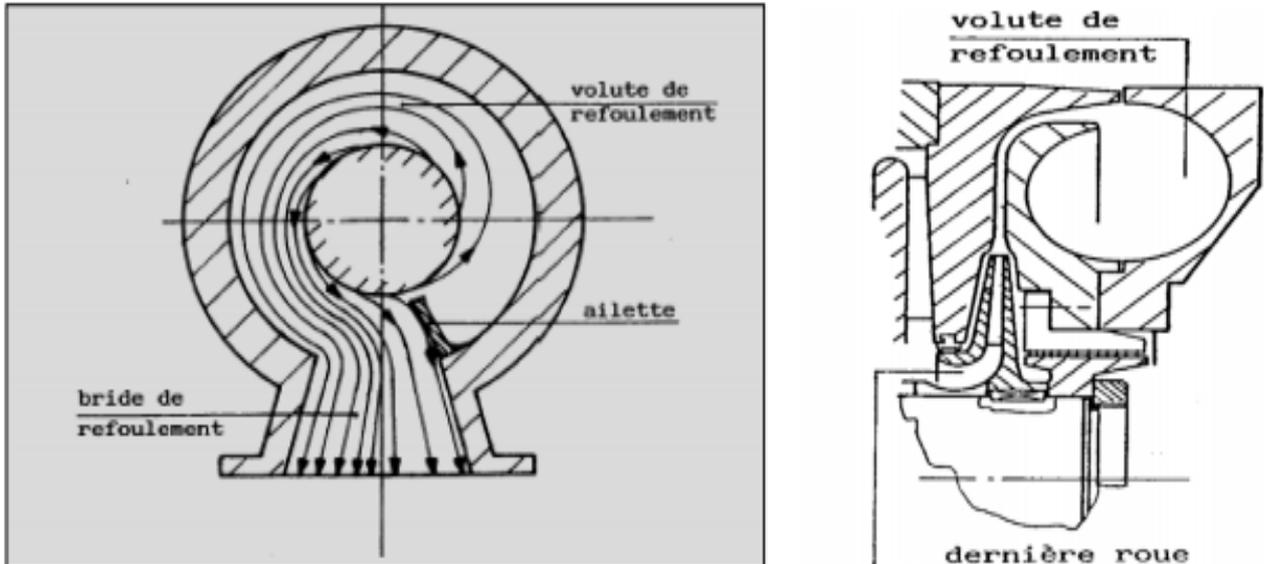


Figure II.12 : volute de refoulement

### II.3.5. COMPRESSEUR DE PROPANE 32-C-7001

C'est l'élément le plus important dans la section réfrigération du complexe GP1/Z ainsi que son moteur électrique qui l'entraîne.

C'est un compresseur centrifuge à joint horizontal de trois étages multicellulaire (c'est-à-dire trois (03) impulseurs BP, deux (02) impulseurs MP et (02) deux autres HP) sont rôle est de récupérer les gaz de propane réfrigérant et de créer la différence de pression entre les trois (03) stades de réfrigération. Sa rotation est assurée par un moteur électrique.

#### II.3.5.1. CARACTERISTIQUE TECHNIQUE

##### a. Identification :

Le compresseur de propane est de type : R S3 45 7

- R : compresseur centrifuge à écoulement radial ;
- S3 : trois étagères latérales ;
- 45 : cote nominale du corps ;
- 7 : nombre de roues.

##### b. Sa conception :

- Il est fondé horizontalement afin de faciliter les interventions de maintenance ;

- Equipement à moyenne pression ;
- Capacité importante de traitement ;
- Fonctionnement en continue sans interruption ;
- Vibrations mécaniques contrôlées ;
- Démontage et remontage faciles ;
- Le gaz comprimé est le propane pur ;
- Appareil d'entraînement : moteur électrique ;
- La puissance absorbée est de 4 250 KW (paramètres de fonctionnement normaux).

**c. Identification des capacités :**

- **BP :** 17 886 kg /h
- **MP :** Alimentation 90 825 kg /h  
Latérale 73 040 kg /h
- **HP :** Alimentation 15 247 kg /h  
Latérale 61 491 kg /h
- **Refoulement :** 152 917 kg /h

**d. Pression d'aspiration :**

- **BP:** 1,05 kg /cm<sup>2</sup>
- **MP:** 3m40 kg /cm<sup>2</sup>
- **HP:** 8 kg /cm<sup>2</sup>
- **Pression de refoulement :** 18,2 kg /cm<sup>2</sup>

**e. Température d'aspiration :**

- **BP :** - 40 °C
- **MP :** Alimentation -3°C  
Latérale -8,6°C
- **HP :** Alimentation 28,5°C  
Latérale 17,2°C
- **Température de refoulement :** 70,5°C

**f. Vitesse :** 8760 rpm

**g. Paramètre de service :**

Les paramètres de service du compresseur de propane 32-C-7001 sont affichés dans le tableau II.4 ci-dessous.

**Tableau II.4 :** Paramètre de service pour le compresseur 32-C-7001

Instrument de mesure :	Valeur :	Instrument de Mesure :	Valeur :
PG -7215 ASP BP	700mm CE	PT 7210 ASP BP	700mm CE
PG 7216ASP MP	1,9 à 2,7kg/cm <sup>2</sup>	PT 7211 ASP MP	1,9 à 2,6kg/cm <sup>2</sup>
PG 7217ASP HP	6,2 à 7,2kg/cm <sup>2</sup>	PT 7212 ASP HP	6,2 à 7,2kg/cm <sup>2</sup>
PG 7218 Refoulement	14 à 17kg/cm <sup>2</sup>	PT 7213 Refoulement	14 à 17kg/cm <sup>2</sup>
TAH 7207 Haut T° Refoulement	100°C	PAL 7210 Alarme	100mm CE
TAHH 7208 Très haut T° Refoulement	130°C	PALL 7209 SD	30mm CE
PAH 7213	20 kg/cm <sup>2</sup>	PAHH 7214 HP Refoulement	27kg/cm <sup>2</sup>
		SV 7208 A/B Refoulement	33kg/cm <sup>2</sup>

### II.3.5.2. ARRET NORMAL

Les arrêts normaux de l'installation sont des opérations prévues, qui interviennent périodiquement pour permettre l'entretien et l'inspection.

Un arrêt normal du compresseur de propane 32-C-7001 interviendra pendant l'arrêt normal de la section réfrigération ou le trains 700. Souvent, l'arrêt interviendra pour d'autres raisons que l'entretien et l'inspection de routine, si bien que la section doit rester prête à redémarrer.

### II.3.5.3. EQUIPEMENTS DE SÉCURITÉ

Les équipements de sécurité sont des dispositifs et des systèmes mises en œuvre dans les installations industrielles qui présentent un risque de grande ampleur pour l'homme, l'environnement et les autres installations voisines ; ces derniers sont conçus afin de protéger les installations en cas d'anomalies et de signaler la présence d'une situation dangereuse.

#### II.3.5.3.1. SOUPAPES DE SÉCURITÉ

Les soupapes de sécurité sont des dispositifs de protection contre la surpression, dans des installations devant supporter de fortes pressions mais qui pourraient être endommagées, voire détruites, si la pression devenait trop élevée.

**Tableau II.5 :** Liste des soupapes de sureté installées au niveau du compresseur 32-C-7001

N° repère :	Service :	Fluide :	Décharge à :	Pression de tarage (MPa eff)
SV-7208A/B	Refoulement de compresseur de propane	Vapeur de propane	Torche HP	2.648

#### II.3.5.3.2. ALARMES INSTRUMENTS

Une alarme d'instrument a pour objectif de détecter et de signaler, le plus tôt possible, tout en évitant au maximum de délivrer des alarmes intempestives, la naissance d'un sinistre,

la défaillance d'une installation ou la perturbation d'un paramètre physicochimique important pouvant causer des problèmes pour le fonctionnement normal du compresseur.

Parmi les alarmes d'instruments existant dans le compresseur de propane 32-C-7001 :

**a. Température :**

**Tableau II.6 :** Liste des alarmes de température installées au niveau du compresseur 32-C-7001

N° de repère :	Service :	Point de consigne :
TAH-7207	Sortie de compresseur de propane	100°C
TAH-7210	Aspiration de compresseur de propane étage HP	22°C
TAH-7211	Aspiration de compresseur de propane étage MP	-4°C
TAH-7212	Aspiration de compresseur de propane étage BP	-35°C
TAHH-7208	Refoulement de compresseur de propane	130°C

**b. Débit :**

**Tableau II.7 :** Liste des alarmes de débit installées au niveau du compresseur 32-C-7001

N° de repère :	Service :	Point de consigne :
FAL-7203	Aspiration de compresseur de propane étage HP	38000 Nm <sup>3</sup> /H
FAL-7204	Aspiration de compresseur de propane étage MP	6825 Nm <sup>3</sup> /H
FAL-7207	Aspiration de compresseur de propane étage BP	60000 Nm <sup>3</sup> /H

**c. Pression :**

**Tableau II.8 :** Liste des alarmes de pression installées au niveau du compresseur 32-C-7001

N° de repère :	Service :	Point de consigne :
PAL-7210	Compresseur de propane étage BP	100 mm CE eff
PAH-7213	Refoulement de compresseur de propane	19.6 MPa eff
PAL-7209	Aspiration de compresseur de propane étage BP	30 mm CE eff
PAHH-7214	Refoulement de compresseur de propane	2.55 MPa eff

#### II.3.5.4. DÉCLANCHEMENTS DE SÉCURITÉ

▪ **Dysfonctionnements entraînant déclenchements de compresseur**

En cas de dysfonctionnements montrés ci-après, les actions protectrices sont automatiquement prises.

- Niveau très haut du liquide dans les ballons d'aspiration de compresseur ;
- Conditions anormales de compresseur :

(1) Pression extrêmement basse à l'aspiration de l'étage BP PSL-7209 30 mm CE eff

(2) Pression extrêmement haute      PSHH-7214      2.65 MPaA  
**au Refoulement**

(3) Température extrêmement haute      TSHH-7208      130°C  
 au refoulement

- Panne d'utilité :

- (1) Panne électrique ;
- (2) Panne d'air instrument ;
- (3) Panne de gaz naturel.

- Position anormale des vannes de sectionnement de compresseur :

**Vanne de sectionnement :**

**Position d'arrêt :**

(1) vanne de refoulement XV-7215

Non ouverte complètement

(2) vanne d'évent de décharge XV-7216

Non fermé complètement

- Panne de compresseur :

- (1) Niveau d'huile d'étanchéité bas ;
- (2) Température de métal de palier haute ;
- (3) Vibration haute et mouvement axial ;
- (4) Pression d'huile de lubrification basse.

- Panne de moteur électrique :

- (1) Température d'enroulement haute ;
- (2) Surcharge ;
- (3) Court-circuit.

▪ ***Dysfonctionnements entraînant arrêt et blocage de compresseur***

- (1) Panne d'huile d'étanchéité ;
- (2) Vanne d'évent de compresseur non fermée complètement.

### II.3.5.5. ARRET D'URGENCE

En plus de l'arrêt normal, qui a été décrit plus haut, il peut être nécessaire de procéder à un arrêt rapide en raison d'une urgence, comme un incendie une panne d'utilité ou une panne mécanique. Ainsi, les arrêts d'urgence sont des immobilisations qui n'ont pas été prévues, mais qui nécessitent un arrêt sûr et rapide de l'unité. Le but essentiel est alors d'assurer la sûreté du personnel et de protéger les équipements des dégradations.

Les cas d'arrêt d'urgences sont les suivants :

- Panne électrique ;
- Panne d'air instrument ;
- Incendie ;

- Panne de gaz Naturel ;
- Déclenchements de sécurité.

**Tableau II.9 :** Liste des arrêts d'urgences du compresseur de propane 32-C-7001

TAG N° :	Détecteur :	Explication :
	TSHH-7214	<b>SD</b> Compresseur « Température extrêmement haute au refoulement »
	PSHH-7214	<b>SD</b> Compresseur « Température extrêmement haute au refoulement »
S308	-	<b>SD</b> Arrêt d'Urgence bouton Pousoir du Compresseur
S340	<b>ST-105/106</b>	<b>SD</b> Signal de vitesse du <b>Compresseur</b> est défectueux.
S344	<b>ST-105/106</b>	<b>SD</b> Limitation Vitesse <b>Haute</b> du Compresseur dépassée.
S369	<b>ZE-1401</b>	<b>SD</b> Vibrations Fortes du Compresseur
S374 /S375	<b>YE-1401A/B</b>	<b>SD</b> Aspiration Compresseur Vibration radiale très forte.
S376	<b>YE-1402A</b>	<b>SD</b> Refoulement Compresseur Vibration rad très forte.
S377	<b>YE-1402B</b>	<b>SD</b> Refoulement Compresseur Vibration rad très forte.

### II.3.5.6. ÉTUDE HAZOP « Hazard and operability studies »

L'analyse des risques a pour objectif d'identifier et évaluer les risques génériques relatifs à l'exploitation du compresseur de propane 32-C-7001 de la section réfrigération du train 700 au niveau du complexe GP1/Z (voir tableau II.10).

La méthode HAZOP (Hazard and operability studies) est particulièrement utile dans l'identification des faiblesses des systèmes nécessitant la circulation de matières, de personnes ou de données, nécessitant un certain nombre d'événements ou d'activités d'une séquence planifiée ou des procédures contrôlant cette séquence. L'étude HAZOP n'est pas seulement un outil précieux pour la conception et le développement de nouveaux systèmes. Elle peut être utilisée avec profit pour l'examen des dangers et des problèmes potentiels liés à différents états de l'exploitation d'un système donné (démarrage, attente, fonctionnement normal, arrêt normal, arrêt d'urgence, etc.). Elle peut également être employée dans le processus et les séquences de fabrication par lot et en régime instable, ainsi que dans les séquences continues.

Le plus souvent, l'étude HAZOP est présentée sous la forme de tableau ou de grille d'analyse des risques.

#### II.3.5.6.1. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE HAZOP

La réalisation d'une étude HAZOP implique les étapes suivantes :

1. Choisir une ligne du procédé ;
2. Choisir un paramètre de fonctionnement dans cette ligne ;
3. Générer une dérive de ce paramètre à l'aide d'une liste de mots-clés ;
4. Vérifier que la dérive est crédible ;
5. Rechercher les causes possibles et les conséquences éventuelles associées à la dérive étudiée ;
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 des améliorations ;
8. Retenir un nouveau mot-clé pour le même paramètre et reprendre l'analyse ;

9. Lorsque tous les mots-clés ont été considérés, retenir un nouveau paramètre et reprendre l'analyse ;

10. Lorsque toutes les phases de fonctionnement ont été envisagées, retenir une nouvelle ligne et reprendre l'analyse.

L'analyse est réalisée à partir de données d'accidentologie, le retour d'expérience de la profession et des usines pétrochimiques du groupe SONATRACH et industrie gazière.

Tableau II.10 : L'étude HAZOP pour le compresseur de propane 3-C-7001

HAZOP : GP1Z  
 Section : réfrigération  
 Description : Compresseur de propane C-7001  
 PID n° : 7235  
 Groupe de travail : SONATRACH  
 Date : 28/09/2009

Déviation		N°	Cause	Conséquence	Barrière	Cotation		Recommandation			Commentaires
Paramètre	Mot-clé					G	P	N°	Description	Resp.	
Débit	Plus de	1	Sur vitesse du compresseur	Risque d'endommagement / projection missile du compresseur Fuite C3	PSHH-7214 ou TSHH-7208 sur le refoulement général entraînant le déclenchement du compresseur SV-7208 A/B		2				
		2	FV-7207 FV-7203 PV-7208 trop ouverte	Risque d'endommagement / projection missile du compresseur Fuite C3		Détecteur de vibrations Détecteur de déplacements axiaux Limiteur de vitesse SOFT SC-101		2			
	Moins de	3	Mauvais échange dans les échangeurs	Pompage du compresseur entraînant des vibrations Dégradation du compresseur	Système anti pompage CCC Détecteur de vibrations Détecteur de déplacements axiaux						
		4	Défaillance XV-7212/7213/7214								
	Pas de	5	Fermeture XV-7212	Pompage du compresseur entraînant des vibrations Dégradation du compresseur	PSLL-7209						
	Inverse	6	Pompage du compresseur	Vibrations Dégradation du compresseur	Clapets anti retour Système anti pompage CCC Détecteur de vibration Détecteur de déplacements axiaux						
	Mauvaise direction	7	Sans objet								
Pression	Plus de (refoulement)	8	Fermeture PV-7221	Détérioration du diffuseur du compresseur	PSHH-7214 ou TSHH-7208 sur le refoulement général entraînant le déclenchement du compresseur						
		9	Fermeture XV-7215								

				Soupape de sécurité SV-7208 A/B Détecteur de vibrations Détecteur de déplacements axiaux Limiteur de vitesse SOFT SC-101 Alarme haute pression PSH-7213							
	Moins de Dépression	10	Idem moins de débit								
		11	Idem pas de débit								
Température	Haute (refoulement)	12	TV-7210/7211/7212 trop fermées	Endommagement du compresseur	TSHH-7208 Déclenchement du compresseur						
	Basse	13	TV-7210/7211/7213 trop ouvertes	Niveau haut dans le ballon Risque d'entraînement de liquide Endommagement du compresseur	LSHH dans ballons d'aspiration entraînant déclenchement du compresseur						
Niveau	Haut	14	Sans objet								
	Bas	15	Sans objet								
Vibration	Plus de	16	Mauvais graissage	Risque d'endommagement / projection missile du compresseur	Détecteur de vibration Détecteur de déplacements axiaux	2					
		17	Mauvais alignement			2					
		18	Pompage du compresseur			2					
Composition	Contamination	19	C3/Huile	Sans conséquence							
Réaction		20	Sans objet								
Agitation		21	Sans objet								
Instrumentation		22	Défaut de régulation de vitesse	Survitesse (idem plus de débit)							
	Démarrage	23	Sans objet								Insister sur les tests préalables des différents
	Arrêt	24	Sans objet								
	Échantillonnage	25	Sans objet								
	Purge	26	Sans objet								
	Maintenance	27	Sans objet								

### II.3.5.7. LISTE DES SIF RETENUS

Étant donné que les différentes fonctions de sécurité instrumentées sont mises en œuvre pour la protection de plusieurs scénarios, la revue SIL a été faite pour examiner le scénario de conséquences plus graves ou qui a moins de protections indépendantes. Le niveau d'intégrité SIL ainsi obtenu couvre les autres scénarios.

Les fonctions de sécurité instrumentées qui ont été identifiées comme protections pendant l'étude HAZOP ont fait part de la revue SIL.

La liste des fonctions retenues figure dans le tableau suivant :

**Tableau II.11** : Les SIF retenus au niveau du compresseur 32-C-7001

N° de fonction :	Désignation de fonction :	Etiquette d'initiateur :
161	Protection contre température de refoulement très haute	TSHH-7208
162	Protection contre pression de refoulement très haute	PSHH-7214
163	Protection contre pression très basse d'aspiration BP	PSLL-7209
164	Protection d'état de soupape de refoulement	ZSO-7215
165	Protection d'état de vanne d'évent	ZSC-7216
179	Protection d'aspiration BP	PDIC-7208
180	Protection d'aspiration MP	FIC-7203
181	Protection de refoulement	FIC-7207

## II.4. CONCLUSION

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons fait une présentation générale du complexe GP1/Z avec ses différentes structures de base, tout en donnant un aperçu sur la politique SSE et QHSE du groupe SONTRACH et ses filiales. En suite dans la deuxième partie, nous avons décrit le procédé utilisé pour le traitement du GPL, et à la fin, nous avons fait une description du compresseur de propane 32-C-7001 qui va faire l'objet de notre étude pratique.

**CHAPITRE III**  
**ÉVALUATION DE LA CLASSE SIL POUR**  
**LA BOUCLE PSHH-7214**

### **III.1. INTRODUCTION**

Ce chapitre a pour objet de traiter les points suivants :

- Appliquer les normes IEC61508 et IEC61511 ;
- Vérifier le niveau SIL (Safety Integrity Level) déterminé pour la fonction instrumentée de sécurité SIF sélectionnée ;
- Appliquer de la méthode LOPA pour la réduction de niveau SIL ;
- Vérifier que la boucle sélectionnée est disponible où moment de l'apparition d'un dysfonctionnement dans l'équipement et/ou l'installation.

### **III.2. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ARRÊT D'URGENCE ESD**

#### **III.2.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME DE CONTRÔLE DISTRIBUE « DCS »**

Le système DCS installé au niveau du complexe GP1/Z est du fournisseur HONEYWELL version TDC3000.

La TDC3000 profite des microprocesseurs puissants de 16 et 32 bits développés dans les dernières années pour répartir les tâches de traitement évoluées, tels que la régulation avancée, la visualisation et l'historique qui étaient réalisés auparavant par un ordinateur central. Cette architecture de traitement distribué qui va au-delà de la régulation décentralisée, offre au système des fonctions, de la capacité et de la redondance qui le rendent à la fois souple et puissant ce qui lui permet de répondre aux exigences d'aujourd'hui en matière de contrôle des procédés industriels modernes.

Le TDC3000 est né en 1984 et se compose de :

- Un réseau principal de communication appelé LCN (local control network) ;
- Un ou plusieurs réseaux UCN (Universal control network) ;
- Un réseau Ethernet.

#### **III.2.2. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ARRÊT D'URGENCE « EMERGENCY SHUT DOWN SYSTEM »**

Le système d'arrêt d'urgence ESD est un sous-système physiquement indépendant incluant des capteurs, des boîtes de jonction, des cabines séparées et opéré par un contrôleur logique programmable PLC, spécifié comme étant à tolérance de panne. **(Voir annexe 04)**

Ce système est conçu de façon à protéger le personnel, les équipements de procédé en cas d'apparition de conditions de fonctionnement anormales.

- a. Le système ESD est un système à tolérance de panne, et qui répond aux exigences de la norme DIN V 19250 classe VI et du SIL « Safety Integrity Level » classe III de la norme CEI 61511/61508 ;
- b. Le système ESD est interfacé avec le DCS par l'intermédiaire d'une liaison série redondante (redundant serial link) et par connexion hardwire ;
- c. Le système de déclenchement des unités pré-assemblées (tripping system of package units) est réalisé par le PLC du système ESD ;

d. Le PLC est capable d'effectuer les opérations d'enregistrement des événements dans le temps de scrutation (polling time) requis ;

e. Le système ESD assure ce qui suit :

- Système de diagnostic en ligne pour localiser le module défaillant ;
- Réparation en ligne sans interruption de fonctionnement (Hot Repair) de tous les modules défaillants dans le système ;
- Le système ESD est du type à tolérance de défaut, capable de détecter un défaut et compenser pour le control défaillant sans interruption du procédé ;
- La fonction de tolérance de défaut, est assurée par une architecture du type à redondance triple modulaire (triple modular redundant TMR architecture).

f. Le PLC assure les applications suivantes :

- Séquences d'événements ;
- Systèmes de programmation graphique.

g. Le système ESD supporte les protocoles suivants :

- **Pair à pair (Peer to Peer)** : ce protocole permet au tricones d'échanger une qualité limitée d'information relative à la sécurité et au procédé sur le réseau approprié ;
- **Synchronisation (time synchronization)** : la synchronisation est un protocole maître/esclave (master/slave) utilisé pour maintenir une base cohérente de temps pour tous les PLCs reliés entre eux à l'aide du module de communication de tricones ;
- **Tri-station** : tri-station est un protocole maître/esclave dans lequel le maître (le PC de Tri-station) communique avec l'enclave (Tri-cons) via un réseau IEEE 802.3

h. Le temps de balayage du contrôleur programmable est de l'ordre de 100 millisecondes ;

i. Le système ESD est à triple redondance, tous les processeurs exécutent les mêmes instructions /programmes et vérifient leurs résultats, un vote majoritaire corrigera tout résultat défaillant ;

j. La station de travail d'ingénierie (Engineering work stations EWS) pour le PLC est utilisé pour la programmation, le stockage de programme, les diagnostics de défaillances et le contrôle d'alarme.

k. Le sous système de communication PLC est un bus de communication numérique assurant un transfert de données haute vitesse, rapidement et de manière fiable, entre le processeur, le sous-système I/O (entrée/sortie), la station EWS pour PLC et autre dispositifs connectés au système PLC ;

l. Une interface appropriée à redondance double dans un format de protocole bien établi, est fournie afin de réaliser les fonctions suivantes :

- Afficher tous les points d'entrée sous l'alarme/ première alarme déclenchée connectée au PLC ou générés par PLC sur la console opérateur du DCS ;
- Générer les rapports d'arrêts (Shut down) sur l'imprimante de consignation du DCS ;
- Recevoir certaines commandes opérationnelles à partir de la console opérateur du DCS pour l'opération des dispositifs connectés au PLC ;

- Afficher les messages de diagnostique du PLC sur la console opérateur du DCS.

### III.3. MÉTHODOLOGIE DE CALCUL

La méthode proposée par la norme CEI 61508/61511 se déploie en 2 temps :

- Caractérisation des fonctions de sécurité (classification SIL) ;
- Calculs de la fiabilité des chaînes instrumentées de sécurité.

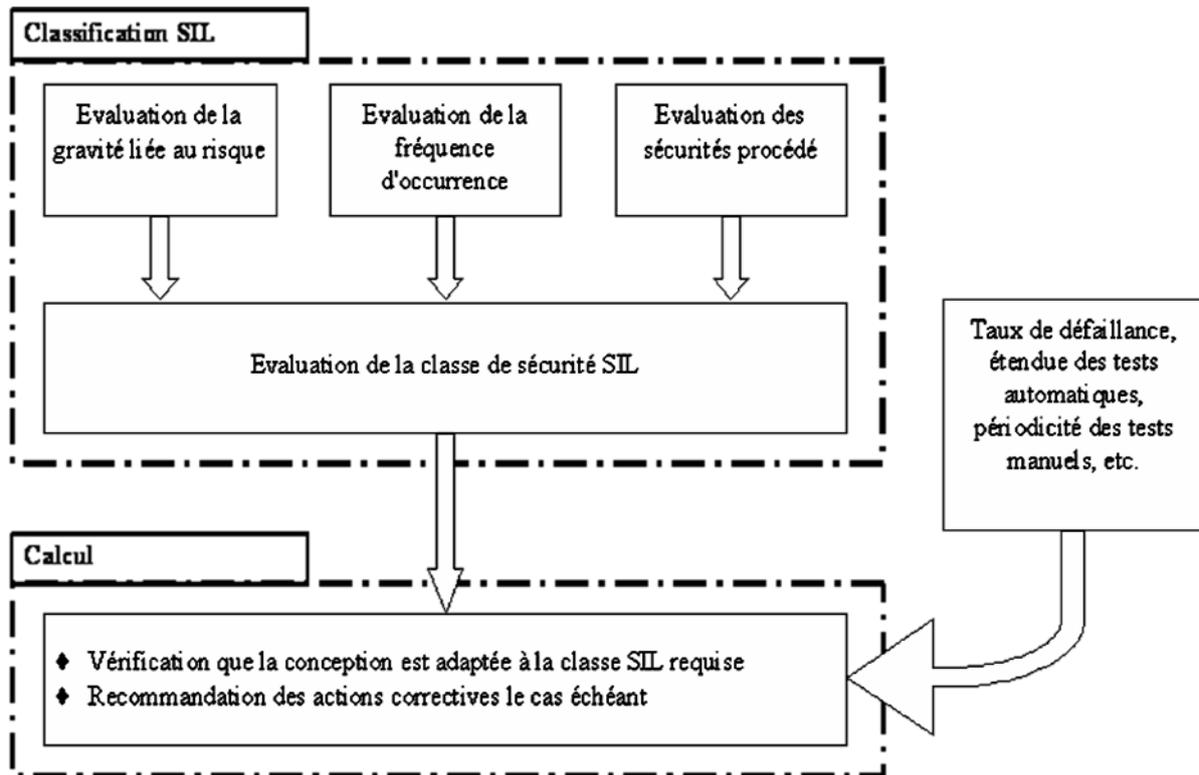


Figure III.1 : Méthodologie de calcul du SIL dans la norme CEI 61508/61511[2]

En accord avec la norme CEI61508[1], le groupe d'étude Sonatrach au niveau du complexe GP1/Z a établi une méthodologie de calcul de niveau SIL plus détaillée afin de concevoir une revue SIL en prenant compte de tous les facteurs qui influent sur la classification des SIF. la figure III.2 ci-dessous décrit les procédures principales suivies pour la classification SIL au niveau du complexe GP1/Z.

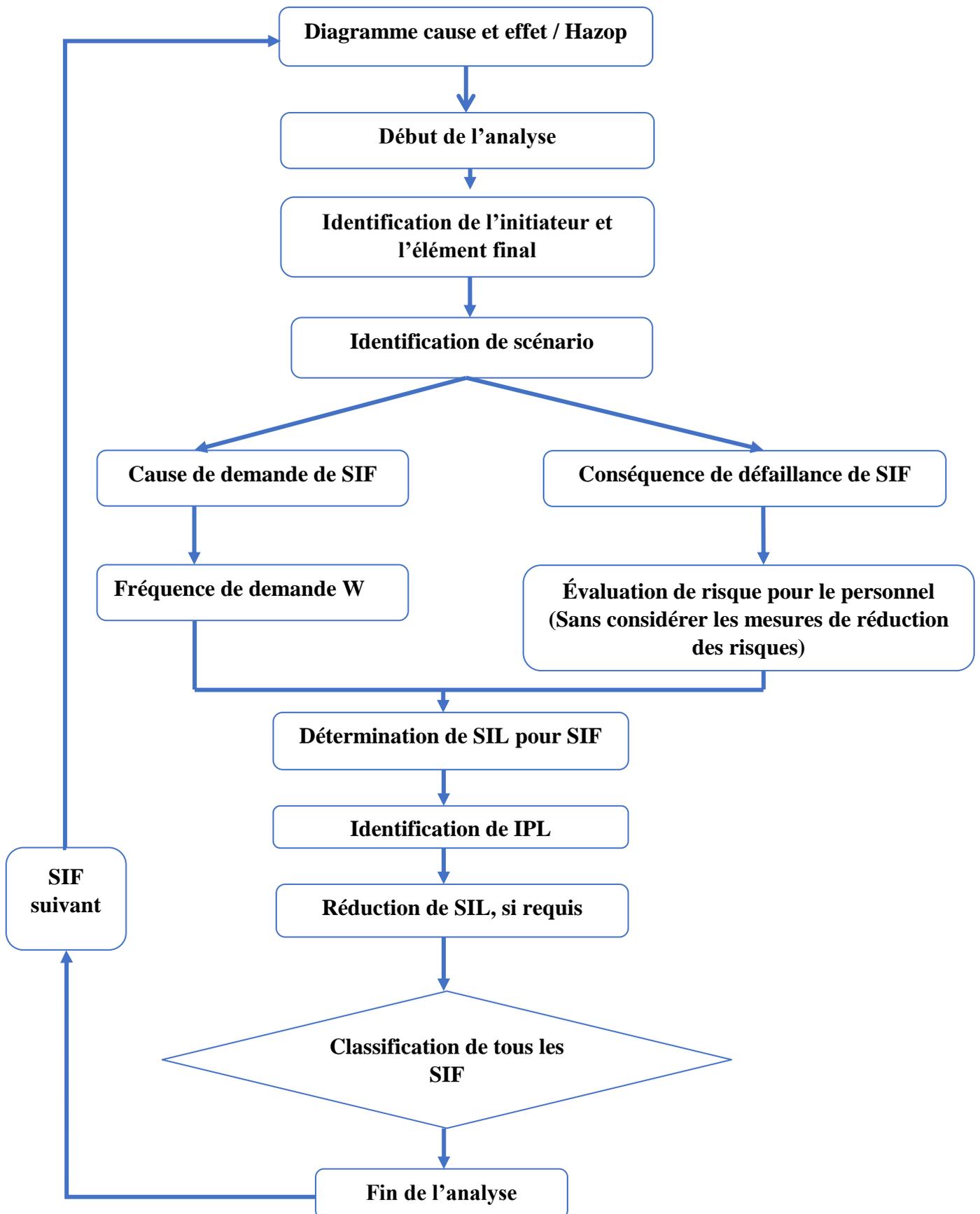


Figure III.2 : Schéma fonctionnel de classification SIL [31]

### III.4. IDENTIFICATION DE LA BOUCLE ESD

Nous allons déterminer ci-dessous la classe SIL pour la boucle ESD : **PSHH-7214**

Cette boucle (SIS) est destinée pour la protection du compresseur de propane 32-C-7001 contre une très haute pression de refoulement.

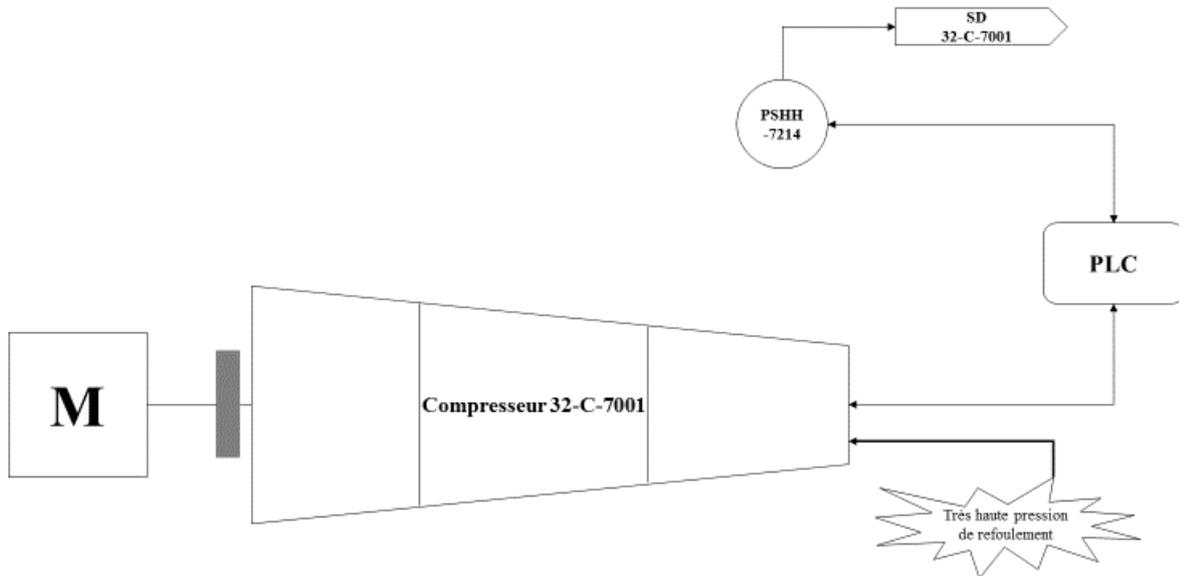


Figure III.3 : schéma synoptique de la boucle PSHH-7214

#### III.4.1. DESCRIPTION DE DÉTECTEUR PSHH-7214

Le détecteur PSHH-7214 est l'initiateur utilisé pour la boucle PSHH-7214, installé en 2010 sur le site de GP1/Z ; et prévue pour la protection du compresseur de propane 32-C-7001 contre le dommage mécanique en bloquant les opérations à continuer.

◆ *Caractéristiques techniques :*

1. **Marque :** NESS- BETA
2. **Modèle :** W3-P708H
3. **Type :** Pression
4. **Diaphragme :** Buna-N utilise l'eau / huile standard (-30 ° C à + 80 ° C)
5. **Exécution :** IP66 étanche (boîtier G3 uniquement) avec fils conducteurs enrobés
6. **Application :** gaz inertes d'air pur et sec (côté bas uniquement)
7. **Température ambiante :**
  - Standard : -30 à + 80 ° C
  - ATEX : -60 à + 70 ° C : Série W pour T6
  - 60 à + 80 ° C : Série W pour T5

8. **Répétabilité** :  $\pm 0,2\%$  de l'intervalle complet \* (mesurée à une température ambiante de 20 ° C selon ANSI / I.S.A.-S51.1-1979)
9. **Classification** : Antidéflagrant ATEX & IECEx
10. **Certification SIL 2** : La génération BETA UF est homologuée SIL2
11. **Matériau** : Aluminium
12. **Plage de mesure** : 2 - 15 mbar (Avec "L1" micro uniquement)
13. **Max. Pression statique** : 10 bars
14. **Intervalle de mesure morte** : 0.3 - 1.65 bar
15. **Pression maximale sur la plage de mesure** : 200 bars
16. **Resistance à la pression** : 600 bars

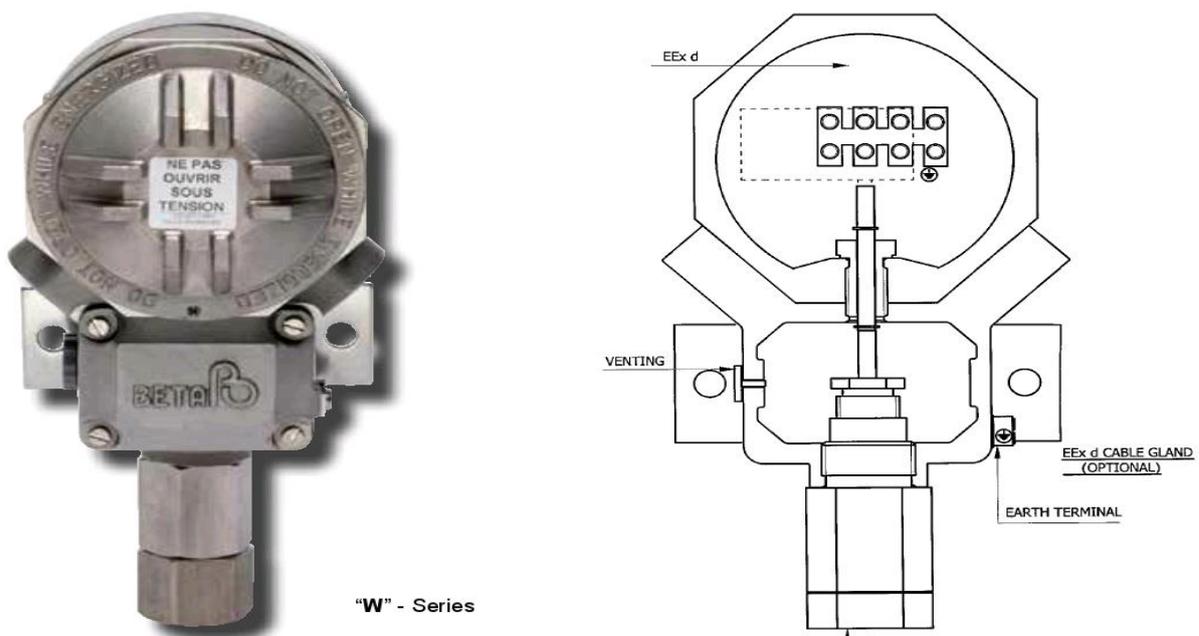


Figure III.4 : Détecteur (capteur) de pression PSHH-7214

### III.5. CALCUL DE LA CLASSE SIL POUR LA BOUCLE PSHH-7214

#### III.5.1. DIAGRAMME CAUSE ET EFFET

C'est le diagramme logique généré par le triconex appelé aussi diagramme de sécurité ; ce dernier nous permet de connaître l'action final de chaque SIF. Le diagramme cause & effet qui correspond à la boucle PSHH-7214 se trouve dans le tableau III.1 ci-dessous :

Tableau III.1 : Matrice cause/effet pour la boucle PSHH-7214

ESD : SIL requis :		Cause :		Effet :		
		TAG. N° :	Fonction :	Equipement :	Fonction remplie à :	Action :
0224.05		PSHH-7214	Très haute pression de refoulement	32-C-7001	Compresseur de propane	L'arrêt du compresseur de propane 32-C-7001

### III.5.2. ÉTUDE HAZOP DE LA BOUCLE PSHH-7214

Dans l'étude Hazop pour le compresseur de propane 32-C-7001, nous allons étudier le paramètre pression et le mot clé plus (plus de refoulement) afin de pouvoir déterminer les scénarios d'accident possible qui peuvent donner l'alarme au niveau de cette boucle, et par voie de conséquence cela va nous permettre de calculer la classe SIL pour cette dernière.

Tableau III.2 : L'étude de paramètre pression par l'HAZOP pour le compresseur de propane 3-C-7001

Déviation		N°	Cause	Conséquence	Barrière	Cotation		Recommandation			Commentaires
Paramètre	Mot-clé					G	P	N°	Description	Resp.	
Pression	Plus de (refoulement)	8	Fermeture PV-7221	Détérioration du diffuseur du compresseur	PSHH-7214 ou TSHH-7208 sur le refoulement général entraînant le déclenchement du compresseur Soupape de sécurité SV-7208 A/B Détecteur de vibrations Détecteur de déplacements axiaux Limiteur de vitesse SOFT SC-101 Alarme haute pression PSH-7213						
		9	Fermeture XV-7215								
	Moins de	10	Idem moins de débit								
	Dépression	11	Idem pas de débit								

### III.5.3. ANALYSE DE LA CLASSE SIL

L'analyse de la classe SIL se fait en appliquant la méthode graphe de risque.

#### a. Identification de l'initiateur et l'élément final

L'identification de l'initiateur de la boucle PSHH-7214 ainsi les différents éléments qui constituent cette boucle se fait en utilisant le P&ID de la boucle PSHH-7214 (figure III.5).

Tableau III.3 : les composants de la boucle PSHH-7214

<b>L'initiateur :</b>	<b>PSHH-7214</b>	<b>Initier le PLC pour empêcher l'endommagement fuite / feu des diffuseurs du compresseur</b>
<b>Système logique :</b>	PLC	Basé sur la logique, exécute la séquence d'action
<b>Élément final :</b>	32-C-7001	L'arrêt du compresseur 32-C-7001 directement par PLC

○ **Note :**

**PI&D « Process and instrumentation diagram » :** C'est le schéma de tuyauterie et d'instrumentation.

C'est un diagramme qui définit tous les éléments d'un procédé industriel. Il est le schéma le plus précis et le plus complet utilisé par les ingénieurs pour la description d'un procédé.

Il se distingue du schéma de procédé par l'ajout des éléments de contrôle, les armatures, les détails sur l'isolation et la protection des installations et la position coordonnées des installations les unes par rapport aux autres.

Les installations ainsi que les vannes et les éléments de contrôle sont décrits par des symboles.

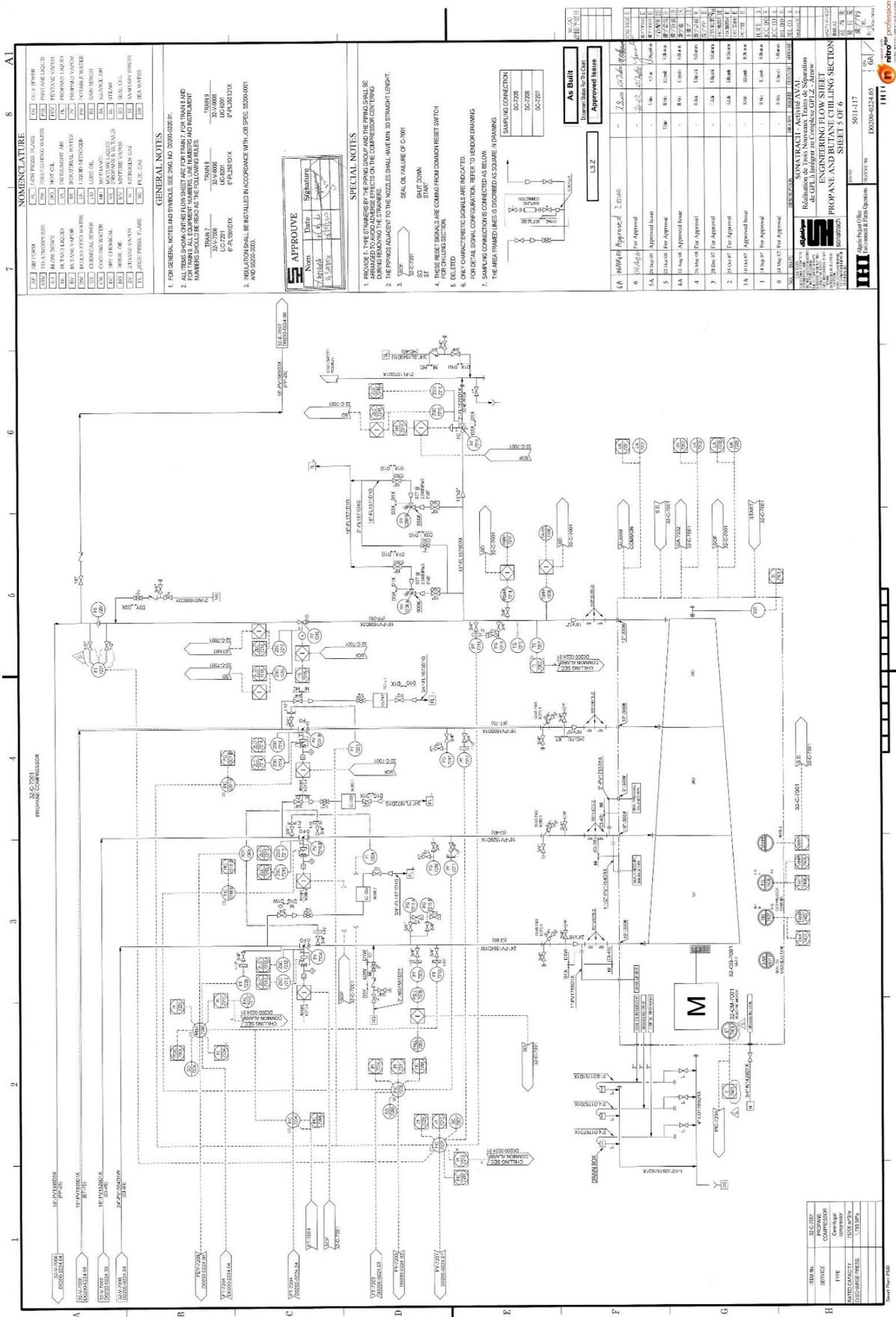


Figure III.5 : P&ID du compresseur 32-C-7001

### *b. Identification de scénario*

L'identification des scénarios d'accidents pouvant se produire dans le compresseur de propane 32-C-7001 est faite moyennant la méthode HAZOP, l'utilisation de la méthode HAZOP permet d'identifier les causes, les conséquences et les barrières de mesures de sécurité mises en œuvre dans le système pour faire face au développement de ces scénarios.

Le tableau III.2 d'HAZOP montre ces différentes causes et conséquences et barrières de sécurités existantes au niveau du compresseur de propane 32-C7001.

Le scénario que nous allons étudier pour déterminer le niveau de SIL de la boucle PSHH-7214 est le suivant :

La fermeture de XV-7215 suite à la détection d'une très haute pression de refoulement dans les diffuseurs par la boucle PSHH-7214, ce qui a entraîné l'arrêt du compresseur de propane 32-C-7001.

### *c. Cause de demande de SIF et conséquence de défaillance de SIF*

La cause de demande et la conséquence de défaillance sont déterminées à partir des fréquences des événements qui sont identifiés par l'étude HAZOP.

**Tableau III.4 :** Cause de demande et conséquence de défaillance pour la boucle PSHH-7214

Cause de demande de SIF :	Conséquence de défaillance de SIF :
L'arrêt du compresseur 32-C-7001	Endommagement fuite / feu des diffuseurs du compresseur

## III.5.4. DÉTERMINATION DE LA CLASSE SIL POUR SIF

Nous avons déterminé la classe SIL en appliquant le graphe de risque, comme indiqué sur la figure I.9 et I.10, avec les entrées dérivées pour les paramètres divers associés.

Les paramètres de hiérarchisation du niveau de sécurité pour notre cas d'étude « la boucle PSHH-7214 » sont les suivants :

- **Note :**

Toutes ces données sont relevées lors de la visite sur site.

- **Atteintes aux personnes SILs**

La conséquence du risque sur les personnes a été fixée à Cc étant donné l'étendue de la section de réfrigération (assez importante). Car l'arrêt du compresseur 32-C-7001 cause un dysfonctionnement dans la section ce qui peut créer des risques considérables sur les opérateurs ;

La fréquence d'exposition au risque a été évaluée au niveau F<sub>b</sub> car une présence humaine permanente est envisagée dans la zone dangereuse considérée ;

La possibilité d'éviter le danger est considérée au niveau Pa, car il existe des moyens de prévention ou de protection pour éviter le phénomène dangereux dans la zone dangereuse considérée ;

Enfin en ce qui concerne la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux, le seuil W2 est pris car ce danger se produit modérément sur le site.

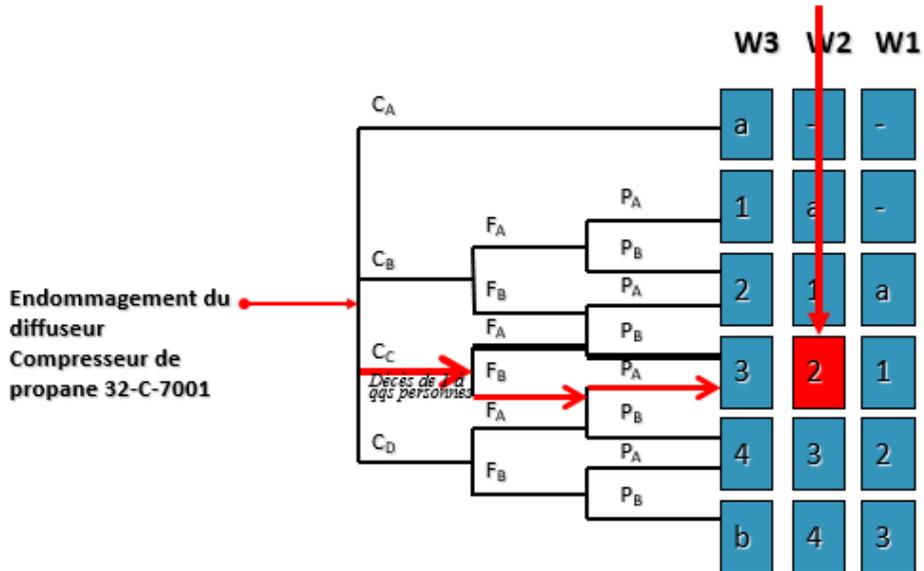


Figure III.6 : Etalonnage des paramètres du graphe de risque pour SILs

▪ Perte de production SILc

La conséquence du risque sur la production a été fixée à Cc car l'arrêt du compresseur 32-C-7001 peut causer des perturbations importantes dans la production ;

La possibilité d'éviter le danger est considérée au niveau Pa, car il existe des moyens de prévention ou de protection pour éviter le phénomène dangereux dans la zone dangereuse considérée ;

En ce qui concerne la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux, le seuil W2 est pris car ce danger se produit modérément sur le site.

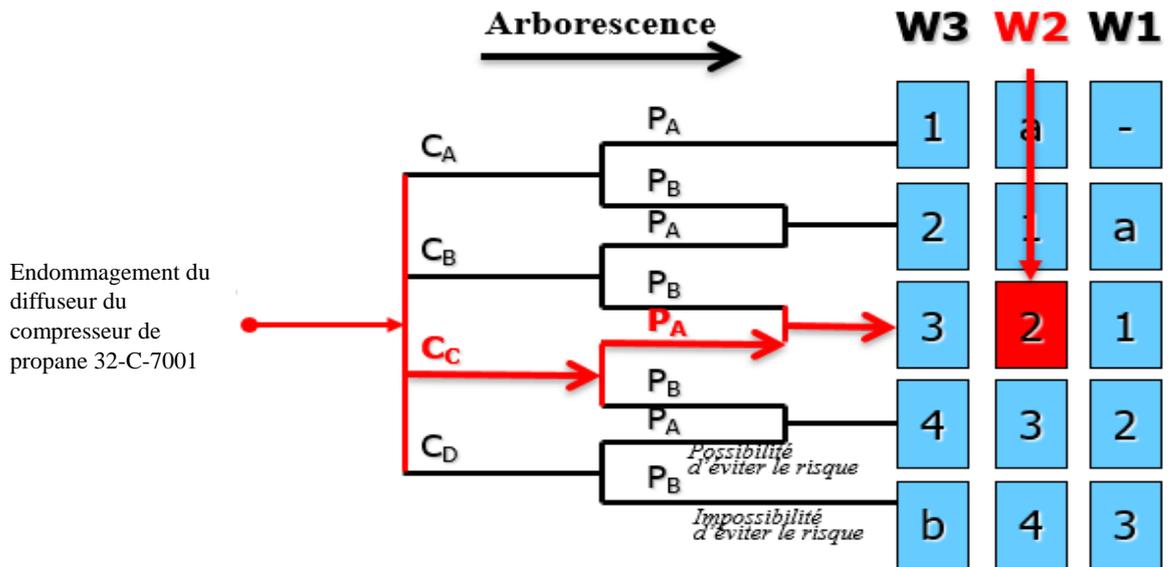


Figure III.7 : Etalonnage des paramètres du graphe de risque pour SILc

▪ Environnement SILe

La conséquence du risque sur l'environnement a été fixée à C<sub>b</sub> car une pollution atmosphérique se produit suite à la combustion du propane dans la torche HP ;

La possibilité d'éviter le danger est considérée au niveau Pa, car il existe des moyens de prévention ou de protection pour éviter le phénomène dangereux dans la zone dangereuse considérée ;

En ce qui concerne la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux, le seuil W2 est pris car ce danger se produit modérément sur le site.

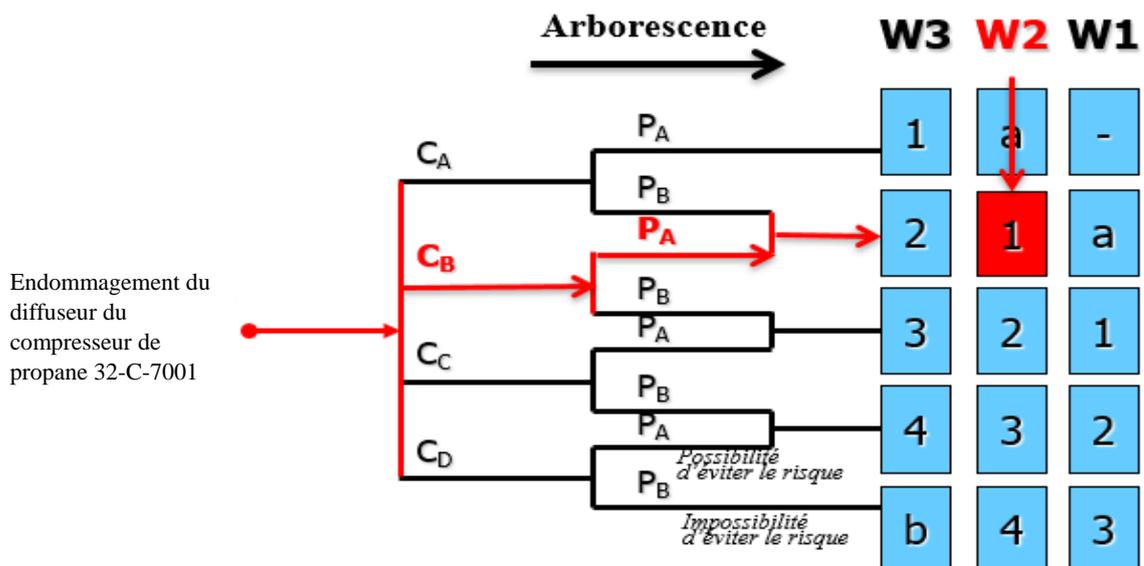


Figure III.8 : Etalonnage des paramètres du graphe de risque pour SILe

▪ **Classe SIL déterminée pour la boucle PSHH-7214 :**

Après avoir déterminé le niveau SIL pour le personnel, la production et l’environnement ; nous avons déterminés le niveau SIL requis pour la boucle PSHH-7214 comme indique le tableau III.5 ci-dessous :

**Tableau III.5 : le niveau SIL requis pour la boucle PSHH-7214**

	Paramètre C (Conséquences) :	Paramètre F (exposition) :	Paramètre P :	Paramètre W :	Niveau SIL :	SIL requis /sélectionné
Securité SILs	C <sub>c</sub>	F <sub>b</sub>	P <sub>a</sub>	W2	2	2
Environnement SILe	C <sub>b</sub>		P <sub>a</sub>	W2	1	
Production SILc	C <sub>c</sub>		P <sub>a</sub>	W2	2	

**III.5.5. IDENTIFICATION DES IPLs**

Après avoir déterminé le niveau SIL pour la boucle PSHH-7214 à l’aide de la méthode graphe de risque, et que cette dernière n’arrive pas à réduire le risque à cause de leur complexité (niveau SIL requis est 2), le risque reste inacceptable alors une addition d’une ou plusieurs IPL(s) résout le problème.

A partir du P&ID de la boucle PSHH-7214 (figure III.5), plusieurs couches de protection indépendantes IPLs sont envisages pour réduire le risque résiduel, qui sont :

1. TSHH-7208 sur le refoulement général entraînant le déclenchement du compresseur ;
2. Détecteur de vibrations ;
3. Détecteur de déplacements axiaux ;
4. Soupape de sécurité SV-7208 A/B ;
5. Système de conduite PBCS ;
6. Alarme haute pression PSH-7213 ;
7. Limiteur de vitesse SC-101.

**III.5.6. RÉDUCTION DE SIL**

◆ *Mise en œuvre de la méthode LOPA*

La méthode LOPA est applicable s’il y’a plus de 02 couches de protection independante.

Pour notre cas d’étude nous avons identifiés 04 couches de protection independante, ce qui revient à dire que nous pouvons appliqués l’approche LOPA dans la réduction de niveau SIL.

Le scénario à risque résiduel est situé dans la zone **ALARP** ((As Low As Reasonably Praticable : aussi faible que raisonnablement possible) font l’objet d’une étude LOPA, sachant que les évènements initiateurs sont les causes dans l’étude HAZOP.

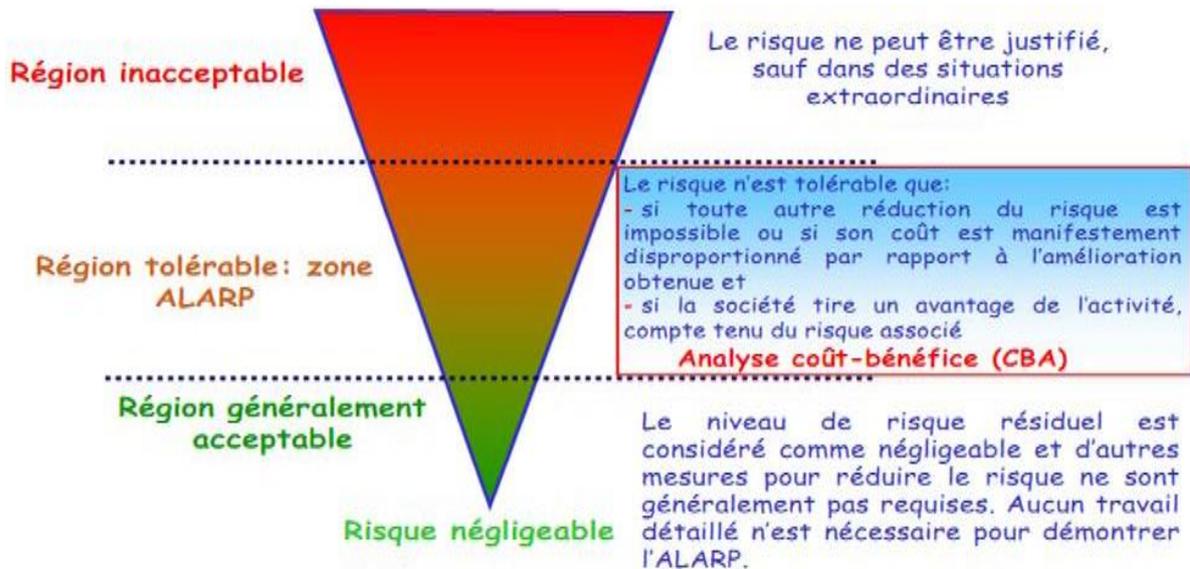


Figure III.9 : Principe ALARP

Le scénario que nous allons analyser à partir de l'HAZOP est :

- L'arrêt du compresseur de propane 32-C-7001 suite à la fermeture de XV-7215.

### 1. Analyse de scénario :

La fermeture de la vanne XV-7215 suite à la détection d'une très haute pression de refoulement dans les diffuseurs par la boucle PSHH-7214, ce qui a entraîné l'arrêt du compresseur de propane 32-C-7001.

### 2. Identification de l'événement initiateur :

Dans notre cas d'étude il y a 02 possibilités qui mènent aux mêmes conséquences c'est à dire qu'il y a 02 événements initiateurs possible :

- La fermeture de XV-7215 ;
- La fermeture de PV-7221.

Nous avons pris comme événement initiateur la fermeture de XV-7215, car c'est l'événement initiateur qui va nous permettre d'étudier la boucle PSHH-7215 et réduire son niveau de SIL.

### 3. Évaluation de la gravité des conséquences associées au scénario :

Nous avons défini la pire conséquence si la SIF ne fonctionne pas lorsqu'une demande survient ; On se réfère également à l'étude HAZOP pour identifier la conséquence, catégorisez la gravité des conséquences et la fréquence tolérable pour la SIF.

La fréquence tolérable est sélectionnée conformément aux critères de risque tolérables SONATRACH pour l'étude LOPA, comme le montre le tableau III.6 ci-dessous.

**Tableau III.6 : Critères SONATRACH de Risques Tolérables pour l'Etude LOPA**

Gravité Potentielle	Conséquences			Fréquence/Probabilité d'Evènement Atténué Cible (TMEL/ TMEF) pour chaque catégorie de conséquences
	Personnes	Commerciales (Actifs + Production)	Environnement	
1	Modérées	Dommage léger	Effet léger	1E-3 Par an
2	Graves	Dommages Mineurs (< US\$ 100.000,00)	Effet Mineur	1E-4 Par an
3	Importantes	Dommages Localisés (<US\$ 1.000.000,00)	Effet Localisé	1E-5 Par an
4	Catastrophiques	Dommages Majeurs (<US\$ 10.000.000,00)	Effet Majeur	1E-6 Par an
5	Désastreuses	Dommages Extensifs (>US\$ 10.000.000,00)	Effet Massif	1E-7 Par an

En se référant au tableau III.6, nous avons déterminés la gravité des conséquences associées au scénario au regard des conséquences sur les hommes (morts ou blessés), sur l'environnement (pollution) ou encore financières (perte d'exploitation, dommages sur les équipements), le tableau III.7 montre les résultats obtenus :

**Tableau III.7 : Évaluation de la gravité des conséquences associées au scénario**

Scénario :	Conséquences :	Description :	Gravité :	Fréquence/Probabilité d'Evènement Atténué Cible (TMEL/ TMEF) :
	Personnes	Importantes	3	1E-5 Par an
<b>Fermuture de XV-7215</b>	Commerciales (Actifs + Production)	Dommages Majeurs (<US\$ 10.000.000,00)	4	1E-6 Par an
	Environnement	Effet Localisé	3	1E-5 Par an

**4. Identification de l'ensemble des mesures (ou couches de protection) qui permettent de prévenir du déroulement du scénario :**

Vis-à-vis ce scénario, il existe quatre 04 IPLs de différent type :

- TSHH-7208 sur le refoulement général entraînant le déclenchement du compresseur ;
- Détecteur de vibrations ;
- Détecteur de déplacements axiaux ZE-7402 ;
- Soupape de sécurité SV-7208.

Ainsi la boucle de régulation commandée par BPCS vérifie les critères d'une IPL. Et comme la méthode LOPA intègre les barrières techniques et organisationnelles, nous avons aussi d'autres barrières de prévention mentionnes ci-après :

- Conception générale de processus ;
- Alarme et opérateur ;
- Limitateur de vitesse SC-101.

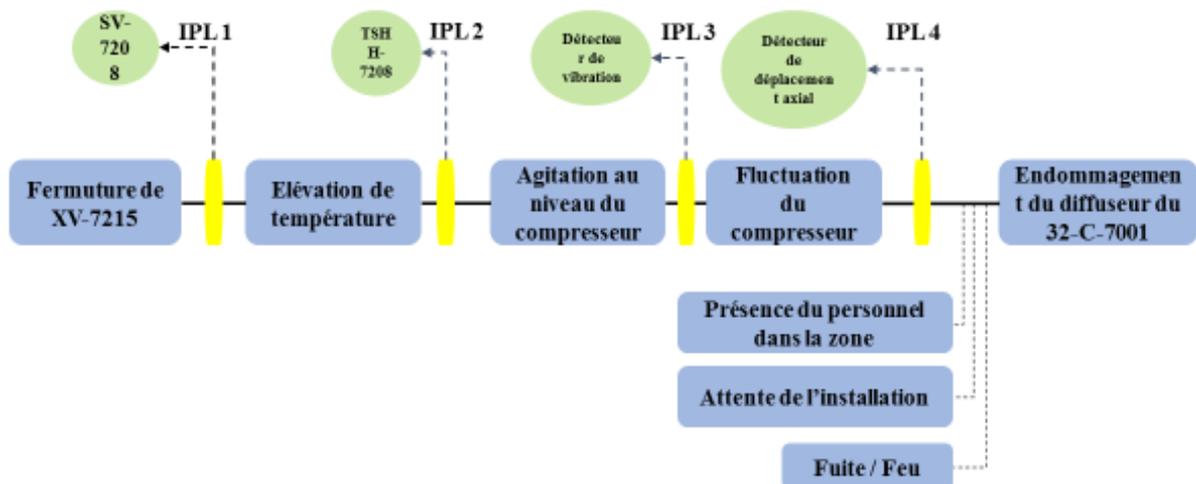


Figure III.10 : Description du scénario selon la méthode LOPA

**5. Évaluation de la fréquence de l'événements initiateurs :**

Pour chaque cause de l'événement initiateur, sa probabilité (la fréquence de l'événement non atténué) est établie à partir des registres GP/1Z ou de la base de données approuvée au niveau international pour les défaillances d'équipement telles qu'OREDA, EXIDA ou encore à partir des valeurs proposées par le CCPs [30].

La fréquence de l'événement initiateur pour le scénario étudié est définie à partir du retour d'expérience des accidents/ incidents survenant au niveau du complexe GP1/Z ;

La fréquence de l'événement initiateur qui est la fermeture de XV-7215 est déterminée de : 0.1 selon les REX consultées dans les registres du complexe GP1/Z.

$$F (\text{fermeture de XV-7215}) = 10^{-1}$$

**6. Évaluation des probabilités de défaillances à la sollicitation allouées aux différentes mesures :**

Pour ce scénario, les valeurs suivantes sont retenues en accord avec les valeurs proposées par le CCPs [30] et en se référant au tableau I.6 ; les valeurs de PFD (probabilités de défaillances) pour chacune des IPLs est déterminées comme suit :

$$\begin{aligned}
 PFD(TSHH - 7208) &= 0.1 \\
 PFD(\text{Détecteur de vibrations}) &= 0.1 \\
 PFD(\text{Détecteur de déplacements axiaux}) &= 0.1 \\
 PFD(\text{soupape de securite SV - 7208}) &= 0.01 \\
 PFD(\text{Conception générale de processus}) &= 0.1 \\
 PFD(\text{Alarme et opérateur}) &= 0.1 \\
 PFD(BPCS) &= 0.1
 \end{aligned}$$

Sachant que la probabilité de défaillance PFD est calculée comme suit :

$$PFD = \lambda_i t$$

Avec :

$\lambda_i$  : est le taux de défaillance selon la base de données OREDA ou EXIDA  
 $t$  : est l'intervalle de test ; dans notre cas d'étude  $t = 36 \text{ mois}$

**7. Fréquence résiduelle :**

En se référant à la formule donnée par le CCPS [30], la fréquence d'occurrence du scénario peut s'évaluer comme suit :

$$Fi^c = Fi^I \times \prod_{j=1}^J PFD ij \tag{4}$$

Avec :

$Fi^c$  : est la fréquence pour la conséquence c d'initiation de l'événement i. (la fréquence des événements atténués ou la fréquence résiduelle) ;

$Fi^I$  : Fréquence de la conséquence associée à l'événement initiateur i à l'origine du scénario d'accident ;

$PFD ij$  : Barrière de sécurité indépendante (IPL) numéro j vis-à-vis du scénario d'accident.

⇒ A partir de l'équation (4) et les valeurs des différentes IPLs retenus, nous avons :

$$\begin{aligned}
 f = & F(XV - 7215) \times PFD(TSHH - 7208) \times PFD(\text{Détecteur de vibrations}) \times \\
 & PFD(\text{Détecteur de déplacements axiaux}) \times PFD(\text{soupape de securite SV - 7208}) \times \\
 & PFD(\text{Conception générale de processus}) \times PFD(\text{Alarme et opérateur}) \times PFD(BPCS)
 \end{aligned}$$

La fréquence des événements atténués (atténuation totale due à toutes les causes) est de :

$$f = 10E - 09$$

**8. Définition des besoins en termes de barrières supplémentaires :**

En se référant aux critères d’acceptabilité de SONATRACH (tableau III.4), nous avons la fréquence cible pour le risque étudié. La fréquence d’occurrence étant inférieure à la fréquence cible, il est alors possible de déterminer la probabilité sur demande PFD et le facteur de réduction du risque RRF qui permettrait de rendre ce risque acceptable. Ces facteurs se calculent comme suit :

$$PFD = \frac{\text{Fréquence des événements cibles}}{\text{Fréquence totale des événements atténués}} \tag{5}$$

Et

$$RRF = \frac{1}{PFD} \tag{6}$$

A partir du tableau III.7, l’équation (5) et l’équation (6), nous avons :

**Tableau III.8 : Réduction de niveau SIL pour la boucle PSHH-7214 avec la méthode LOPA**

	Personnes (sécurité) : SILs	Commerciale (production) : SILc	Environnement : SILE	SIL requis /sélectionné :
Probabilité sur demande PFD :	1 <sup>E</sup> 04	1 <sup>E</sup> 03	1 <sup>E</sup> 04	<b>0</b>
Facteur de réduction de risque RRP :	0	0	0	
Niveau SIL	0	0	0	

Le niveau SIL requis pour la boucle PSHH-7214 après la mise en œuvre de la méthode LOPA dans la réduction de ce dernier est 0, cela revient à dire que le niveau de SIL obtenu est non classé comme SIL et que la mise en place des IPLs est efficace puisque le niveau de SIL pour cette boucle est réduit de 02 niveaux.

**III.5.7. CONCLUSION « fin de l’analyse »**

Le choix de la méthode de détermination du SIL dépend essentiellement de la nature des données d’entrée, puisque nous n’avons pas des données d’entrées suffisantes (fréquences d’occurrence d’événements initiateurs, probabilités de défaillance des barrières de sécurité), nous avons déterminés le SIL par une méthode qualitative qui est le graphe de risque.

À l’aide de la méthode graphe de risque nous avons obtenus un SIL 2 pour la boucle PSHH-7214, et après la mise en place des différents IPLs nous avons pu réduire le risque résiduel du scénario d’accident identifié selon l’étude HAZOP à un risque acceptable.

La méthode LOPA nous a permis à travers plusieurs étapes de déterminer le niveau de SIL requis pour la boucle PSHH-7214 après la mise en place des IPLs (SIL0 = non classés).

L’analyse du scénario d’accident étudiés par la méthode LOPA est résumée dans le tableau III.9. (Voir annexe 05).

N° du scénario: 01	N° de l'équipement : 32-C-7001	Titre du scénario : l'arrêt du compresseur de propane 32-C-7001 suite à la fermeture de XV-7215.	
Date: 19/05/2019	Description:	Probabilité:	Fréquence:
Conséquences/niveau de gravité associée	Endommagement fuite / feu des diffuseurs du compresseur de propane 32-c-7001		
Fréquence « cible » pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario entraine un risque pour le personnel, installation et environnement.		10 <sup>-5</sup> [30]
Évènement initiateur du scénario	Fermeture de la XV-7215		10 <sup>-1</sup>
Conditions de réalisation du scénario	Très haute pression de refoulement du compresseur de propane 32-C-7001		
Facteurs conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité d'explosion	N/A	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario	N/A	
	Probabilité de blessures	N/A	
	Autres	N/A	
Fréquence du scénario sans les barrières			10 <sup>-1</sup>
Barrières de sécurité respectant Les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	- TSHH-7208 sur le refoulement général entrainant le déclenchement du compresseur SV-7208 A/B	10 <sup>-1</sup>	
	- Détecteur de déplacements axiaux	10 <sup>-1</sup>	

	- Soupape de securit SV-7208	10 <sup>-2</sup>	
	- Détecteur de vibrations	10 <sup>-1</sup>	
	- BPCS	10 <sup>-1</sup>	
	- Conception générale de processus	10 <sup>-1</sup>	
	- Alarme haute pression PSH-7213	10 <sup>-1</sup>	
Autres barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	N/A	N/A	
Total des PFD associés aux Barrières de sécurité indépendantes (IPL).		10 <sup>-8</sup>	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			10 <sup>-9</sup>
Fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>OUI</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : l'entretien et la maintenance des IPLs est indispensable afin d'assurer la disponibilité de la boucle en cas d'anomalie			
Notes : le niveau d'intégrité de sécurité est SIL 0 (niveau SIL non classé)			
Références : PID B200-1235, étude HAZOP -1235			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : <b>FELIDJ ASMA</b>			

Tableau III.9 : Analyse du scénario N°1 par la méthode LOPA

### III.6. ÉTUDE DE DISPONIBILITÉ DE LA BOUCLE PSHH-7214 :

L'objectif de cette étude est de vérifier la disponibilité de la boucle PSHH-7214 et son bon fonctionnement au moment d'apparition de l'anomalie (détection d'une très haute pression de refoulement du compresseur 32-c-7001).

Au niveau du complexe GP1/Z, il existe une seule boucle de type PSHH-7214 associée à au compresseur de propane 32-C-7214, comme montré sur la figure III.11 ci-dessous.

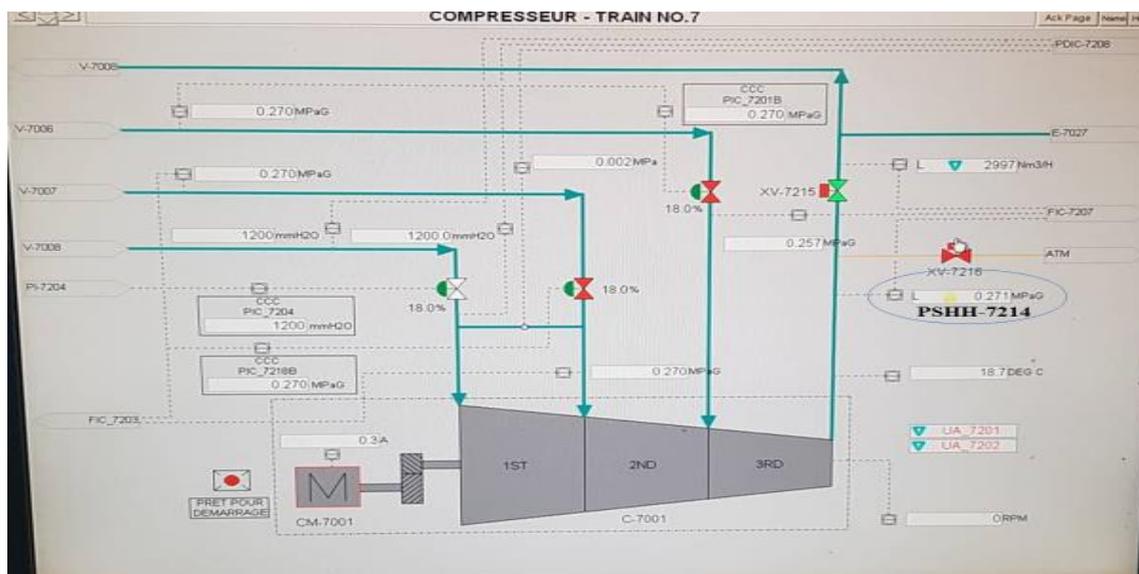


Figure III.11 : L'emplacement du détecteur PSHH-7214

#### III.6.1. RECEUIL DES DONNÉES

Les données recueillies sont :

##### a. Extraction des données à partir du PHD (Precess History Database) :

La démarche suivie est celle de faire un historique de valeurs détectées et leurs alarmes affichés sur une durée s'étalant du 22/04/2018 jusqu'au 19/04/2019.

Les durées d'indisponibilités et de perturbation de signal sont exclues du calcul de disponibilité mais sont exploitées dans le calcul MTTR.

##### b. Extraction des données du GATIOR :

L'exploitation du GATIOR dans notre phase de recueil de données était motivée pour définir les temps de détectabilité des anomalies jusqu'à la remise en service des détecteurs ; ceci implique l'émission d'une demande de travail, sa réception, la préparation de l'ordre de travail et la réalisation de la maintenance, et prend fin dès que le détecteur entre en fonctionnement. Ceci est fait principalement pour comparer les valeurs du MTTR avec la prise en charge réelle de l'anomalie.

III.6.2. CALCUL DES PARAMÈTRES MTBF, MTTR,  $\lambda$  ET LA DISPONIBILITÉ AI

Nous avons pris les valeurs à partir de PHD (Precess History Database) sur une durée d'une année (s'étalant du 22/04/2018 jusqu'au 19/04/2019) ;

Le nombre de panne (y compris les défaillances de l'une des IPLs et les alarmes intempestifs) est de 50 dont les durées respectives sont montrées ci-après.

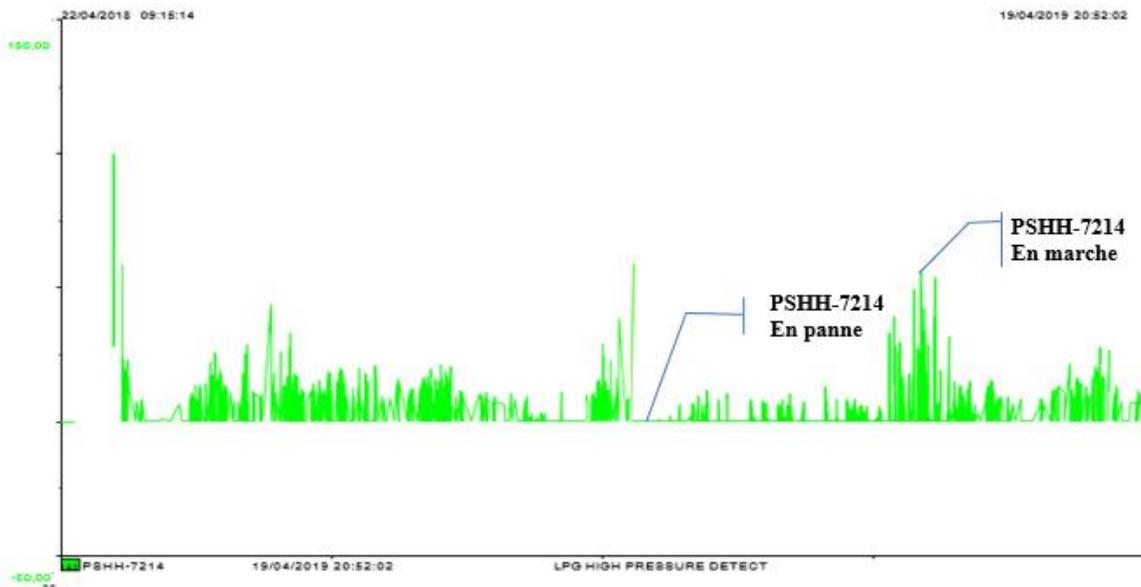


Figure III.12 : Extraction des données à partir du PHD. Détecteur PSHH-7214 au niveau du compresseur de propane 32-C-7001

Nous avons utilisé l'EXCEL pour calculer les différents paramètres « MTBF, MTTR et  $\lambda$  » à l'aide des équations (1), (2) et (3).

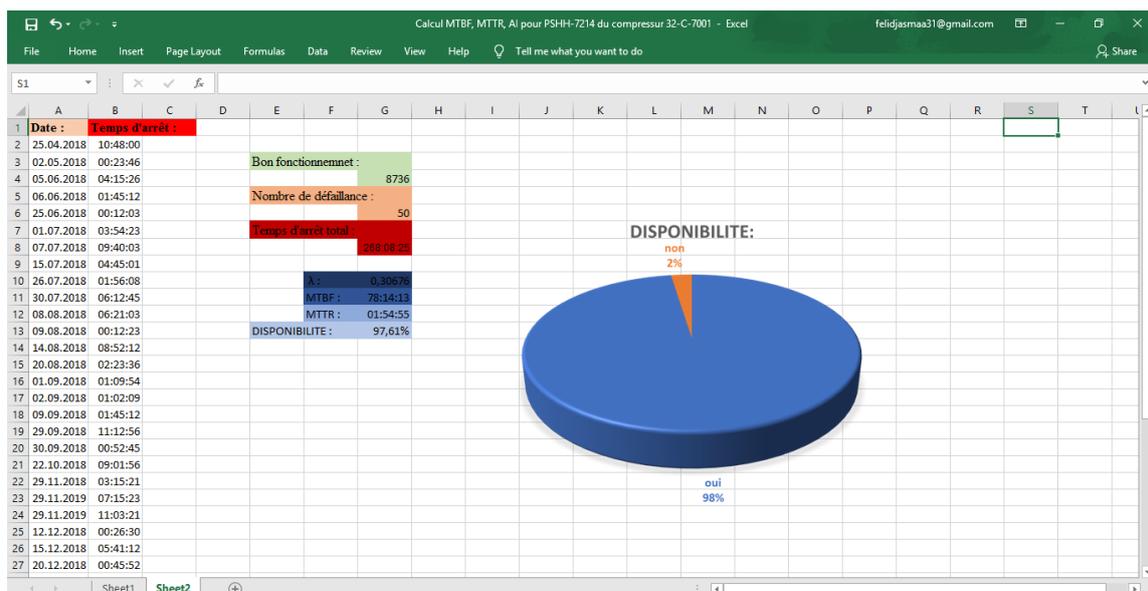


Figure III.13 : Page d'EXCEL pour le calcul de MTBF, MTTR,  $\lambda$  et AI pour le détecteur PSHH-7214

Pour le calcul de la disponibilité de détecteur PSHH-7214 à répondre au moment de l'apparition de l'anomalie (très haute pression de refoulement du compresseur de propane 32-C-7001) nous avons appliqué la formule suivante :

$$AI = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (7)$$

Avec :

**AI :** (availability) La disponibilité ;

**MTTF :** (mean time to failure) est le temps moyen de bon fonctionnement jusqu'à la première panne ;

**MTTR :** (mean time to repair) est le temps moyen jusqu'à réparation.

○ **Note :**

MTBF ≈ MTTF Car le détecteur PSHH-7214 est un composant simple, après réparation, peut être considéré comme identique à ce qu'elle était en début de vie [32].

**Tableau III.10 :** *Résultat de Calcul des MTBF, MTTR, λ, AI pour le détecteur PSHH-7214*

Détecteur :	Emplacement :	Nbr de défaillance :	Temps d'arrêt total :	MTBF :	MTTR :	λ :	Disponibilité AI :
<b>PSHH-7214</b>	Section réfrigération du train 700 au niveau du compresseur de propane 32-C-7001	50	268 :08 :25	78 :14 :13	01 :54 :55	0.30676	97.61%

En se basant sur les résultats obtenus ci-dessus, nous pouvons s'assurer du bon fonctionnement de détecteur PSHH-7214 dans la détection de l'anomalie lorsqu'elle se produit, car selon les résultats du tableau III.10, ce détecteur est disponible 97.61% du temps.

Or la mise en place d'un autre détecteur pour la protection du compresseur contre une très haute pression s'avère nécessaire, car dans le cas où une augmentation de pression de refoulement se présente au moment de l'indisponibilité de détecteur PSHH-7214 (le détecteur PSHH-7214 est en panne ou défaillant) peut causer des perturbations dans la production.

**III.7. CONCLUSION :**

Dans ce chapitre nous avons évalué la classe SIL à allouer pour la fonction instrumentée de sécurité PSHH-7214, en utilisant 02 différents types de méthode (le graphe de risque et la LOPA).

D'après l'analyse et les calculs effectués nous avons constaté que :

- La boucle PSHH-7214 est classée SIL 0 (SIL non classé), ce qui implique une bonne maîtrise de risque à son niveau ;
- Le niveau SIL requis pour cette boucle est acceptable,
- La méthode graphe de risque est limité lorsqu'il s'agit d'un système instrumenté de sécurité associé à des IPLs ;
- L'importance des couches de protection independante IPL dans la réduction de la fréquence du risque résiduel ;
- La méthode LOPA nous a permis de calculée la fréquence résiduelle du scénario après la mise en place des IPLs adéquates ;
- La disponibilité de la boucle « SIS » PSHH-7214 est de 97.61%.

**RECOMMENDATIONS /  
SUGGESTIONS**

## **RECOMMANDATIONS / SUGGESTIONS**

Les recommandations proposées sont :

- Former les personnels du site, aux concepts du système des normes CEI 61508/ CEI 61511(aspects quantitatifs de la sécurité et sur les différents domaines d'action pour la conformité aux normes) ;

- Former les opérationnels aux concepts du système des normes CEI61508 / CEI61511 ;

- Le personnel à une forte sensibilisation à la production, malheureusement parfois au détriment de la sécurité, une sensibilisation accrue du personnel est nécessaire ;

- Assurer des tests périodiques des barrières de sécurité surtout ceux des SIF pour réduire le taux de défaillance et par conséquent augmenter le niveau d'intégrité des couches de protection ;

- La nécessité de déterminer un intervalle minime de test et de maintenance périodique afin que le niveau d'intégrité soit conforme avec les exigences de sécurité ;

- Créer un rapport mensuel de bilan des opérations de maintenance corrective sur les constituants des fonctions instrumentées de sécurité permettant de constituer des indicateurs sur les fréquences de déclenchement des fonctions et la fiabilité réelle des constituants. Ceci doit permettre d'alimenter une base de retour d'expérience.

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## CONCLUSION GÉNÉRALE

La norme CEI 61508 offre une démarche globale de maîtrise de risques à travers une méthode qui va de l'analyse de risque jusqu'à l'évaluation du système instrumenté de sécurité. La quantification du niveau de sécurité est associée à un facteur de réduction de danger, ce qui permet d'apprécier la contribution de la fonction instrumentée de sécurité à la réduction de danger de l'installation. Cette démarche se base sur un ensemble de recommandations qui tendent à maîtriser le risque par des méthodes d'analyses cohérentes.

Cette étude présente une méthode pour détermination de SIL. L'application montre qu'une première étape indispensable, reposant sur une méthode d'analyse des risques sur la zone concernée par l'étude, permet d'analyser le fonctionnement de l'installation et ses principales caractéristiques et de rassembler les éléments disponibles. La deuxième étape permet, quant à elle, de définir les fonctions instrumentées de sécurité ainsi que leur SIL requis en s'appuyant sur les informations fournies par l'exploitant et les spécificités de la zone étudiée.

Le choix de la méthode de détermination du SIL dépend essentiellement de la nature des données d'entrée. De ce fait, on a utilisé la méthode de graphe de risque qui nous a permis de déterminer le niveau d'intégrité de sécurité requis (SIL requis) pour la boucle PSHH-7214, ensuite en analysant les couches de protection IPLs existantes à l'aide de la méthode LOPA, nous avons abouti à une réduction de niveau SIL pour la boucle PSHH-7214 de SIL2 à un niveau SIL non classé.

Le résultat obtenu après l'application de la méthode Lopa (SIL non classé pour la boucle PSHH-7214) est un indicateur sur lequel on se réfère pour dire que les barrières de sécurité ou bien les couches de protection IPLs existantes, pour le compresseur 32-C-7001, sont suffisantes et très efficaces. (Vu que ces IPLs ont permis de réduire le niveau de SIL de SIL2 à SIL non classé pour la boucle PSHH-7214).

Dans l'étude de disponibilité de la boucle PSHH-7214, on a déduit que la boucle étudiée est apte d'assurer son niveau de SIL, aussi en remarque que la maintenance a une influence directe sur la sécurité vu les résultats obtenus des paramètres de MTTR et MTBF.

# **BIBLIOGRAPHIE**

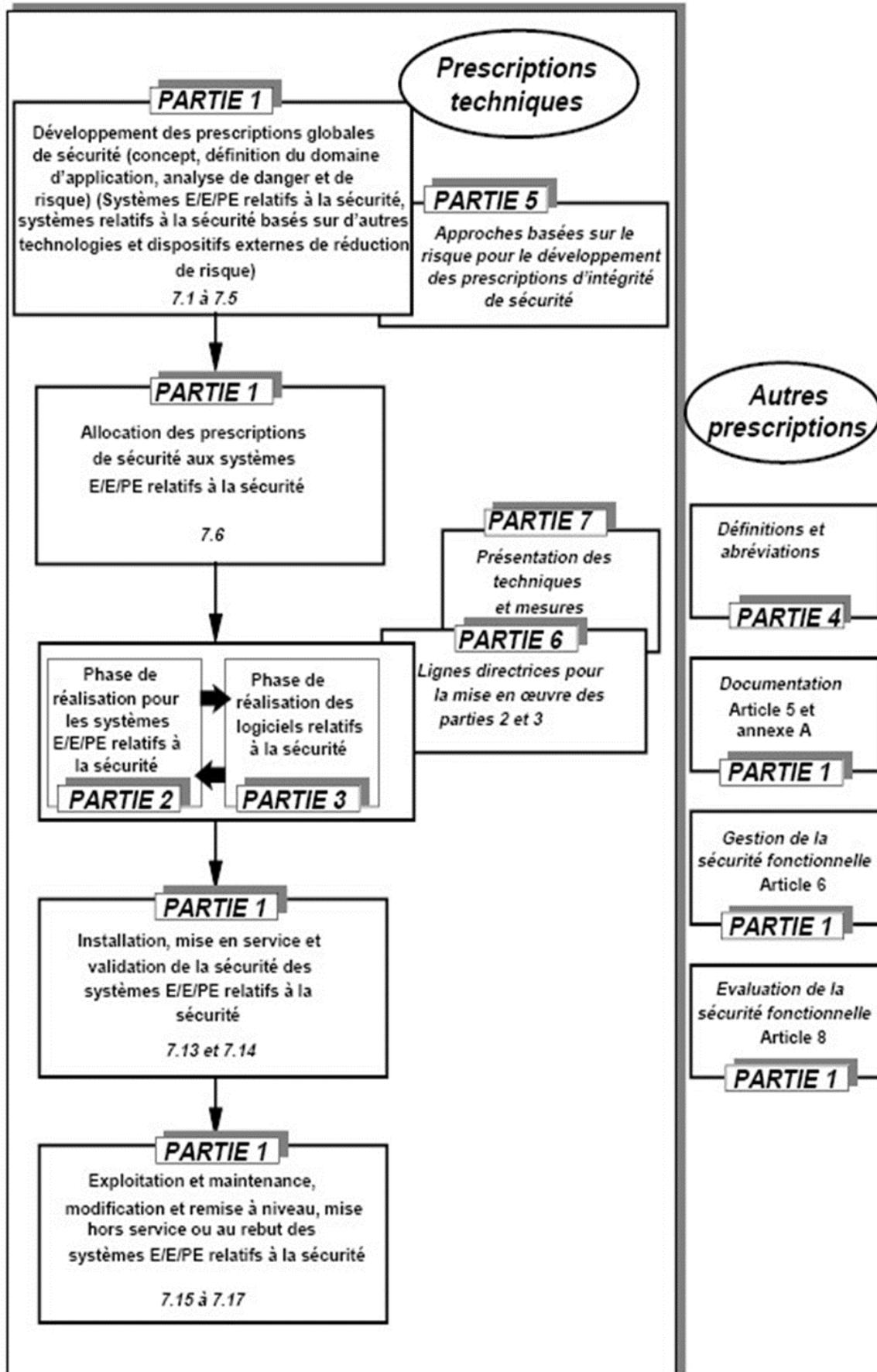
**BIBLIOGRAPHIE**

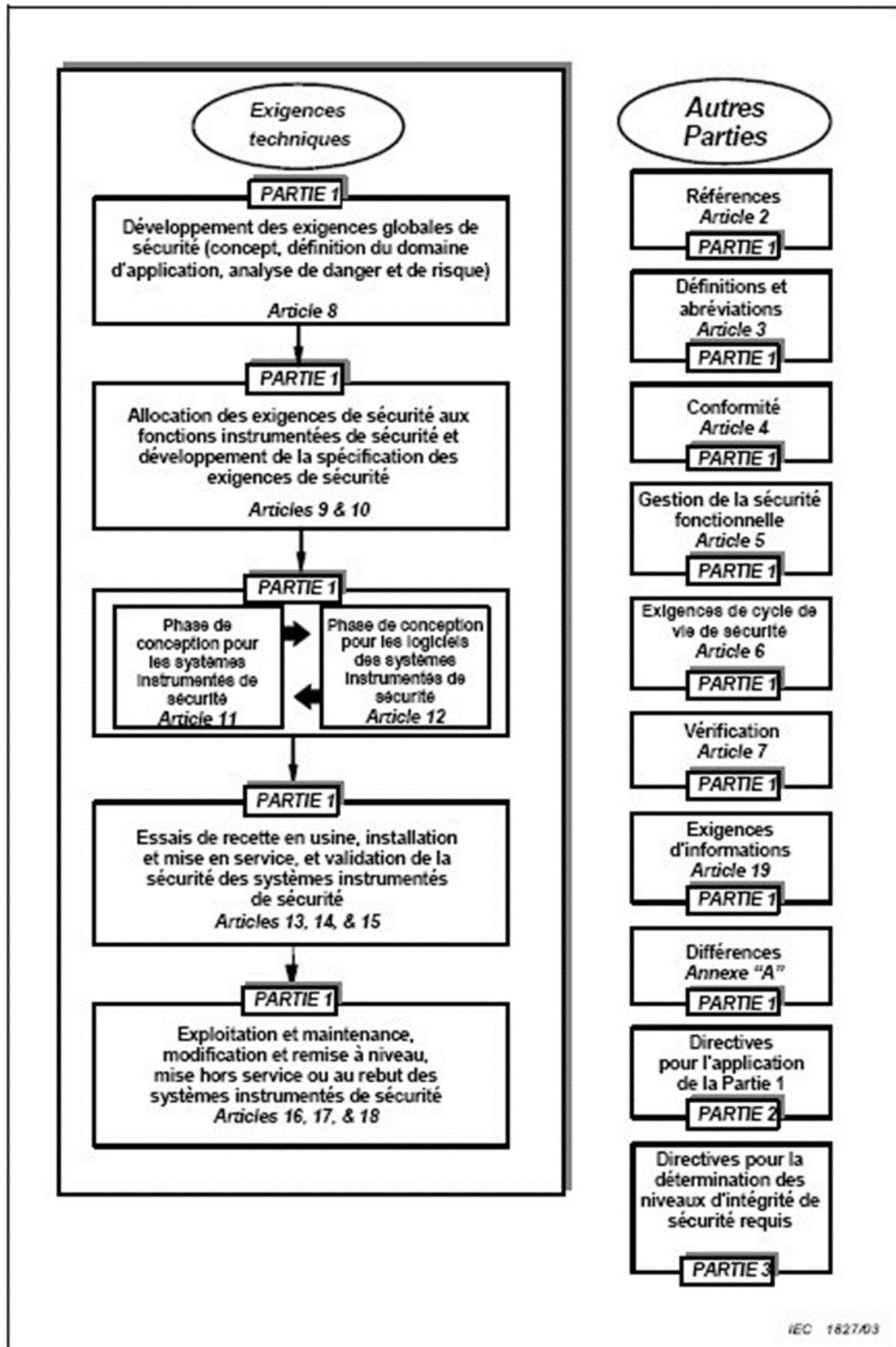
- [1] IEC61508 (1998). Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic (e/e/pe) safety related systems. International Electrotechnical Commission (IEC).
- [2] IEC61511 (2000). Functional safety: Safety instrumented systems for the process industry sector. International Electrotechnical Commission (IEC), 2000.
- [3] A. Desroches. Concepts et méthodes probabilistes de base de la sécurité. Lavoisier, France, 1995.
- [4] IEC61508. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic (e/e/pe) safety related systems. International Electrotechnical Commission (IEC), 1998.
- [5] OHSAS18001. Système de management de la santé et de la sécurité au travail - Spécification -. BSI, Afnor, 1999.
- [6] A. Villemeur. Sureté de fonctionnement des systèmes industriels. Eyrolles, 1998.
- [7] P. Périlhon. L'analyse des risques : méthode MOSAR. EDF, 1998.
- [8] J. Guiochet. Maîtrise de la sécurité des systèmes de la robotique de service. PhD thésis, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2003.
- [9] F. R. Farmer. Siting criteria: a new approach. Atom, 128 :152–166, 1967.
- [10] T. Tanzi and F. Delmer. Ingénierie du risque. Lavoisier, France, 2003.
- [11] A. Desroches, A. Leroy, and F. Vallée. La gestion des risques principes et pratiques. Lavoisier, France, 2003.
- [12] ISO. Management du risque : Vocabulaire, Principes directeurs pour l'utilisation dans les normes. Organisation internationale de normalisation, 2002.
- [13] Sallak, M. (2007). Evaluation de paramètres de sûreté de fonctionnement en présence d'incertitudes et aide à la conception : Application aux Systèmes Instrumentés de Sécurité, Nancy Université, Ecole doctorale IAEM Lorraine, France.
- [14] IEC61061. Stratifiés de bois densifiés, non imprégnés, à usages électriques. International Electrotechnical Commission (IEC), 1998.
- [15] Innal, F. (2008). Contribution à la modélisation des systèmes instrumentés de sécurité et à l'évaluation de leurs performances Analyse critique de la norme CEI 61508. PhD thesis, Université Bordeaux I, France.
- [16] Charpentier, P. (2002). Architecture d'automatisme en sécurité des machines : Etude des conditions de conception liées aux défaillances de mode commun. PhD thesis, Nancy Université, Institut National Polytechnique de Lorraine, France.



- [17] Lamy, P. (2002). Probabilité de défaillance dangereuse d'un système : explications et exemple de calcul. Note Scientifique et Technique 225, Institut national de recherche et s'sécurité (INRS).
- [18] ANSI/ISA-S84.01-1996. Application of Safety Instrumented Systems for the process control industry. Instrumentation Society of America (ISA), 1996.
- [19] Commission Electrotechnique Internationale, 2003, CEI 61511 (partie 1, 2 et 3) Sécurité fonctionnelle – Systèmes instrumentés de sécurité pour le domaine de la production par processus.
- [20] ISA, 2002b, Safety Instrumented Fonctions (SIF), Safety Integrity Level (SIL), Evaluation Techniques Part 2: Determining the SIL of a SIF via Simplified Equations, ISATR84.00.02-2002. 2002.
- [21] ISA, 2002d, Safety Instrumented Fonctions (SIF), Safety Integrity Level (SIL), Evaluation Techniques Part 4: Determining the SIL of a SIF via Markov Analysis, ISATR84.00.02-2002. 2002.
- [22] ISA-TR84.00.02-2002. Safety Instrumented Fonctions (SIF), Safety Integrity Level (SIL), Evaluation Techniques. Instrumentation Society of America (ISA), 2002.
- [23] ISO 26262 Véhicules routiers - Sécurité fonctionnelle
- [24] IEC61513. Centrales nucléaires : Instrumentation et contrôle commande des systèmes importants pour la sûreté, Prescriptions générales pour les systèmes. International Electrotechnical Commission (IEC), 2001.
- [25] EN50126. Railway applications. The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). 1999.
- [26] EN50128. Railway applications. Communications, signalling and processing systems. Software for railway control and protection systems. 2001.
- [27] EN50129. Safety related electronic systems for signalling. 1998.
- [28] Politique SSE, SIG-GP1/Z, SONATRACH
- [29] olivier, iddir. (2012). Méthode LOPA : principe et exemple d'application
- [30] CCPs, (2001). Layer of protection analysis
- [31] DEKRA, Evaluation des Fonctions Instrumentées de Sécurité ACTIVITE AVAL COMPLEXE GP1Z, AO N°22 HSE, 28/07/2009
- [32] Pascal Lamy N/IET, (2002). Probabilité de défaillance dangereuse d'un système N°225
- [33] Cour de formation sur le compresseur, centrifuge, nuovo pugnone, SONATRACH

# **ANNEXES**







AVL/ LQS/ GP1Z

## Politique Qualité Hygiène Sécurité et Environnement du Complexe GP1Z

Le complexe GP1.Z a pour mission la séparation et la réfrigération du GPL (Gaz du Pétrole Liquéfié) en Propane et Butane pour leur commercialisation dans les marchés nationaux et internationaux.

La satisfaction de nos parties intéressées, la protection durable de notre environnement sont les valeurs et priorités qui animent notre complexe. Par ailleurs, fiers de notre appartenance au groupe SONATRAH, les principes arrêtés dans sa politique QHSE guideront l'ensemble de nos actions.

Pour ce faire nous nous engageons à :

- Produire conformément au plan de production assigné au complexe en quantité, en qualité et en toute sécurité pour les personnes et les installations.
- Se conformer aux exigences légales, réglementaires auxquelles nous avons souscrit relatives aux aspects environnementaux, de santé et de sécurité au travail.
- Satisfaire en permanence l'ensemble des exigences de nos clients et des autres parties intéressées.
- Assurer la disponibilité, la fiabilité, la sécurité et le maintien de l'ensemble de nos installations.
- Identifier, évaluer les risques liés à notre système de management intégré dans toutes nos activités.
- Développer une démarche de réduction permanente de nos impacts environnementaux, notamment en matière d'émissions atmosphériques, de qualité des rejets d'eaux usées et de gestion des déchets.
- Maîtriser nos consommations énergétiques pour agir en faveur de la sauvegarde des ressources naturelles.
- Assurer la formation de qualification, perfectionnement, recyclage liés aux différents postes du travail en vue de développer les compétences.
- Assurer la diffusion et la communication envers nos employés, nos partenaires et toutes autres parties intéressées.
- Effectuer des audits de manière à s'assurer du respect de cette politique et de s'inscrire dans une démarche d'évaluation de nos performances.
- Veiller à l'amélioration continue et à l'efficacité de notre système de management intégré.

Pour cela, je m'engage, dans le cadre de cette politique à fournir les moyens et les ressources nécessaires pour la mise en œuvre et la tenue de cette politique, établir des objectifs à tous les niveaux et dans toutes les fonctions et à communiquer cette politique à tout le personnel ainsi qu'aux personnes et entreprises extérieures travaillant pour notre compte ou sur notre site.

Nous invitons chaque membre du personnel à partager sans réserve ces engagements et à s'impliquer au quotidien dans leur mise en œuvre.

Notre politique est le résultat de l'engagement de la direction, de l'implication de l'encadrement et de la participation active de tous nos employés.

Cette politique d'engagement sera revue périodiquement afin de vérifier qu'elle reste applicable à notre domaine d'activité et ainsi de s'assurer de sa pertinence.

Les employés, les fournisseurs et sous-traitants s'engagent simultanément à :

- Contribuer à la mise en œuvre de notre politique QHSE
- Travailler en toute conformité avec les procédures QHSE

Le Directeur du Complexe GP1.Z

M.Youcef AMARA

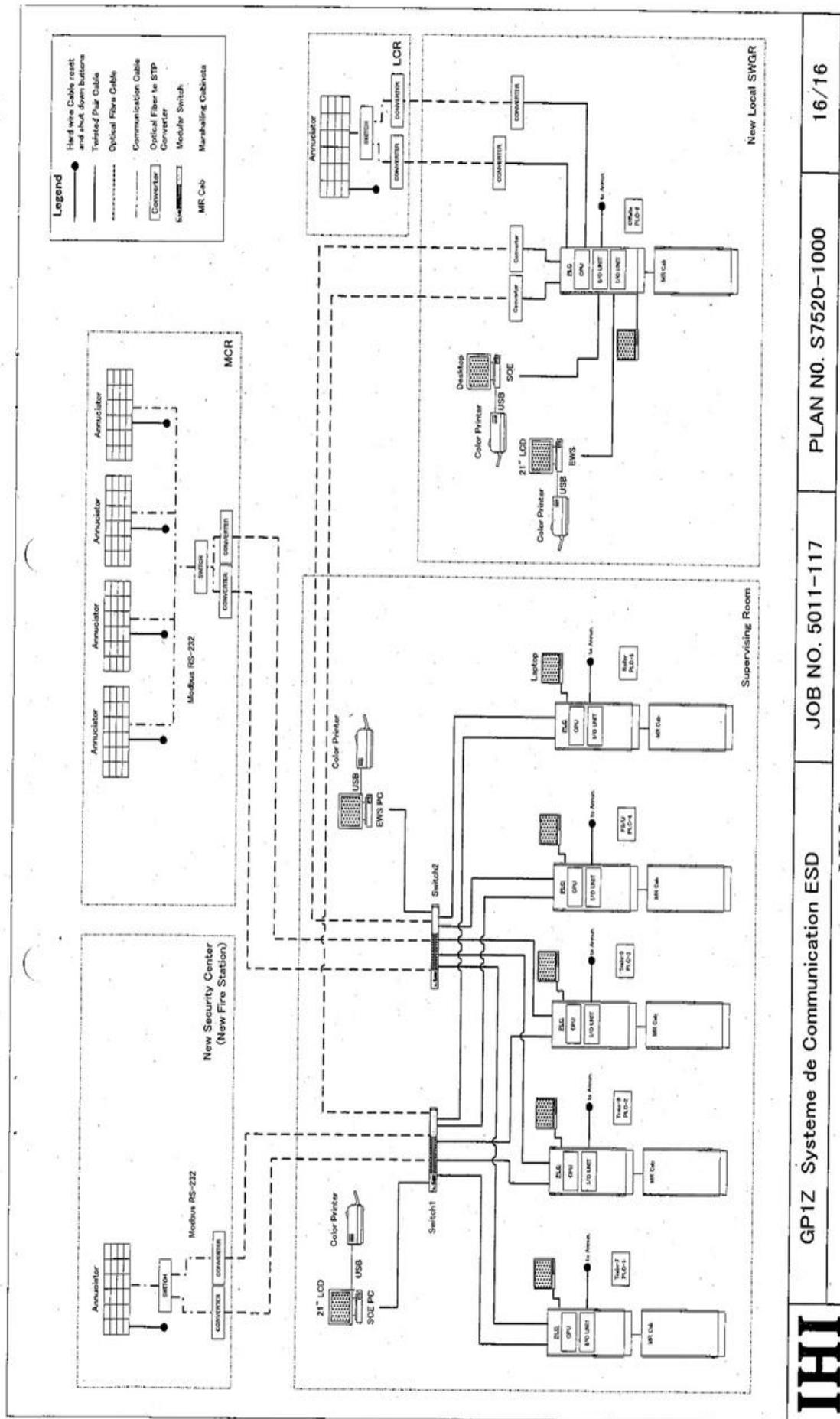
13 DEC. 2017

Le Directeur  
du Complexe GP1Z  
Y. AMARA

Réf : GP1Z/01/2017

GP1Z-SIG-020





GP1Z Systeme de Communication ESD

JOB NO. 5011-117

PLAN NO. S7520-1000

16/16

IHI Corporation

Projet : Ouvrage d'expansion de GPL en Algérie  
 Client: IHI/ SONATRACH  
 Facility : Usine de GPL de la phase 3

Fonction N° : 162

Désignation de fonction : Pressure High High at discharge of 3rd stage Propane Compressor 32-C-7001

Section : réfrigération

Diagramme cause et effet : feuille 4-1

No Réf HAZOP: 32.8.1 (DRW N° B0200-2051(F))

	Etiquette
Initiateur (s)	PSHH-7214
Element (s) final (aux)	SD-compresseur 32-C-7001

But de conception:

Protection contre une très haute pression de refoulement au niveau du compresseur de propane 32-C-7001

Cause de perturbation / scénario potentiel :

La fermeture de PV-7221 ou la fermeture de XV-7215 suite à une très haute pression de refoulement constaté au niveau du 3eme étage du compresseur de propane 32-C-7001

Conséquence :

Endommagement fuite / feu des diffuseurs du compresseur

Probabilité d'occurrence non-souhaitée, W W2 \_\_\_\_\_

Conséquence d'événement, C Cc \_\_\_\_\_

Fréquence et durée d'exposition dans une zone dangereuse, F Fb \_\_\_\_\_

Possibilité d'éviter les événements, P Pa \_\_\_\_\_

Niveau SIL de sécurité : 2

IPL est-il prévu ? Oui TSHH-7208 sur le refoulement général entraînant le déclenchement du compresseur ;  
 Détecteur de vibrations ; Détecteur de déplacements axiaux ZE-7402 ; Soupape de sécurité SV-7208.

Niveau SIL, net : -

Note :

-

