



Département : Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux  
Filière : QHSE-GRI

## Mémoire de

Post-Graduation Spécialisée  
en  
QHSE-GRI

**Evaluation et maitrise des risques du procédé de  
production et de conditionnement de gaz d'acétylène  
Cas : Linde Gas Algérie Oued El Bardi Bouira**

Présenté par : M<sup>r</sup>. Krimo TABTI

Sous la direction de M<sup>r</sup>. Aboubakr. KERTOUS Maître assistant

Présenté et soutenu publiquement le 29/04/2018

Composition du Jury:

President	M <sup>r</sup> . Bouzid.BENKOUSSAS	Professeur	ENP
Promoteurs	M <sup>r</sup> . Aboubakr. KERTOUS	Maître assistant	ENP
Examineurs	M <sup>r</sup> . M'hamed. BOUSBAI	Maître de conférences	ENP
Invité	M <sup>r</sup> . Sid Ali.GHERBI	Sous directeur de formation	DGPC
	M <sup>r</sup> .Tayeb.BERRACHED	Chef bureau d'étude	DGPC





**Département : Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux**  
**Filière : QHSE-GRI**

## **Mémoire de**

**Post-Graduation Spécialisée**  
**en**  
**QHSE-GRI**

**Evaluation et maitrise des risques du procédé de  
production et de conditionnement de gaz d'acétylène  
Cas : Linde Gas Algérie Oued El Bardi Bouira**

Présenté par : M<sup>r</sup>. Krimo TABTI

Sous la direction de M<sup>r</sup>. Aboubakr. KERTOUS Maître assistant

Présenté et soutenu publiquement le 29/04/2018

Composition du Jury:

President	M <sup>r</sup> . Bouzid.BENKOUSSAS	Professeur	ENP
Promoteurs	M <sup>r</sup> . Aboubakr. KERTOUS	Maître assistant	ENP
Examineurs	M <sup>r</sup> . M'hamed. BOUSBAI	Maître de conférences	ENP
Invité	Mr .Sid Ali.GHERBI	Sous directeur de formation	DGPC
	M <sup>r</sup> .Tayeb.BERRACHED	Chef bureau d'étude	DGPC

## Remerciements

*J'exprime ma profonde gratitude a mon encadreur Mr. Kartous Aboubakr, pour son aide précieuse, ses conseils ,sa disponibilité, ses connaissances et son soutien m'ont permis d'avancer rapidement et efficacement tout au long de mon mémoire.*

*Je suis très reconnaissant envers tout les enseignants de l'école Nationale polytechnique Département maîtrise des risques industriels et environnementaux spécialité : QHSE-GRI, qui nous ont toujours guidé et incité à travailler plus, malgré la courte durée de ce cursus, ansi que le personelle administrative de departement en particulier Redha pour son effort et sa disponibilité durant cette formation.*

*Je remercie également :*

*Les responsables de la direction générale de la protection civile qui nous ont donnés l'occasion de suivre cette formation importante.*

*Je tiens aussi à remercier les cadres de LIND GAZ ALGERIE (unite de Bouira) notamment ceux des départements HSE de m'avoir consacré une partie de leur temps à répondre à mes très nombreuses questions.*

*Mes remerciements chaleureux à mes chers camarades de la PGS.*

*A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

*Enfin j'aimerais remercier mes proches de m'avoir soutenu durant cette période, et particulièrement ma femme et mes enfants.*

*Krimo*

الهدف الرئيسي الاستيلان هذه وللتعريف تحليل يخصص سيناريوهات الظواهر أهمية المفتاحية: تحديد	هذا هو رئيسية . يخصص هذا طبقتها هذا ولتطبيق الكمية العديدية ويتم تخصيص الاستيلان تحليل	تدابير تقنية للسيطرة تصنعه وتنقيته لسياق لتفسير المنهجية عليه. النوعية لتحليل تقدير الأخير تقييم	الرئيسية، ليبيان الاشكالية وظاهرة بهدف حدوثها؛ وهذا هدفنا، الاستيلان،	ايضا لتقدير نقترحها، هذه تقدير
--	---	--	---	---

## ABSTRACT

The main objective of this work is to propose technical measures in order to control the major risks, especially the explosions, which are related to the acetylene gas produced and conditioned in the acetylene installation at within the industrial gas production and conditioning unit of oued el berdi.

This report consists of three main parts. The first is devoted to the contextualization of our project, to the statement of the problem followed by the approach of its resolution and to the presentation of the company Lind gas. This section is also devoted to the explanation of the generic approach of risk management and the phenomenon of explosion, to the presentation of the methods of risk analysis we have applied and to the study of the system we worked on.

The second part of the project is devoted to the application of qualitative risk analysis methods to extract the dreaded events and to visualize scenarios of accidents and quantitative methods to estimate the frequencies of occurrence; It is also devoted to the estimation of the effects of hazardous phenomena through numerical simulation.

The last part will be devoted to the proposal of engineering solutions which reduce the criticality of risks linked to acetylenegas and allow to reach our objective, mastery.

**Keywords:** Risk Identification, Risk Analysis, Risk Assessment, Combustible Gas, Explosion, Estimation of Effects, RiskReduction.

## RESUMÉ

L'objectif principale de ce travail est de proposer des mesures d'ordre technique dans le but de maîtriser les risques majeurs, notamment l'explosion, qui sont liés au gaz d'acétylène fabrique et conditionné dans la l'installation d'acétylène au sein de la unite de production et de conditionnement des gaz industrielle de oued el berdi.

Le présent mémoire est constitué de trois grandes parties. La première est consacrée à la mise en contexte de notre projet, à l'énoncé de la problématique suivi de la démarche de sa résolution et à la présentation de l'entreprise LINDE GAZ ALGERIE. Cette partie est dédiée également à l'explication de la démarche générique du management des risques et du phénomène d'explosion, à la présentation des méthodes d'analyse des risques appliquées ainsi qu'à l'étude de l'existant.

La deuxième partie du projet porte sur l'application des méthodes d'analyse des risques qualitatives pour extraire les évènements redoutés et visualiser les scénarios d'accidents et quantitatives afin d'estimer les fréquences d'apparition ; elle porte également sur l'estimation des effets des phénomènes dangereux à travers une simulation numérique.

Quant à la dernière partie, elle sera consacrée à la proposition des solutions d'ingénierie afin de réduire la criticité des risques liés au gaz d'acétylène et atteindre notre objectif, la maîtrise.

**Mots clé :** Identification des risques, Analyse des risques, Evaluation des risques, Gaz acétylène, Explosion, Estimation des effets, Réduction des risques.

## TABLE DES MATIÈRES

### LISTE DES FIGURES LISTE DES TABLEAUX

### LISTE DES ABREVIATIONS

<b>Introduction</b> .....	<b>13</b>
<b>Chapitre 1 : Contexte, problématique et méthodologie</b> .....	<b>16</b>
1.1 Contexte général.....	16
1.1.1 Analyse des causes.....	17
1.1.2 Analyse des conséquences.....	18
1.2 Présentation de l'unité Lind Gaz Algérie.....	18
1.2.1 Localisation de l'entreprise.....	18
1.2.2 Rubriques concernées de la nomenclature des IC.....	19
1.2.3 Les activités de l'unité.....	19
1.2.4 Les installations et les équipements auxiliaires de l'unité.....	19
1.2.5 Les bâtiments magasins.....	20
1.2.6 Les réseaux.....	20
1.3 Problématique.....	21
1.4 Méthodologie.....	22
<b>Chapitre 2 : Concepts du risque et outils d'analyse</b> .....	<b>26</b>
2.1 Généralités sur les risques.....	26
2.1.1 Définition et classification.....	26
2.1.2 Processus de management des risques.....	27
2.1.3 Concepts de sécurité.....	29
2.2 Phénomène d'explosion.....	30
2.2.1 Termes et définitions.....	30
2.2.2 Hexagone d'Explosion.....	31
2.2.3 Caractérisation d'une explosion de nuages gazeux.....	31
2.2.4 Simulation des effets d'explosion.....	32
2.3 Analyse fonctionnelle (Diagramme SADT).....	33
2.3.1 Origine de la méthode.....	33
2.3.2 Représentation graphique.....	33
2.3.3 Étapes de la création d'un modèle.....	33
2.3.4 Avantages de SADT.....	34
2.4 Outils d'analyse des risques.....	34
2.5 Classification.....	34
2.5.1 Méthodes quantitatives vs qualitatives.....	34
2.5.2 Méthodes déductives vs inductives.....	34
2.6 Analyse préliminaire des risques (APR).....	35

2.6.1	Origine de la méthode .....	35
2.6.2	domaine d'application.....	36
2.6.3	Principe de la méthode .....	36
2.6.4	Déroulement de la méthode .....	36
2.7	Hazard operability analysis (HAZOP) .....	38
2.7.1	Principe .....	38
2.7.2	Déroulement.....	38
2.8	Arbre de défaillances (AdD) .....	39
2.8.1	Principe .....	39
2.8.2	Construction de l'AdD .....	39
2.9	Arbre d'évènement (AdE) .....	40
2.9.1	Présentation et Domaine d'Application .....	40
2.9.2	Déroulement.....	40
2.10	Méthode nœud papillon.....	42
<b>Chapitre 3: Etude de l'existant .....</b>		<b>45</b>
3.1	Generalites sur l'acétylène .....	45
3.1.1	Proprietes physique de l'acétylène.....	45
3.1.2	Solubilité de l'acétylène.....	45
3.1.3	Production de l'acétylène.....	47
3.1.4	Procédé de fabrication de l'acétylène .....	48
3.1.5	Utilisation de l'acétylène .....	48
3.2	Description du système étudié.....	49
3.2.1	Chargement des fûts de carbure de calcium dans le réacteur .....	49
3.2.2	générateur d'acétylène .....	50
3.2.3	Dispositifs de purification et de séchage.....	52
3.2.4	compresseur.....	52
3.2.5	Déshuileur .....	52
3.2.6	Sécheur haute pression .....	53
3.2.7	Rampes de conditionnements.....	53
3.2.8	Contrôle et conditionnement des bouteilles à l'acétone .....	54
3.2.9	Stockage en bouteilles.....	55
3.2.10	Entretien des bouteilles .....	55
3.3	Analyse fonctionnelle.....	55
<b>Chapitre 4 : Application des méthodes d'analyse des risques .....</b>		<b>58</b>
4.1	Analyse de préliminaire des risques (APR) .....	58
4.2	Détermination des événements initiateurs et des causes.....	63
4.3	Détermination des événements redoutés centraux.....	64

4.4	Hazard operability analysis (HAZOP) .....	64
4.5	Arbre de défaillances .....	67
4.6	Arbre d'évènements .....	74
4.7	Méthode nœud papillon .....	78
4.8	Simulation des effets d'incendie et d'explosion .....	83
4.8.1	Critères retenus pour la détermination des zones de dangers .....	83
4.8.2	VCE suite à la fuite d'acétylène sur unité de production .....	84
4.8.3	VCE suite à la fuite sur bouteilles d'acétylène .....	86
4.8.4	Feu de torche .....	88
4.8.5	Explosion gazomètre .....	90
	<b>Chapitre 5 : Moyens de réduction des risques</b> .....	93
5.1	Systèmes instrumentés de sécurité (SIS) .....	93
5.2	Proposition d'un système d'arrêt d'urgence accompagnier d'un système de pulvérisation d'eau aservé .....	94
5.2.1	Définition de circuit IGA manuel existant .....	94
5.2.2	Shématisation de SIS .....	100
5.2.3	Impact de la mise en place de SIS .....	102
	<b>Conclusion</b> .....	104
	<b>Références bibliographiques</b> .....	106
	<b>ANNEXES</b> .....	107
	Annexe 1 : Diagramme SADT .....	103
	Annexe 2 : Tableau APR .....	111
	Annexe 3 : Identification des nœuds choisis pour la HAZOP .....	116
	Annexe 4 : Tableau HAZOP .....	118

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1-1</b> : Les Image satellitaire de l'entreprise .....	19
<b>Figure 1-2</b> : Rubrique de la nomonclateur de classement des installations classe .....	19
<b>Figure 1-3</b> : Démarche de résolution.....	24
<b>Figure 2-1</b> : Modèle Standard du risque.....	27
<b>Figure 2-2</b> : Processus de management des risques selon l'ISO 31000 .....	28
<b>Figure 2-3</b> : Exemple d'une grille de criticité.....	29
<b>Figure 2-4</b> : Méthode de construction de l'arbre.....	41
<b>Figure 2-5</b> : Exemple d'arbre d'évènements pour le scénario évitement d'obstacles sur l'autoroute. ....	42
<b>Figure 2-6</b> : Représentation de scénario d'accident selon le modèle du nœud papillon .....	42
<b>Figure 3-1</b> : Solubilité de l'acétylène dans l'eau a pression normale et temperateur croissante.....	46
<b>Figure 3-2</b> : Capacite d'adsorption de l'acetone et augmentation devolume de la solution En fonction de la temprateur à 1 atm .....	47
<b>Figure 3-3</b> : Schéma de principe de l'unité de production de l'acétylène .....	49
<b>Figure 3-4</b> : Benne de chargement de carbure de calcium.....	49
<b>Figure 3-5</b> : Genrateur d'acetylène .....	50
<b>Figure 3-6</b> : Genrateur d'acetylène avec son dispositif de sécurité .....	51
<b>Figure 3-7</b> : Epurateur-compresseur-secheur-déshuileur d'acétylène .....	53
<b>Figure 3-8</b> : Rampe de conditionnement d'acétylène .....	54
<b>Figure 3-9</b> : Modèle du diagramme SADT (boite mère) .....	55
<b>Figure 3-10</b> : Diagramme SADT plus détaillé.....	56
<b>Figure 4-1</b> : Répartition des niveaux de risque selon le type.....	60
<b>Figure 4-2</b> : Répartition des niveaux de risque selon le type avec barrières de sécurité.....	62
<b>Figure 4-3</b> : Proportions des différents niveaux de dérives .....	66
<b>Figure 4-4</b> : Proportions des différents niveaux de dérives dans chaque nœud étudié .....	66
<b>Figure 4-5</b> : Interface du logiciel arbre analyste .....	67
<b>Figure 4-6</b> : Add1 .....	68
<b>Figure 4-7</b> : Pourcentage de la contribution des événements de base a la survenance d'ER1.....	68
<b>Figure 4-8</b> : Add 2 .....	69

<b>Figure 4-9</b> : Pourcentage de la contribution des événements de base a la survenance d'ER2.....	69
<b>Figure 4-10</b> : AdD 3 .....	70
<b>Figure 4-11</b> : Pourcentage de la contribution des événements de base a la survenance d'ER3.....	70
<b>Figure 4-12</b> : AdD 4 .....	71
<b>Figure 4-13</b> : Pourcentage de la contribution des événements de base a la survenance d'ER4.....	71
<b>Figure 4-14</b> : AdE de la fuite de C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> sur reseau HP sans calcul de probabilite .....	75
<b>Figure 4-15</b> : AdE de la fuite de C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> sur reseau HP .....	76
<b>Figure 4-16</b> : AdE de la fuite sur bouteille de C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> .....	76
<b>Figure 4-17</b> : Nœud papillon de l'ERC fuite de C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> sur reseau HP .....	79
<b>Figure 4-18</b> : Nœud papillon de l'ERC perte d'integrite physique de bouteille d'acétylène au remplissage.....	80
<b>Figure 4-19</b> : Nœud papillon de l'ERC fuite sur bouteille de C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> .....	81
<b>Figure 4-20</b> : Nœud papillon de l'ERC perte d'integrite physique de gazometre .....	82
<b>Figure 4-21</b> : La disperssion de nuage .....	84
<b>Figure 4-22</b> : Distance des effets de la surpression.....	85
<b>Figure 4-23</b> : Présentation des rayons de surpression critique sur la carte géographique .....	85
<b>Figure 4-24</b> : Distance des effets de la surpression.....	87
<b>Figure 4-25</b> : Présentation des rayons de surpression critique sur la carte géographique .....	87
<b>Figure 4-26</b> : Distance des effets de flux thermiques .....	88
<b>Figure 4-27</b> : Distance des effets thermiques.....	88
<b>Figure 4-28</b> : Distance des effets thermique .....	89
<b>Figure 4-29</b> : Présentation des rayons thermiques sur la carte géographique. ....	89
<b>Figure 4-30</b> : Distance des effets de la surpression.....	90
<b>Figure 4-31</b> : Présentation des rayons de surpression critique sur la carte géographique .....	90
<b>Figure 5-1</b> : Exemple de graphe SIS .....	93
<b>Figure 5-2</b> : Schéma sécurité incendie IGA .....	95
<b>Figure 5-3</b> : Exemple de graphe des risques .....	97
<b>Figure 5-4</b> : Niveau d'intégrité de sécurité (SIL) pour SIS .....	98
<b>Figure 5-5</b> : Schéma de SIS proposé.....	98

*Liste des figures*

---

<b>Figure 5-6</b> : Architecture de SIS proposé.....	99
<b>Figure 5-7</b> : Rapport de calcul de SIS .....	100
<b>Figure 5-8</b> : Impact de la mise en place de SIS.....	101

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1-1</b> : Les accidents liés à la fabrication d'acétylène .....	16
<b>Tableau 1-2</b> : Fréquences des causes ayant conduit à un accident de d'acétylène.....	17
<b>Tableau 1-3</b> : Classement des consquences de phénomènes dangereux .....	18
<b>Tableau 2-1</b> : Etendue des dommages pour la vie humaine en fonction des valeurs de surpression .....	32
<b>Tableau 2-2</b> : Etendue des dommages pour les structures en fonction des valeurs de surpression .....	32
<b>Tableau 2-3</b> : Finalité et Typologie de quelques méthodes d'analyse des risques .....	35
<b>Tableau 2-4</b> : Tableau type du déploiement de l'APR .....	38
<b>Tableau 2-5</b> : Exemple de tableau HAZOP .....	39
<b>Tableau 2-6</b> : Syntaxe de l'arbre de défaillance .....	40
<b>Tableau 2-7</b> : Exemple de tableau définissant les fonctions de sécurité .....	41
<b>Tableau 2-8</b> : Définition des abréviations.....	43
<b>Tableau 4-1</b> : Grille de criticité.....	59
<b>Tableau 4-2</b> : Positionnement des sous systèmes dans la grille .....	60
<b>Tableau 4-3</b> : Nombre d'ER selon le type de risque.....	60
<b>Tableau 4-4</b> : Positionnement des sous systèmes dans la grille avec barrière de sécurité.....	61
<b>Tableau 4-5</b> : Nombre d'ER selon le type de risque avec barrière de sécurité .....	62
<b>Tableau 4-6</b> : les causes et les événements initiateur de l'événement redouté .....	63
<b>Tableau 4-7</b> : Classification des niveaux des dérives .....	65
<b>Tableau 4-8</b> : Probabilités des événements de base pour l'ERC1 .....	72
<b>Tableau 4-9</b> : Probabilités des événements de base pour l'ERC2 .....	72
<b>Tableau 4-10</b> : Probabilités des événements de base pour l'ERC3 .....	73
<b>Tableau 4-11</b> : Probabilités des événements de base pour L'ERC4.....	73
<b>Tableau 4-12</b> : Fréquences de défaillance des équipements de sécurité.....	74
<b>Tableau 4-13</b> : Probabilités ignition instantané .....	74
<b>Tableau 4-14</b> : Probabilités ignition retardée.....	75
<b>Tableau 4-15</b> : Identification des barrières de défenses .....	78
<b>Tableau 4-16</b> : Seuil des effets thermiques .....	83
<b>Tableau 4-17</b> : Seuils des effets de surpression .....	83

<b>Tableau 4-18</b> : Valeurs de surpression en fonction des distances .....	85
<b>Tableau 4-19</b> : Caractristiques des scenarios .....	86
<b>Tableau 4-20</b> : Surpression en fonction de la distance .....	87
<b>Tableau 4-21</b> : Le flux thermique en fonction de la distance .....	88
<b>Tableau 4-22</b> : Le flux thermique en fonction de la distance .....	89
<b>Tableau 4-23</b> : Surpression en fonction de la distance .....	90
<b>Tableau 5-1</b> : SIL pour mode de fonctionnement à faible demande .....	94
<b>Tableau 5-2</b> : Niveau de facture.....	96

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS**

-	ARIA	Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
-	EDD	Etude de dangers
-	SADT	Structures Analysis Design Technique
-	APR	Analyse préliminaire des risques
-	HAZOP	Hazard Operability
-	AdD	Arbres dedéfaillances
-	PHAST	Process Hazard Analysis Software Tool
-	ISO	International Organization for Standardization
-	REX	Retourd'expérience
-	SIS	Système instrumenté de sécurité
-	SIL	Safety integrity level
-	LII/E	Limite inferieure d'inflammabilité/d'explosivité
-	LSI/E	Limite supérieure d'inflammabilité/d'explosivité
-	TNT	Tri Nitro Toluène
-	AdE	Arbre d'évènements
-	VCE	Vapor Cloud Explosion
-	P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
-	Ein	Évènement Indésirable
-	EC	Évènement Courant
-	EI	Évènement Initiateur
-	ERC	Évènement Redouté Centrale
-	ERS	Évènement Redouté Secondaire
-	PhD	Phénomène Dangereux
-	EM	Effet Majeur
-	SPA	Société paractions
-	ATEX	Atmosphere Explosive
-	OREDA	Offshore and Onshore Reliability Data
-	SIF	Safety Instrumented Function
-	PFD <sub>avg</sub>	Probability of Failure on Demandaverage
-	CEI	Commission Electrotechnique Internationale
-	PLC	Programmable Logic controller
-	INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
-	EHS	Environnement Heath and Safety
-	ER	Evènement Redouté

### Introduction

L'activité de production des Gaz Industriels fut introduite en Algérie depuis la période coloniale à travers Air Liquide, en 1972 l'État Algérien procède à la nationalisation de la société et l'intègre à la Société Nationale de Sidérurgie. En 1983, la restructuration de la SNS (Société nationale de sidérurgie), donna naissance à L'ENGI (Entreprise National de Gaz Industriels) puis rachaté par Linde Gas en 2007.

Les installations de fabrication d'acétylène sont des installations à haut risque, l'acétylène de formule brute  $C_2H_2$ , est le premier terme des alcynes ou hydrocarbures acétyléniques de formule générale  $C_n H_{2n-2}$ . Ces derniers sont caractérisés par la présence d'une triple liaison (C-C) dans leur molécule. L'acétylène présente une très grande réactivité. À côté du rôle important qu'il joue comme combustible dans le chalumeau oxyacétylénique, son utilisation, en tant que matière première, dans un certain nombre de synthèses industrielles.

En Algérie, La loi n° 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable a comme objectif d'édicter les règles de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. Elle vient renforcer la notion de prévention des accidents impliquant des substances dangereuses en imposant notamment à l'exploitant, la mise en oeuvre d'un système de maîtrise, de gestion des risques et d'une organisation proportionnées aux risques inhérents aux installations industrielles.

Donc sécuriser ce type d'installation est un enjeu majeur ; d'où l'indispensabilité d'une maîtrise et d'une bonne gestion des risques.

Pour mener une meilleure gestion des risques, plusieurs outils et méthodes systématiques peuvent être appliquées et qui permettent d'identifier, d'analyser et d'évaluer ces derniers présents sur les différents systèmes de l'installation en question. Cela en vue de mettre en place des barrières de défense performantes tant que techniques qu'organisationnelles dans le but de réduire la criticité de ces risques.

Linde gaz, une compagnie de dimension internationale et de renommé mondiale, est reconnue par un engagement volontariste en sécurité qui se concrétise par une politique dont les lignes directrices constituent le guide et une norme en la matière.

La finalité de ce projet est d'analyser la performance sur le plan sécurité de l'installation d'acétylène au niveau de l'unité fabrication et de conditionnement de gaz industriels détenu par (LIND GAZ ALGERIE). Ceci, par l'application des méthodes qui nous ont été enseignées. Nous pourrons alors proposer des solutions techniques afin de maîtriser le risque majeur d'explosion du gaz d'acetyléne et donc contribuer étroitement à la mise à jour de la lettre de recommandations techniques (*Technical Information Letter*) spécifique à ce système.

Pour une bonne conduite du projet, notre travail est structuré de la manière suivante :

-Nous présentons dans un premier chapitre le contexte de notre projet, l'unité de linde gaz algérie, la problématique ainsi que la méthode de sa résolution.

-Dans un deuxième chapitre intitulé « concepts du risque et outils d'analyses », nous traitons la notion du risque, du danger et de la sécurité ainsi que leurs concepts de base. Nous traitons également la démarche générique de gestion des risques ainsi qu'un aperçu sur le phénomène de l'explosion. Dans le même chapitre, nous abordons en détail les méthodes et outils d'analyse des risques. En effet, nous citons leurs critères de classification, leurs principes, leurs domaines d'application ainsi que les démarches de leurs mises en œuvre.

-Nous entamons ensuite dans un troisième chapitre une description de l'installation de fabrication et de conditionnement d'acétylène d'oued el berdi ainsi qu'une étude complète du système qui fait l'objet de notre travail.

-Le chapitre quatre sera consacré à la présentation des résultats du processus d'application des méthodes d'analyse des risques. Il sera dédié également à la simulation des effets des phénomènes dangereux.

-Dans le dernier chapitre (chapitre 5), nous allons proposer des mesures d'ordre technique pour la réduction des risques dans le but d'éviter la concrétisation des phénomènes dangereux, notamment l'explosion, et leurs effets au niveau de l'atelier conditionnement d'acétylène.

*Chapitre 1*

---

**CONTEXTE, PROBLÉMATIQUE ET  
MÉTHODOLOGIE**

---

Chapitre 1

---

# CONTEXTE, PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE

---

Ce chapitre est consacré à la présentation du contexte général de notre étude, dans le but de fixer la problématique et présenter la démarche de sa résolution.

## 1.1 Contexte général

A partir de la base de données ARIA une recherche a été menée concernant les accidents liés au Fabrication d'acétylène sur une période de 40 ans, il est considéré qu'au-delà de cette période, les évolutions techniques survenues en matière de conception et de maîtrise des risques sont suffisamment importantes pour que les accidents recensés ne puissent être transposables aux équipements actuels.

Voici le résultat de la recherche :

Tableau 1.1 : les accidents liés au Fabrication d'acétylène [15]

Partie de l'installation étudiée	Mots clés utilisés pour la recherche d'accidents	Période prise en compte	Nombre d'accidents recensés	Mots clés utilisés pour affiner	Nombre d'accidents recensés
Fabrication d'acétylène	acétylène	01/1973 au 06/2013	298	générateur d'acétylène fabrication d'acétylène production d'acétylène Carbure de calcium	51

Parmi ces accidents sont comptabilisés des accidents tel que des accidents de la route impliquant des véhicules transportant des bouteilles d'acétylène, accidents domestiques liés à l'utilisation de petites bouteilles de gaz, déchargement de produits vrac, etc., ainsi que des accidents pour lesquels l'acétylène n'interfère ni dans les causes ni dans les conséquences.

Ainsi, afin de mieux cerner l'accidentologie, les accidents n'ayant aucun lien avec l'utilisation, la fabrication ou le stockage d'acétylène ont été écartés de l'inventaire. Cet inventaire "épuré" est constitué de 51 références

### 1.1.1 Analyse des causes

Les principales causes entraînant une fuite ou une déflagration de l'acétylène gazeux sont les suivantes :

Une forte source de chaleur (incendie)

Une fuite au niveau du réservoir (bouteille) d'acétylène

La perte d'étanchéité au niveau d'une jonction (soudure, raccord flexible, bride, vanne, manomètre, etc...)

D'autres événements sont également cités fréquemment :

La réalisation de travaux par points chauds,

Le non-respect d'une procédure ou la mauvaise manipulation d'un opérateur,

La surchauffe du générateur d'acétylène,

Une défaillance d'un équipement,

Défaut de montage ou mauvais serrage du raccord.

Et dans une moindre mesure :

Dégazage du lait de chaux,

Infiltration pluie dans entrepôt de stockage de carbure.

Le tableau suivant synthétise les causes ayant conduit à un accident mettant en jeu de l'acétylène.

Tableau 1.2 : fréquences des causes ayant conduit à un accident de l'acétylène [15].

Analyse d'un échantillon de 51 accidents impliquant de l'acétylène – Base ARIA				
Analyse des causes	Fréquence d'apparition des événements			
	>20	>=5	>=2	1
Listes des causes identifiées				
Inconnue		X		
Perte d'étanchéité au niveau d'une jonction (soudure, bride, vanne,...)		X		
Source de forte chaleur (incendie)	X			
Formation de glace à la surface du lait de chaux				X
Non-respect d'une procédure ou mauvaise manipulation d'un opérateur			X	
Défaut d'étanchéité du réservoir (bouteille) d'acétylène		X		
Défaillance équipement (vanne)			X	
Défaut de montage ou mauvais serrage du raccord			X	
Travaux par point chaud			X	
Surchauffe du générateur d'acétylène			X	
Infiltration pluie dans entrepôt de stockage de carbure				X

## 1.1.2 Analyse des conséquences

Le tableau ci-après classe par ordre de priorité les conséquences des phénomènes dangereux recensés en fonction du type d'installation.

Tableau 1.3 : classement des conséquences des phénomènes dangereux [15].

Analyse des conséquences	Classement en fonction du type d'installation				
	Pourcentage	Générateur d'acétylène	Stockage carbure	Réservoirs	Raccord et Canalisations
Augmentation de la température puis explosion interne	55,5 %	-	-	30	-
Emission d'un nuage puis explosion	18,5 %	3	2	4	1
Emission d'un nuage puis inflammation	13 %	2	-	2	3
Fuite enflammée	9 %	-	-	4	1
Fuite de gaz non enflammée	4 %	-	-	-	2

Nous pouvons déduire alors que l'explosion d'acétylène est un accident d'une fréquence importante. C'est considéré comme un risque majeur dont les conséquences sont graves et dramatiques ; l'ampleur des pertes est extrêmement importante, qu'ils s'agissent de dégâts matériels ou des pertes humaines, sans oublier les fortes répercussions sur l'économie de l'entreprise. Il est crucial alors de mener des actions de maîtrise de ce risque. C'est ce qui fera l'objet de notre travail au sein de l'installation d'acétylène de oued el berdi (linde gaz).

## 1.2 Présentation de l'unité

Linde Gaz Algérie est leader de production des gaz industriels en Algérie, elle possède des capacités de production et une expérience depuis plusieurs années dans la production et le développement de différents gaz industriels tels que l'oxygène, l'argon, l'azote, le CO<sub>2</sub>, le protoxyde d'azote, le fréon et l'acétylène

Le complexe Linde Gaz Algérie de Bouira emploie 59 personnes,

### 1.2.1 Localisation de l'entreprise

L'Unité est située dans une zone industrielle mitoyenne à une zone à vocation agricole peu urbanisée. Le chef lieu de la wilaya est à plus de 20 kilomètres. L'Unité est implantée en bordure de la route de wilaya reliant les villes de Bouira et de Sour El Ghzlane en passant par l'agglomération d'Oued El Berdi L'Unité est. Délimitée:

- au Nord par un terrain agricole
- à l'Est par les ex-unités SNS, SAPTA, SNTV, EPTVC et le détachement ANP
- au Sud par la tannerie privée
- à l'Ouest par des constructions abandonnées



Figure 1.1 : Image satellitaire de l'entreprise.

### 1.2.2 Rubriques concernées de la nomenclature de classement des installations classe

1515	Acétylène (fabrication de l') par l'action de l'eau sur le carbure de calcium					
	1. Pour l'obtention d'acétylène dissous, la quantité susceptible d'être présente dans l'installation étant :					
	a) Supérieure ou égale à 50 t	AM	2	x	x	
	b) Inférieure à 50 t	AW	2	x	x	
	2. Pour l'obtention d'acétylène gazeux sous une pression absolue supérieure à $2,5 \cdot 10^5$ Pa	AW	1	x	x	
	3. Pour l'obtention d'acétylène gazeux sous une pression inférieure ou égale à $2,5 \cdot 10^5$ Pa :					
	a) Lorsque le volume de gaz emmagasiné (calculé à la température de $15^\circ\text{C}$ et à la pression de $10^5$ Pa) est supérieur à 1 200 l	AW	1	x	x	

Figure 1.2 : Rubriques du nomenclature de classements des installations.

### 1.2.3 Les activités de l'unité :

- La fabrication et le conditionnement du dioxyde de carbone ;
- La fabrication et le conditionnement de l'acétylène ;
- Le stockage et le conditionnement de l'oxygène ;
- Le stockage et le conditionnement de l'azote ;
- Le stockage et le conditionnement de l'argon.

### 1.2.4 Les installations et les équipements auxiliaires de l'unité :

Il s'agit essentiellement d'équipements destinés au stockage

- 01 réservoir de stockage de gaz propane liquéfié (capacité 50.000 litres).
- 01 réservoir de stockage de CO<sub>2</sub> vrac (capacité 23 tonnes).
- 02 réservoirs de stockage de CO<sub>2</sub> vrac (capacité 30 tonnes chacun).
- 01 réservoir de stockage de CO<sub>2</sub> vrac (capacité 100 tonnes).
- 01 réservoir de stockage d'oxygène liquide (capacité 50.000 litres).
- 01 réservoir de stockage d'azote liquide (capacité 10.000 litres).
- 01 réservoir de stockage d'argon (capacité 10.000 litres).
- 01 réservoir de stockage de protoxyde d'azote (capacité 6.000 kg).
- 01 citerne mobile de CO<sub>2</sub> vrac (capacité 16 tonnes).
- 01 camion-citerne de CO<sub>2</sub> (capacité 16 tonnes).
- 02 unités mobiles de conditionnement d'O<sub>2</sub> gazeux (capacité de 6000 kg).
- 01 camion-citerne d'O<sub>2</sub> (capacité de 18 000 litres).
- 01 camion-citerne d'O<sub>2</sub> (capacité de 10 000 litres).
- une cuve d'une capacité de 5000 litres d'acétone.

Les réservoirs et /ou citernes sont étudiés pour le transport, ils font l'objet d'un suivi et sont conformes à la réglementation en vigueur.

Le stockage de l'eau se fait dans une bâche d'une capacité de 250 m<sup>3</sup> pour l'eau incendie et 100 m<sup>3</sup> pour l'eau industrielle.

### **1.2.5 Les bâtiments magasins :**

Il s'agit des bâtiments, surfaces couvertes et de dépôts protégés :

- 01 magasin de pièces de rechange et de matériel de revente, surface couverte 500 m<sup>2</sup>
- 01 hangar de stockage de carbure de calcium, surface couverte 300 m<sup>2</sup>.
- 01 annexe du magasin des matières première de l'atelier de fabrication de CO<sub>2</sub> en vrac, surface couverte 100 m<sup>2</sup>.
- 01 annexe du magasin pour le matériel de soudure destinée à la revente.
- 02 containers pour le stockage des fûts de gas-oil et de lubrifiants.
- L'Administration et la facturation, l'atelier de maintenance.
- Le poste de transformation SONELGAZ.
- La sous-station Électriques.
- La station de pompage.
- Le poste de Contrôle.

### **1.2.6 Reseaux (Gaz Electricite, Air Comprime Et Reseau D'eau Incendie):**

- L'unité de Bouira est alimentée en gaz naturel moyenne pression qui est utilisé pour la ligne de production de CO<sub>2</sub> et l'atelier de traitement de bouteilles L'utilisation du fuel est utilisée pour le fonctionnement des groupes électrogènes.
- L'usine dispose d'un poste de transformation électrique de 800 KVA et d'un groupe électrogène développant une puissance de 320 KVA. Elle est alimentée par une ligne de 30 KV. Cette énergie permet le fonctionnement l'éclairage des locaux et de voirie, Du fonctionnement des lignes de fabrication et la Marche des utilités Du fonctionnement des pompes et compresseurs De la climatisation.
- Pour les besoins des équipements pneumatiques le complexe Linde Gas Bouira dispose de compresseur fonctionnant par alternance automatique.
- Le complexe Linde Gas Algérie de Bouira dispose d'un réseau d'eau anti incendie bouclé.
- composé d'une bâche d'une capacité de 250 m<sup>3</sup> pour l'eau incendie et 100 m<sup>3</sup> pour l'eau industrielle.

## 1.3 Problématique

Après avoir examiné le document portant Étude de danger (EDD) d'Unité LIND GAS ALGERIE BOUIRA, établi par le bureau d'étude CEGEP « centre d'étude et de gestion des projets », nous avons pu localiser le système critique qui est l'unité de fabrication et de conditionnement de l'acétylène sur lesquels notre projet de fin d'étude va se porter En raison des critères suivants :

L'établissement est classé selon l'activité de production d'acétylène (capacité de production de 100m<sup>3</sup>/heure)

La particularité de gaz d'acétylène classé hautement réactifs par rapport son Probabilités d'inflammation

Les produits qui rentrent dans la fabrication et le conditionnement de l'acétylène (carbure de calcium, acétone)

La complexité de systèmes de fabrication et de conditionnement d'acétylène Équipement sous pression (rampe de conditionnement..).

Selon l'EDD deux grands risques sont présents dans l'installation (Incendie et Explosion) qui trouvent leurs sources dans :

### ✓ Risque d'incendie

- Générateur d'acétylène
- Conduite gaz d'acétylène
- Cuve acétone

### ✓ Risque d'explosion

- Gazomètre
- Compresseur d'acétylène HP (25 bars)
- Conduite d'acétylène
- Les bouteilles

On exploité cette étude nous a avons soulève les insuffisante suivante par rapportaux besoins EDD:

- Cette étude de danger, a été élaborée avant l'apparition de décret exécutif n°06-198 du 31 mai 2006 et l'arrêté Arrêté interministériel du 14 septembre 2014 fixant les modalités d'examen et d'approbation des études de danger.
- L'analyse se limite à utilisation d'une méthode d'analyse des risques qualitative seulement ;
- L'absence de références pour les grilles de criticité utilisées.

Chose que nous à motive à réalise ce projet et à refaire l'analyser des risques de l'installation d'acétylène au niveau de l'unité de fabrication et de conditionnement des gaz industriels détenu par (LIND GAZ ALGERIE). Ceci, par l'application des méthodes qui nous ont été enseignées. Pour proposer des solutions techniques afin de maîtriser le risque majeur d'explosion d'acétylène et donc contribuer étroitement à la mise à jour de la lettre de recommandations techniques (*Technical Information Letter*) spécifique à ce système.

ou nous pouvons déduire que le premier événement redouté pris en considération lors de l'élaboration des scénarios d'accidents majeurs est **la perte de confinement** d'une substance inflammable, ce qui peut conduire à des événements tels des feux de torches ou des explosions dans des milieux confinés. Le second événement redouté est **l'ignition accidentelle** de vapeur ou de gaz dans un équipement.

Une évaluation quantitative faite dans l'étude a permis d'hierarchiser les risques liés à divers scénarios d'accidents et de les comparer à des niveaux d'acceptabilité à l'aide d'une grille de criticité.

En tenant compte uniquement de la gravité, l'analyse a indiqué que les scénarios d'accidents liés à l'acétylène **les plus graves** sont :

- Explosion de gazomètre d'acétylène ;
- Fuite de gaz d'acétylène suivie d'un feu de torche, ou d'une explosion dans un milieu partiellement confiné ou congestionné.

Il ressort également de l'analyse que les scénarios ayant les probabilités d'occurrence les plus élevées sont :

- Fuite d'acétylène sur le réseau HP de l'atelier de conditionnement, suivie d'une explosion ;
- Fuite d'acétylène sur les bouteilles dans l'atelier de conditionnement ou dans le stock, suivie d'une explosion.

À partir de cela, nous déduisons que le risque d'explosion le plus critique est lié au gaz d'acétylène à travers sa présence répartie sur l'ensemble de l'installation. C'est la raison pour laquelle notre choix pour le projet s'est porté sur cette matière dangereuse.

Il est à préciser que pour la sécurité, le contrôle de pression et de température du gaz combustible est d'une importance capitale. En effet, pendant le cheminement du gaz à travers tous les éléments du système, la pression de ce dernier doit être limitée en dessous de la pression de liquéfaction de gaz en fonction de la température avant de l'envoyer à la rampe de remplissage. Faute de quoi il y a risque de variation de ces paramètres dont la surpression et l'augmentation de température peut engendrer une fuite pouvant aller jusqu'à la rupture des pipes, cela peut être suivie d'une explosion avec effet domino sur les autres éléments vu leurs proximités les uns et les autres, et les conséquences peuvent être désastreuses.

Les questions qui découlent alors de cette problématique sont :

- Par quels moyens la pression et la température du gaz d'acétylène sont-elles maintenues sous le contrôle ?
- Quels sont les défaillances qui peuvent entraîner la fuite d'acétylène ?
- Est-ce que la fuite peut être considérée comme un événement redouté central et quels sont les scénarios possibles pour en aboutir ?
- Quels sont les dispositifs de sécurité mis en place ? Sont-ils suffisants ?
- Quels sont les différents phénomènes dangereux et l'étendue de leurs effets que nous pouvons avoir en cas de perte de confinement ?
- Quels sont alors les différentes méthodes d'analyse des risques qui seront capables de répondre à toutes nos questions ?

### 1.4 Méthodologie

Dans le but de répondre à la problématique posée, nous avons choisi d'adopter la démarche de résolution suivante :

**-Étape 1 : Description de l'installation de production et de conditionnement d'acétylène.**

Nous allons tout d'abord faire une étude complète du système afin de bien comprendre sa composition et son fonctionnement ; cette étape comprend :

- Généralités sur l'acétylène ;
- Une description détaillée des composants de l'installation de production et de conditionnement d'acétylène ;
- Une analyse fonctionnelle qui consiste en une décomposition de l'installation en différents systèmes et sous-systèmes avec tous leurs équipements, ainsi que les éléments d'entrée et de sortie. Ensuite, pour une compréhension complète, nous continuerons notre analyse par l'application d'une démarche hiérarchique appelée méthode SADT « Structured analysis Design Technique ».

### **-Étape 2 : évaluation des risques.**

Cette étape constitue le cœur de notre travail. Elle comprend l'application des différentes méthodes d'analyse des risques dans le but d'extraire tous les scénarios possibles qui conduisent aux accidents majeurs ainsi de calculer les probabilités d'occurrences .

L'utilisation de ces méthodes est conditionnée par une présence accrue sur le terrain et le sens de l'observation des détails.

Pour atteindre cet objectif nous allons appliquer les méthodes suivantes :

- Analyse préliminaire des risques (APR) :L'APR est avant tout une démarche structurée et organisée de façon à permettre d'apprécier à priori les risques présents sur un site. Cette méthode est largement utilisée et connue pour sa capacité à s'adapter à tous types d'installations ;
- Hazard Operability (HAZOP) : Extraction des événements (conséquences) engendrés par les dérives des paramètres liés à l'exploitation de l'installation étudiée ;
- Arbre de défaillances (AdD) : Détermination des combinaisons des causes qui provoquent la survenance d'un évènement redouté et calcul de la probabilité d'occurrence ;
- Arbre des évènements (AdE) : visualisation de la succession d'évènements redoutés secondaires provoqués par un évènement redouté central et calculer ensuite leurs probabilités d'occurrence ;
- Nœud Papillon : Schématisations des scénarios d'accidents depuis les évènements basiques jusqu'aux phénomènes dangereux et aux effets majeurs.

### **-Étape 3 : Simulation des effets des phénomènes dangereux.**

Nous allons simuler les phénomènes dangereux dans le but d'estimer l'étendue de leurs effets tant sur les équipements que sur la population, à l'aide du logiciel PHAST.

### **-Étape 4 : Réduction des risques : Proposition des mesures techniques.**

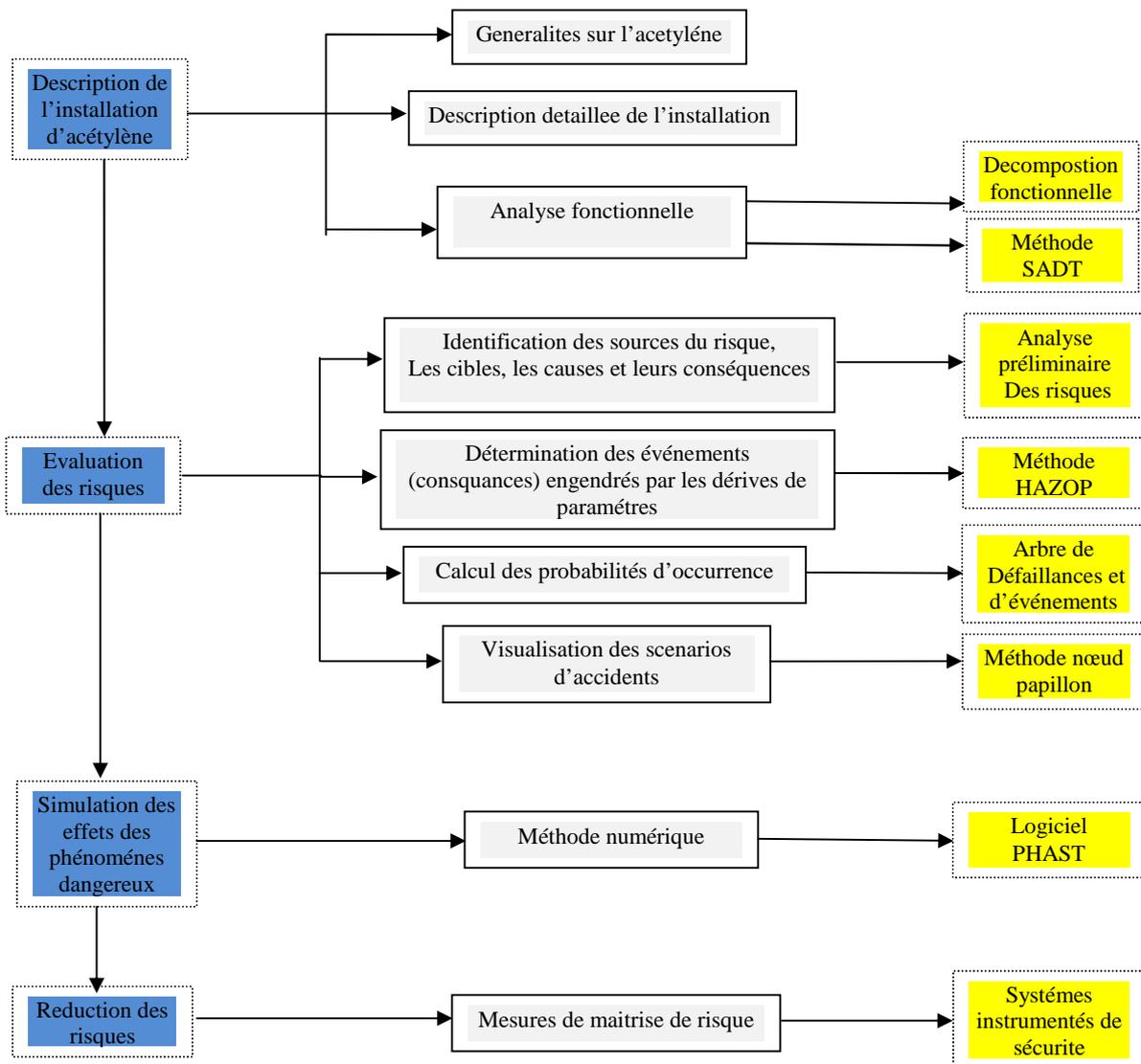


Figure 1-3 : Démarche de résolution.

*Chapitre 2*

---

**CONCEPTS DU RISQUE ET OUTILS  
D'ANALYSE**

---

## Chapitre 2

---

# CONCEPTS DU RISQUE ET OUTILS D'ANALYSE

---

Toute activité humaine comporte une part de risque et d'incertitude. La sécurité est parmi les problèmes épineux aux quels les pays industrialisés font face. Cela, en raison de la mise en œuvre des systèmes de production complexes, des modes opératoires et des substances toxiques, inflammables et explosives qui sont souvent une source de danger et un potentiel à risques qui peuvent se traduire en catastrophes si leur gestion ne fait pas partie des préoccupations des entreprises. Des catastrophes qui engendrent des pertes humaines, matérielles et financières qui coûtent à l'entité sa réputation et sa confiance auprès de ses clients et de ses riverains.

Le management des risques a pour objectif principal d'avoir de bons résultats en matière de sécurité et de refléter la qualité de l'organisation de l'entreprise. Cela ne peut être que le fruit d'un engagement volontaire qui vise à maîtriser l'ensemble des risques.

Pour une meilleure vulgarisation du contexte de management des risques, nous allons présenter dans ce chapitre d'abord les concepts de base liés au risque et au danger, ensuite nous expliquerons la démarche générique de la gestion des risques tout en étant encadrés par la norme ISO 31000 : 2009 (Principes et lignes directrices du management des risques). Ensuite, nous aborderons la notion et les concepts de la sécurité, nous finirons notre chapitre par une description du phénomène d'explosion et une présentation des outils d'analyse des risques.

## 2.1 Généralités sur les risques

### 2.1.1 Définition et classification

Le risque peut prendre plusieurs définitions et sa notion peut être considérée différemment selon les cas.

Selon le dictionnaire Larousse : « Possibilité, probabilité d'un fait, d'un événement considéré comme un mal ou un dommage. Danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé ». **Bernard BARTHÉLÉMY** et **Jacques QUIBEL** définissent le risque comme suit : « Un risque est un événement dont l'occurrence est incertaine et dont la réalisation affecte les objectifs de l'entreprise qui le subit. Certains risques peuvent avoir des effets positifs, ce sont ceux que l'entreprise recherche. D'autres risques ont certainement des effets négatifs, ce sont ceux que l'entreprise craints » [16].

Cependant, il existe une autre définition plus pertinente. Le risque est la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une **exposition** à un **danger**. C'est la composante de deux paramètres : la « **gravité** » et la « **probabilité** ». Plus la gravité et la probabilité d'un événement sont élevées, plus le risque n'est important. [17].

A partir de cela, Nous déduisons que le risque est la combinaison de deux paramètres, la probabilité et la gravité, et pour qu'il y ait un risque il est impératif d'avoir un danger (*une propriété intrinsèque d'une substance, d'un équipement, d'une situation ou d'un système à causer des dommages aux personnes, aux biens ou à l'environnement* [18]) et une cible ou un élément vulnérable exposé à ce danger. Une situation qui se caractérise par la présence simultanée d'un danger et d'une cible est considérée comme une situation dangereuse et dans laquelle un événement redouté menace de se produire et de causer des dommages conséquents.

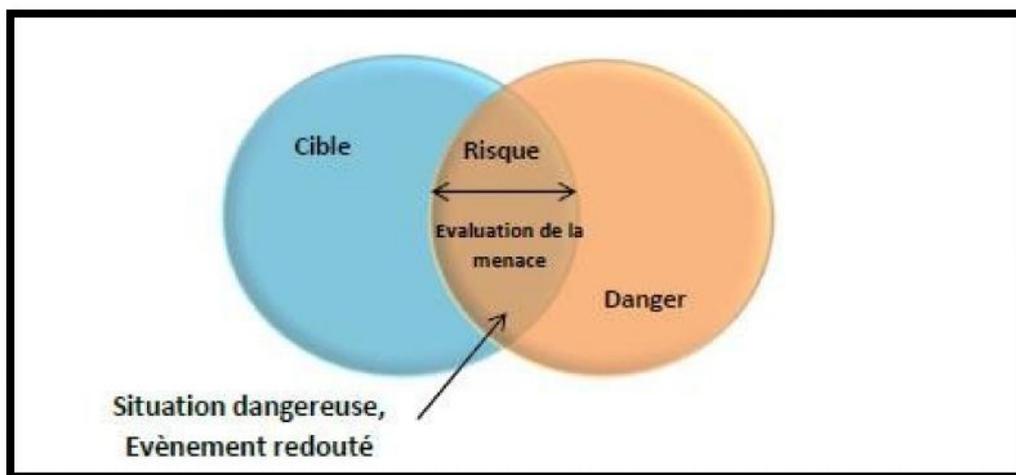


Figure 2-1 : Modèle Standard du Risque.

Les risques liés à l'activité humaine, plus précisément dans le domaine de l'industrie, peuvent se diviser en deux principales catégories :

#### ❖ Les Risques professionnels

Ils se définissent comme étant l'ensemble des risques auxquels des employés sont exposés dans le cadre de l'exercice de leurs fonctions. Ces risques peuvent se transformer en accidents de travail ou en maladies professionnelles, c'est la raison pour laquelle cette catégorie de risque fait l'objet de préoccupations des différents acteurs de la santé et de la sécurité au travail [2].

#### ❖ Les risques majeurs

Dans le monde de l'industrie, il existe trois types de risques majeurs :

- L'explosion ;
- L'incendie ;
- Emanation importante d'une substance dangereuse dans l'environnement externe.

Ils se caractérisent par une faible probabilité d'occurrence, mais leur gravité est extrêmement

importante. En effet, les conséquences d'une explosion par exemple sont considérables en termes de nombre de victimes, de dégâts matériels et d'impacts sur l'environnement, sans oublier les pertes financières [2].

## 2.1.2 Processus de management des risques

Comme précisé ci-dessus, concernant la définition du processus de management des risques, nous nous référons à la norme ISO 31000 version 2009 qui fournit des principes, un cadre et des lignes directrices pour gérer toutes formes de risques.

Selon la norme ISO 31000, le processus de management des risques comprend cinq activités qui sont hiérarchisées dans la figure 2-2.

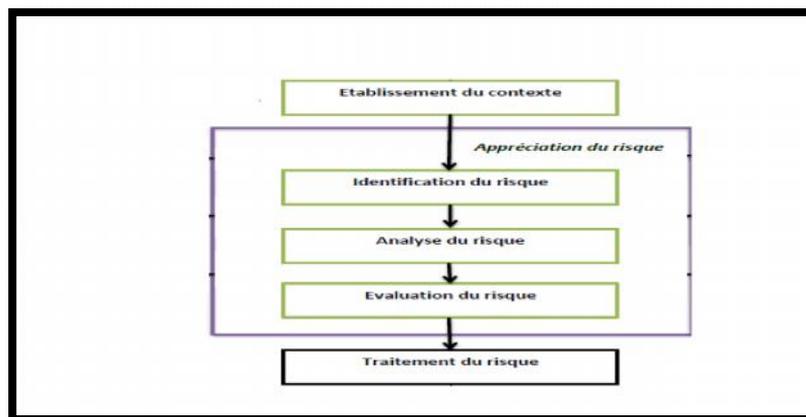


Figure 2-2 : Processus de management des risques selon l'ISO 31000 [1].

### 2.1.2.1 Etablissement du contexte

Cette étape consiste à déterminer l'environnement externe, afin de s'assurer que les objectifs et les préoccupations des parties externes sont pris en considération lors de l'élaboration des **critères des risques**. Elle consiste également à bien comprendre tout ce qui, au sein d'un organisme, peut influencer la manière dont il gère les risques (la gouvernance, l'organisation, la politique...).

#### - Définition des critères des risques

La définition des critères est obligatoire si l'organisme souhaite évaluer l'importance des risques. Pour cela, la norme recommande de tenir compte des facteurs suivants :

- La méthode de définition de la vraisemblance (probabilité) ;
- L'échelle de la vraisemblance et/ou de la (des) conséquence(s) ;
- La méthode de détermination du niveau des risques ;
- Le niveau à partir duquel le risque devient acceptable ;
- La prise en compte ou non des combinaisons de plusieurs risques.

### 2.1.2.2 Appréciation des risques

Comme indiqué sur le schéma de la figure 2-2, l'étape d'appréciation est un processus qui englobe l'identification, l'analyse et l'évaluation des risques. Ces actions sont mises en application d'une manière hiérarchique.

- **Identification des risques**

Il s'agit d'identifier les sources des risques, les cibles ou domaines d'impact, les événements, ainsi que leurs causes et leurs conséquences potentielles.

Le recensement de ces risques peut se faire en utilisant des méthodes spécialisées (analyse préliminaire des risques (APR) par exemple).

- **Analyse des risques**

Analyser les risques consiste à déterminer leurs attributs dont la combinaison constitue ce qu'on appelle la criticité, il s'agit des conséquences et des vraisemblances (probabilité d'occurrence). Il convient aussi de prendre en compte les moyens de maîtrise des risques existants, leurs efficacités et leurs performances.

Pour une meilleure expression des deux attributs (conséquences et probabilités), il est préférable d'établir des échelles de gravité et de probabilité qui sont présentés dans ce qu'on appelle une grille de criticité.

Gravité \ Probabilité	Mineure	Significative	Grave	Très grave
Fréquent	acceptable sous conditions		inacceptable	inacceptable
Peu fréquent				
Rare	acceptable			
Très rare				

Figure 2-3 : Exemple d'une grille de criticité.

- **Evaluation des risques**

Après avoir analysé les risques, on procède maintenant à leurs évaluations. Cette étape consiste à comparer leurs niveaux aux critères établis lors de l'établissement du contexte, ensuite décider s'ils nécessitent un traitement et établir un ordre de priorité dans la mise en œuvre des actions correctives.

**2.1.2.3 Traitement des risques**

Une fois l'évaluation est terminée, on procède au traitement des risques. Ce traitement implique le choix et la mise en œuvre d'une ou de plusieurs options dans le but de réduire les risques à un niveau acceptable. Ces options peuvent inclure l'élimination de la source du risque, l'élimination de l'élément vulnérable, la réduction de la probabilité en mettant en œuvre des actions de prévention ou la réduction de la gravité par des actions de protection.

**2.1.3 Concepts de sécurité**

La sécurité se définit comme étant la situation à laquelle tous les risques sont en dessous de la limite d'acceptabilité. Donc elle se caractérise par l'absence totale des risques non tolérés. A l'échelle de l'industrie, la sécurité est l'aptitude d'une entité à ne pas causer de dommages ou à ne pas faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques [9].

- **Sécurité fonctionnelle**

Selon la norme CEI 61508, c'est le sous-ensemble de la sécurité globale, relatif aux équipements et aux systèmes de contrôle-commande associés, qui dépend du fonctionnement correct de systèmes électriques, électroniques, électroniques programmables (E/E/EP) liés à la sécurité. Exemple : Système d'auto déclenchement ou bien un système de signalisation d'un réseau électrique interconnecté [4].

- **Fonction de sécurité**

Fonction devant être implémentée dans un système E/E/EP concerné par la sécurité dont le but est d'atteindre ou de maintenir un état sûr des équipements contrôlés, dans le cadre d'un événement dangereux particulier [4].

- **Système Instrumenté de sécurité(SIS)**

« C'est un système E/E/PE relatif aux applications de la sécurité, il comprend tous les éléments du système nécessaires pour remplir la fonction de sécurité », [CEI 61508].

- **Intégrité de sécurité**

C'est la Probabilité qu'un système concerné par la sécurité exécute de manière satisfaisante les fonctions de sécurité requises dans toutes les conditions spécifiées et dans une période de temps donnée [4].

- **Niveau d'intégrité de sécurité (SIL : *Safety Integrity Level*)**

C'est un niveau discret parmi quatre niveaux possibles pour la spécification des exigences des fonctions de sécurité à assigner aux systèmes concernés par la sécurité [4] :

- 4 Le plus élevé.
- 1 Le plus bas.

Le concept **SIL** s'applique donc au système concerné par la sécurité dans son intégralité et pas uniquement à un sous-ensemble (par exemple un capteur).

## 2.2 Phénomène d'explosion

Les explosions dans les installations industrielles sont souvent spectaculaires et dramatiques. Ces phénomènes peuvent conduire à des pertes en vies humaines et à des dégâts matériels extrêmement importants. Dans cette partie du chapitre, nous présentons les notions fondamentales ainsi que les caractéristiques de l'explosion et les méthodes de simulation de ses effets.

### 2.2.1 Termes et définitions

- **Explosion** : Une explosion est définie comme un processus dans lequel la combustion d'un nuage de gaz ou de vapeur inflammable pré-mélangé (combustible-air ou combustible-comburant) provoque une augmentation rapide de la pression [10]. Les explosions sont classifiées selon l'environnement dans lequel elles ont lieu:

- **Explosion en milieu confiné** : Réservoirs, pipes, canaux outunnels.

- **Explosion en milieu semi-confiné** : C'est une explosion dans les compartiments, les bâtiments ou les modules offshore.
- **Explosion en milieu non-confiné** : C'est le cas des explosions dans les installations à l'air libre.
  - **Onde de choc** : Le terme onde de choc est utilisé pour décrire la surpression créée lors d'une explosion à partir d'une expansion rapide des gaz produits. Elle se propage à vitesse supersonique, elle est considérée comme la principale cause de dommages.
  - **Feu de torche (*Jet Fire*)** : C'est un feu de dispersion turbulente provenant de la combustion d'un fluide ou d'un gaz inflammable libéré en continu avec une impulsion considérable vers une direction spécifique.
  - **Limites d'inflammabilité/d'explosivité** : Un mélange de carburant et d'air ne peut s'allumer que lorsque la concentration du carburant se situe entre sa limite inférieure et supérieure d'inflammabilité ou d'explosivité.
- **Limite inférieure d'inflammabilité (LII)/d'explosivité (LIE)** : C'est la proportion minimale requise d'un combustible (vapeur ou gaz) dans l'air pour s'enflammer ou exploser.
- **Limite supérieure d'inflammabilité (LSI)/d'explosivité (LSE)** : C'est la proportion maximale d'un combustible (vapeur ou gaz) dans l'air en dessus de laquelle l'explosion ou l'inflammation n'aura pas lieu.

### 2.2.2 Hexagone d'Explosion

Pour qu'une explosion puisse avoir lieu, six conditions doivent être réunies simultanément :

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| -Le comburant (généralement l'air) ; | - Le combustible ;                         |
| - La source d'inflammation ;         | -Le combustible sous forme gazeuse ;       |
| - Domaine d'explosivité (LIE, LSE) ; | -Un confinement ou un milieu congestionné. |

### 2.2.3 Caractérisation d'une explosion de nuages Gazeux

Si un nuage de gaz inflammable est formé lors d'une fuite, son allumage direct peut parfois conduire à un feu flash (*Flash Fire*). Si, toutefois, l'ignition est retardée pour une raison quelconque (5-10 min), alors une explosion du nuage de vapeur (*Vapor cloud Explosion, VCE*) en est le résultat probable.

L'explosion d'un nuage gazeux, constitue un des événements les plus redoutés dans les installations industrielles qui manipulent les substances inflammables. Ce type de phénomènes comprend généralement la succession de plusieurs étapes [12]:

- Rejet dans l'atmosphère d'un produit combustible (Gaz ou vapeur issue d'un liquide inflammable volatil) ;
- Mélange avec l'oxygène de l'air pour former un volume inflammable ;
- Dispersion du nuage de gaz ;
- Inflammation d'une première partie du nuage ;
- Propagation du front de la flamme au travers des parties inflammables du nuage ; ce front de flamme agit à la manière d'un piston sur les gaz environnants et peut être à l'origine de la formation d'une onde de pression aérienne si sa vitesse de propagation est suffisante ou si les gaz sont confinés ou le milieu est congestionné.
- Combustion des autres parties du nuage.

L'évolution et l'intensité d'une explosion peuvent être influencées par plusieurs paramètres, à savoir :

- Le type et la quantité de la substance ;
- L'intervalle de temps entre le début de la fuite et l'allumage ;
- La configuration de l'espace où l'explosion a eu lieu ainsi que la position et le nombre de sources d'inflammation par rapport au lieu de fuite.

Les effets néfastes d'une explosion de nuage gazeux sont principalement dus à la surpression (onde de choc) qui est créée à partir de l'expansion rapide des produits de combustion et au flux de chaleur. L'onde de choc est la cause la plus importante de dommages aux personnes, au matériel et aux installations.

Pour une illustration, nous présentons dans les tableaux 2-1 et 2-2 l'étendue des dommages en fonction de la surpression (onde de choc) sur l'homme, et sur quelques structures.

**Tableau 2-1 : Etendue des dommages pour la vie humaine en fonction des valeurs de surpression [18].**

<b>Etendue</b>	<b>Onde de choc (mbar)</b>
Seuil des effets indirects par bris de vitres	20
Seuil des effets irréversibles Zone des dangers significatifs pour la vie humaine	50
Seuil des effets létaux Zone de dangers graves pour la vie humaine	140
Seuil des effets létaux significatifs Zone des dangers très graves pour la vie humaine	200

**Tableau 2-2 : Etendue des dommages pour les structures en fonction des valeurs de surpression [18].**

<b>Etendue</b>	<b>Onde de choc (mbar)</b>
Seuil de destruction significatif des vitres	20
Seuil des dégâts légers	50
Seuil des dégâts graves	140
Seuil des effets domino	200
Seuil des dégâts très graves	300

### **2.2.4 Simulation des effets d'explosion**

Pour simuler et prédire les effets des explosions de nuage de vapeur, on emploie souvent des modèles analytiques empiriques qui sont généralement basés sur une courbe de surpression en fonction de la distance, avec des paramètres tels que :

- L'énergie qui est libérée sous forme d'onde de choc (méthode TNT) ;
- La force de l'explosion (méthode Multi-Energy) ;
- La vitesse d'expansion de la flamme (méthode Baker-Strehlow).

Cependant, il existe des logiciels de simulation des explosions qui permettent d'obtenir des résultats plus fiables et qui sont programmés pour employer les modèles cités ci-dessus tel que le logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool). C'est un logiciel qui offre un avantage particulier, en effet il permet de simuler les phénomènes dangereux sur l'installation réelle en apportant une cartographie et localiser le site.

## 2.3 Analyse fonctionnelle « diagramme SADT »

La méthode SADT (Structured Analysis and Design Technic) est une méthode graphique qui démarre du général pour arriver au particulier. On va l'appliquer pour décrire le système et le décomposer et définir ses principales fonctions ainsi que les interactions entre elles [27]

### 2.3.1 Origine de la méthode

La SADT est une méthode développée pour Softech par Doug Ross en 1977, d'origine américaine, puis introduite en France à l'année 1982 par Michel Galinier. Elle se répandit vers la fin des années 1980 comme l'un des outils standards de description graphique d'un système complexe par analyse fonctionnelle descendante [27].

### 2.3.2 Représentation graphique

Une fonction est modélisée par une boîte (ou un module) qui est située dans son contexte avec d'autres boîtes et reliée par des flèches de relation. Ces flèches représentent les contraintes de liaisons entre boîtes (Figure 3-9) [27].

- **Fonction** : est caractérisée par une action sur des matières d'œuvres en entrées, la fonction globale définie par le niveau a-0.
- **Dispositif de la fonction** : est l'élément physique qui réalise la fonction.
- **Matière d'oeuvre en entrée** : est la matière d'oeuvre modifiée par la fonction considérée.
- **Matière d'oeuvre sortante** : est la matière d'oeuvre munie de sa valeur ajoutée. S'ajouteaux matières d'œuvres sortantes
- **Données de contrôle** : elles sont les paramètres qui déclenchent ou modifient la réalisation de la fonction. Elles s'agissent de quatre catégories

- **R** : Paramètre de réglage.

- **C** : Paramètre de configuration.

- **E** : Données d'exploitation/consigne de fonctionnement.

- **W** : Mise en énergie ou présence de matière d'oeuvre.

### 2.3.3 Étapes de la création d'un modèle

- Choisir le but et les objectifs d'analyse : Le principe but de l'analyse fonctionnelle SADT est de donner une description du système, le décomposer et identifier ses fonctions ainsi que les principales interactions entre elles.
- Créer le contexte général et le premier actigramme de la décomposition des activités.
- Crée un diagramme A-0 qui représente le contexte général et la finalité du système Ce niveau A-0 se décompose en n modules A1, A2,...,An, qui construit le niveau A0, etc...,

- Partir des données frontières du diagramme A-0 continuer la décomposition des activités du modèle sur quelques niveaux
- Le processus de décomposition se poursuit de sorte que chaque diagramme de niveau inférieur représente et définit les sous-fonctions du système ainsi que les relations entre eux.

### **2.3.4 Avantages de SADT**

- SADT permet de donner une clarification et une décomposition analytique de la complexité d'un système [27].
- Gain du temps.
- Diagramme intemporel

## **2.4 Outils d'analyse des risques**

Comme nous l'avons vu dans figure 2-2, le management des risques comprend plusieurs étapes qui sont structurées d'une manière hiérarchique, la phase d'appréciation constitue le cœur de ce processus. Cette phase est fondée sur trois étapes qui sont l'identification, l'analyse et l'évaluation des risques. Pour se faire, il existe plusieurs méthodes qui constituent un ensemble d'outils qui fournissent un meilleur encadrement, ce qui rend la tâche plus facile à exécuter avec une identification exhaustive des éléments dangereux et les risques y afférant. Cela permettra d'atteindre en finalité une bonne maîtrise des risques.

Dans cette partie, nous allons présenter en premier lieu les critères de classification, ensuite nous décrirons les méthodes d'analyse des risques et leurs domaines d'application ainsi que le processus de leurs mises en œuvre, ce qui permettra de faire un choix optimum quant à la méthode qui semble être la plus appropriée.

## **2.5 Classification**

La classification des méthodes d'analyse des risques est basée sur deux principaux critères :

### **2.5.1 Méthodes quantitatives vs qualitatives**

Une analyse quantitative consiste à caractériser numériquement le système à étudier, cela en calculant par exemple le taux de défaillance ou bien la probabilité d'occurrence d'une défaillance, dans le but d'évaluer sa sûreté de fonctionnement et entre autres la sécurité.

Contrairement à une analyse quantitative, une analyse qualitative ne consiste pas à quantifier mais à donner une appréciation. On cherchera à déterminer quelles occurrences sont possibles ; par exemple : une défaillance pourrait avoir une probabilité d'occurrence très faible, faible, moyenne ou forte.

Le raisonnement qualitatif permet parfois de combler certaines insuffisances des méthodes quantitatives dans des domaines où les connaissances sont peu formalisées ou difficilement quantifiables [6].

### **2.5.2 Méthodes déductives vs inductives**

Les méthodes inductives correspondent à une approche « cause à effet » où l'on identifie toutes les combinaisons d'événements élémentaires possibles qui peuvent entraîner la réalisation d'un événement indésirable. Tandis que pour les méthodes déductives la démarche est inversée, en effet on part de l'événement indésirable, une défaillance par exemple, et l'on recherche ensuite par une approche descendante toutes les causes possibles [6].

**Tableau 2-3 : Finalité et Typologie de quelques méthodes d'analyse des risques.**

Nom de la Méthode	Objectif Principal	Typologie
AMDEC (Analyse de modes de défaillances, leurs effets et leurs criticités)	Identifier les causes et les effets des modes de défaillances des composants sur le fonctionnement du système	Quantitative Inductive Statique
APR (analyse préliminaire des risques)	Identification des scénarios d'accidents en présence de sources de danger et estimer la criticité	Quantitative Inductive Statique
AdD (Arbre de défaillances)	Représenter de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'évènements qui peuvent engendrer un évènement redouté	Qualitative\Quantitative Déductive Statique
AdE (Arbre d'évènements)	Représenter sous forme de scénarios les conséquences d'un évènement initiateur ou d'une défaillance	Quantitative Inductive Statique
HAZOP (Hazard Opérabilité)	Identifier les risques créés par une dérive des paramètres d'un procédé	Qualitative Inductive Statique
Méthode nœud papillon	Visualiser concrètement les scénarios d'accidents en partant des causes initiales jusqu'aux conséquences finales	Quantitative Inductive et déductive Statique

➤ **Remarque:**

Toutes les méthodes ci-dessus classifiées, se valent, il n'y a pas de meilleure méthode, la méthode est retenue selon son domaine d'application, ses caractéristiques, la complexité du système à étudier et les objectifs des analystes. Nous tenons à rappeler d'ailleurs que certaines méthodes ont une relation de complémentarité.

## 2.6 Analyse préliminaire des risques (APR)

L'APR est avant tout une démarche structurée et organisée de façon à permettre d'apprécier à priori les risques présents sur un site. Cette méthode est largement utilisée et connue pour sa capacité à s'adapter à tous types d'installations.

### 2.6.1 Origine de la méthode

L'analyse préliminaire des risques a vu le jour aux débuts des années 1960. Elle a été utilisée au début dans les domaines aéronautiques et militaires et s'est développée en démarche généralisée qui a fait ses preuves dans différents domaines.

### 2.6.2 Domaine d'application

L'APR est applicable à toutes les installations et comme son nom le précise est utile pour l'appréciation préliminaire des risques, à condition qu'elle soit conduite dans des contextes temporels précis dans le cycle de vie de l'installation et qu'elle soit en concordance avec des objectifs d'étude bien définis. Autrement dit l'application de cette méthode s'avère pertinente lors de :

- La phase de conception (projet) d'une installation pour instaurer la première analyse en matière de sécurité et qui permet d'éviter les anomalies sécuritaires majeures dans le procédé et aussi déboucher sur les premières consignes d'exploitation.
- La phase d'exploitation d'une installation complexe et cela comme outil de départ d'une démarche d'analyse des risques, qui va permettre de sélectionner les risques qui peuvent ultérieurement faire l'objet d'études plus approfondies à l'aide d'autres méthodes plus en profondeur.
- Une analyse des risques effectuée sur une installation simple avec des objectifs pas très exigeants en matière de sécurité (Bernuchon & Salvi, 2003).

### 2.6.3 Principe de la méthode :

L'analyse préliminaire des risques débute par un découpage fonctionnel des installations puis, pour chaque bloc fonctionnel ou sous-système, l'analyse des risques consiste à :

- Définir toutes les situations dangereuses susceptibles de survenir et d'avoir des effets sur l'environnement,
- Déterminer les causes (d'origine interne ou externe au système) et les conséquences,
- Evaluer, a priori, le niveau de risque potentiel (gravité potentielle G, fréquence potentielle F),
- lister les mesures de prévention et de protection existantes.

Ce type d'analyse systématique permet aussi de donner une réponse adaptée aux différents risques identifiés, pour diminuer les risques liés à l'exploitation de l'installation projetée à un niveau acceptable.

### 2.6.4 Déroulement de la méthode

En respectant les principes de la méthode, le déroulement de celle-ci se fera selon les étapes suivantes :

#### Étape 1 :

- Définition du système et détermination des sous-systèmes ;
- Délimitation et détermination de la mission du système à analyser et des sous-systèmes (équipements) en utilisant la méthode SADT ;
- Détermination des éléments dangereux ;
- Détermination des sous-systèmes Relatifs au système globale ;
- Détermination des événements redoutés Relatifs à chaque système ;
- Détermination des causes Relatives à chaque événement redouté ;
- Détermination des conséquences Relatives à chaque événement redouté.

### Étape 2 :

Détermination des situations dangereuses : situations réelles ou potentielles susceptibles de conduire, dans le cas d'une installation mettant en oeuvre des explosifs, à l'explosion des explosifs en question ;

Détermination des événements redoutés(ER)

Déterminer les événements redoutés résultant de la situation dangereuse et du déclenchement d'un événement initiateur en s'appuyant sur le retour d'expérience.

### Étape 3 :

- Détermination des causes et conséquences
- Énumérer les causes qui sont à l'origine de chaque ER et les conséquences qui peuvent en découler.

### Étape 4 :

- Etablissement de grilles d'évaluation (F et G)
- Mise en place d'une grille d'évaluation de la fréquence (F) d'occurrence de l'évènement et de la gravité (G) des conséquences engendrées. Dans la plupart des cas, nous adaptons des grilles que nous retrouvons dans les bases de données qui sont nuancées par le retour d'expérience quant à l'utilisation de celles-ci.

### Étape 5 :

- Evaluation de la criticité du risque (C)
- Évaluation de la fréquence et de la gravité de chaque évènement non souhaité.
- Par la suite, vient le calcul à partir de ces estimations de la criticité (C) du risque à l'aide de la formule :  $C = F \times G$

### Étape 6 :

- Réévaluation de la criticité du risque (C')
- Lister les mesures de prévention existantes pour réévaluer la fréquence (F').
- Lister les mesures de protection existantes pour réévaluer la gravité (G')

Nous ressortons par la suite avec un niveau de risque réévalué ( $C' = F' \times G'$ ).

### Étape 7 :

Hierarchisation des risques

Hierarchisation des risques à l'aide d'une matrice à deux dimensions (F, G) en ressortant avec des catégories de risques :

Risques acceptables ;

Risques modérés ;

Risques inacceptables.

### Étape 8 :

Recommandations

Proposer des mesures de réduction du niveau des risques dont le niveau est jugé inacceptable ou modéré selon les exigences et les objectifs définis.

Le tableau (2-4) proposé et qui constitue le produit de l'APR lors du déploiement de la méthode est le suivant :

Tableau 2-4 : Tableau type du déploiement de l'APR

N°	SS	FD	SD	FNS	Causes	Conséquences	Niveau de risque			Mesures de prévention	P	Mesures de protection	C1	C2
							P	G	C					

La méthode APR permet de faire un inventaire des dangers présents dans une installation et d'évaluer les risques qui en découlent, elle permet aussi de mettre en évidence les priorités des mesures à mettre en place dans un premier temps pour diminuer le niveau des risques. Elle permet également de souligner des points critiques qui feront par la suite l'objet d'analyses plus minutieuses en faisant appel à des méthodes comme l'AMDEC/HAZOP pour la maîtrise des risques.

## 2.7 Hazard operability analysis (HAZOP)

### 2.7.1 Principe

La méthode HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes, particulièrement les systèmes thermo-hydrauliques, dont la maîtrise de certains paramètres est d'une importance extrême pour la sécurité de l'installation [7].

Cette méthode prend en considération les déviations potentielles des paramètres liés à l'exploitation de l'installation. De ce fait, l'analyste se focalise sur le fonctionnement du procédé, donc il est indispensable de disposer un plan de circulation des fluides ou des schémas P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*).

La dérive ou la déviation se définit comme étant la combinaison d'un mot clé (trop de, plus de, moins de...) et d'un paramètre associé au système qui fait l'objet de l'étude (Pression, température, Concentration...). Les mots clé associés aux paramètres sont importants, ils permettent en effet de générer d'une manière systématique les déviations à prendre en compte. La HAZOP permet de déterminer les causes et les conséquences potentielles de chacune des dérives et d'identifier les moyens existants pour les détecter, d'en prévenir l'occurrence ou d'en limiter les effets dans le but de prévoir des dispositifs pour renforcer la sécurité de l'installation. Les paramètres à prendre en considération dépendent du type du système étudié et les substances manipulées, généralement il s'agit des paramètres dont la dérive influe sur la sécurité de l'installation.

### 2.7.2 Déroulement

La méthode HAZOP est une démarche systématique, donc pour mener une analyse il convient de suivre les étapes suivantes [7] :

- 1- Choisir une portion du processus « nœud », généralement elle est identifiée à partir d'un schéma P&ID, elle comprend un équipement et ses connexions ;
- 2- Identifier un paramètre du processus, température par exemple.
- 3- Associer au paramètre un mot clé, ce qui forme une dérive ;
- 4- Procéder à l'identification des causes et les conséquences potentielles de cette dérive ;
- 5- Identifier et examiner les moyens existants pour détecter la dérive ;
- 6- Identifier et évaluer les dispositifs pour prévenir l'occurrence de la dérive ou pour minimiser les effets ;
- 7- Proposer des actions correctives et des recommandations pour renforcer la sécurité.
- 8- Retenir un nouveau mot- clé et reprendre la démarche au point 4;
- 9- Lorsque tous les mots clé sont traités, retenir un nouveau paramètre et revenir au point 3 ;
- 10- Une fois terminé avec tous les paramètres, choisir un autre nœud et appliquer la même démarche.

Pareil à l'APR, l'analyse HAZOP doit être synthétisée dans un tableau qui constitue un support pratique pour mener la réflexion et résumer les résultats.

Tableau 2-5 : Exemple de tableau HAZOP [7].

Date :								
Ligne ou Equipement :								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
N <sup>o</sup>	Mot clé	Paramètre	Cause	Conséquence	Détection	Sécurité existante	Propositions d'amélioration	Observations

## 2.8 Arbre de défaillances (AdD)

### 2.8.1 Principe

L'analyse par arbre de défaillance est une méthode de type déductif. En effet l'arbre de défaillance modélise l'ensemble des combinaisons d'événements et de conditions qui peuvent aboutir à un événement sommet (événement redouté). Il inclut tous les arbres de causes possibles. Les liens entre les différents événements identifiés sont des fonctions logiques (« ET », « OU »), la probabilité de l'événement " sommet " se déduit par algèbre booléenne des probabilités des événements de base qui sont susceptibles d'être à l'origine de l'événement redouté.

❖ **Événement Redouté** : Avant d'élaborer un arbre de défaillance, il est primordial et indispensable de définir un événement redouté. Il est considéré comme étant un événement indésirable pour lequel on fait l'étude de toutes les causes qui y conduisent. La construction de l'AdD est d'autant plus simple que l'événement redouté soit défini d'une manière précise. C'est la raison pour laquelle il est recommandé d'utiliser au préalable des méthodes inductives définies auparavant (APR, AMDEC, HAZOP) afin d'identifier d'une manière systématique les événements redoutés qui feront l'objet d'analyse plus approfondie par l'arbre de défaillance.

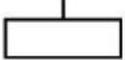
### 2.8.2 Construction de l'AdD

La construction d'un arbre de défaillance est une démarche systématique, elle commence par sélectionner un événement qualifié d'indésirable dont on veut représenter les scénarios de survenue.

Après, on se pose la question " quels événements ou combinaisons d'événements et de conditions pourraient produire cet événement redouté ? ". On représente donc, avec des connecteurs ou portes logiques (voir tableau 2-6), les réponses trouvées. Puis on réitère : on se demande comment peuvent se produire ces événements qui, combinés de certaines façons, peuvent produire l'événement qui nous intéresse et ainsi de suite. On arrête de décomposer chaque fois qu'on arrive à des événements dont on connaît bien le cas où la fréquence d'apparition ou il s'agit des événements de base dont le développement ne sera plus possible.

Cette représentation permet de déduire la probabilité de l'événement redouté "sommet" et les probabilités des événements de base sur lesquels la décomposition s'est arrêtée.

Tableau 2-6 : Syntaxe de l'arbre de défaillance [8].

Événement / report	Dénomination	Portes	Dénomination
	Événement de base		Porte « ET »
	Événement-sommet ou événement intermédiaire		Porte « OU »
	Report (sortie) Le sous-arbre situé sous ce « drapeau » est à dupliquer ...		Porte « OU exclusif »
	Report (entrée) ...à l'endroit indiqué par ce second drapeau		Porte « combinaison »

Cependant, il est à rappeler qu'en construisant un arbre de défaillance, certaines règles doivent être respectées [7] :

- ✓ Il faut que le système soit cohérent (la défaillance de tous les composants entraîne la défaillance du système ; un seul événement ne doit jamais aboutir à la défaillance totale du système);
- ✓ Il faut que les événements intermédiaires soient antérieurs à l'existence de l'événement considéré ;
- ✓ S'assurer que les portes logiques ne sont pas directement connectées.

## 2.9 Arbre d'évènements (AdE)

### 2.9.1 Présentation et Domaines d'Application

L'analyse par arbre d'évènements est une méthode inductive. En effet, contrairement à l'analyse par arbre de défaillances, l'ADE suppose une défaillance d'un composant ou d'une partie du système et s'attache à déterminer les événements qui en découlent. C'est une méthode qui s'applique pour étudier des systèmes qui comportent plusieurs dispositifs de sécurité. Elle permet d'estimer la probabilité d'occurrence de séquences accidentelles et d'envisager d'une manière systématique le fonctionnement ou la défaillance des dispositifs de sécurité. Elle est utilisée aussi dans le domaine de l'analyse après accidents dans le but d'avoir une explication des conséquences observées qui résultent d'une défaillance du système[7].

### 2.9.2 Déroulement

L'analyse par arbre d'évènements consiste à suivre la démarche systématique suivante :

➤ **Définir l'événement initiateur**

C'est le point de départ de l'arbre, il s'agit d'un événement qui peut effectivement conduire à une situation critique. Exemple: panne, défaillance ou erreur humaine.

➤ **Identifier les fonctions de sécurité**

Elles ont en général pour objectif d'empêcher que l'évènement initiateur soit à l'origine d'un accident majeur. Elles se déclinent le plus souvent en:

- Fonctions pour détecter l'évènement initiateur ;
- Fonctions d'alarme qui indique l'occurrence de l'évènement initiateur ;
- Fonctions de limitation visant à empêcher la progression de l'évènement initiateur;
- Fonction d'atténuation pour réduire les effets de l'évènement initiateur.

Les fonctions de sécurité ainsi que les équipements destinés à les assurer doivent être rassemblés dans un tableau chronologique.

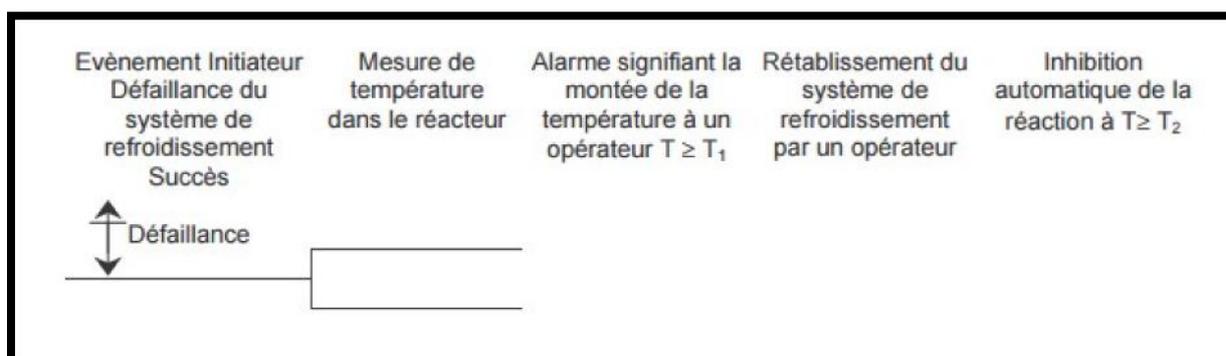
**Tableau 2-7 : Exemple de tableau définissant les fonctions de sécurité [7].**

<b>Fonction</b>	Mesure de la température dans le réacteur	Alarme	Rétablissement du système de réfrigération par un operateur	Arrêt de la réaction
<b>Dispositif assurant la fonction</b>	Sonde de température dans le réacteur	Signaux sonores et lumineux aux postes de travail	Operateur selon une procédure	Introduction automatique d'un inhibiteur de la réaction
<b>Paramètre ou information déclenchant la fonction</b>	Permanent	$T > T_2$	Alarme	$T > T_2$
<b>Délai</b>	Continue	1 min	Si possible, estimé à 5 min	Estimé à 10 min De $T_1$ à $T_2$

➤ **Construire l'arbre**

La construction de l'arbre consiste alors, à partir de l'évènement indésirable, à envisager soit le fonctionnement soit la défaillance de la première fonction de sécurité. L'évènement initiateur est représenté schématiquement par un trait horizontal.

Le moment où doit survenir la première fonction de sécurité est représenté par un nœud. La branche supérieure correspond généralement au succès de la fonction de sécurité, la branche inférieure à la défaillance de cette fonction.



**Figure 2-4 : Méthode de construction de l'arbre [7].**

La suite de la méthode consiste à examiner le développement de chaque branche de manière itérative en considérant systématiquement le fonctionnement ou la défaillance de la fonction de sécurité suivante. Cette démarche permet d'identifier des séquences d'évènements susceptibles de conduire ou non à un accident potentiel.

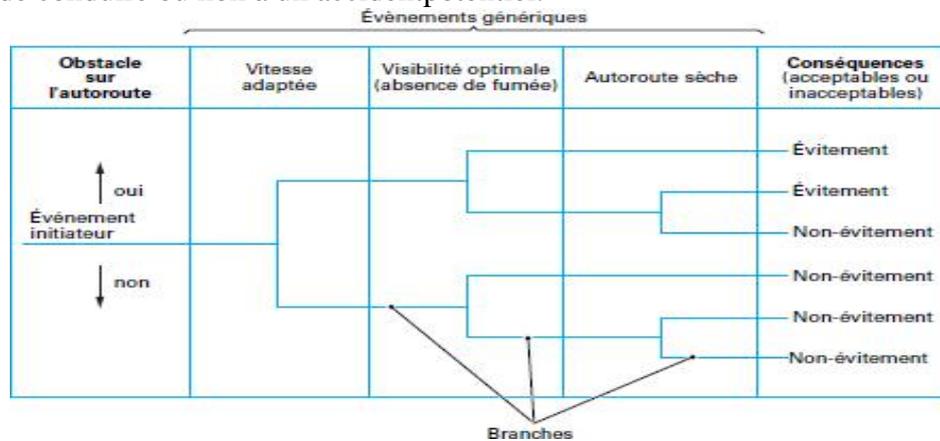


Figure 2-5 : Exemple d'arbre d'évènements pour le scénario évitement d'obstacles sur l'autoroute [9].

## 2.10 Méthode nœud papillon

L'analyse par la méthode nœud papillon (*Bow Tie Analysis Method*) est une approche de type arborescente. C'est une méthode qui est à la fois inductive et déductive. En effet, elle combine l'arbre de défaillance et d'évènements, ce qui permet de visualiser clairement les scénarios d'accidents en partant des évènements de bases jusqu'aux conséquences.

En plus de cela, le nœud papillon constitue un outil précieux pour s'assurer que les risques sont bien maîtrisés en vérifiant l'efficacité et la performance des barrières de prévention et de protection mis en place, notamment lorsqu'il s'agit de traiter un évènement dont la criticité est extrêmement importante.

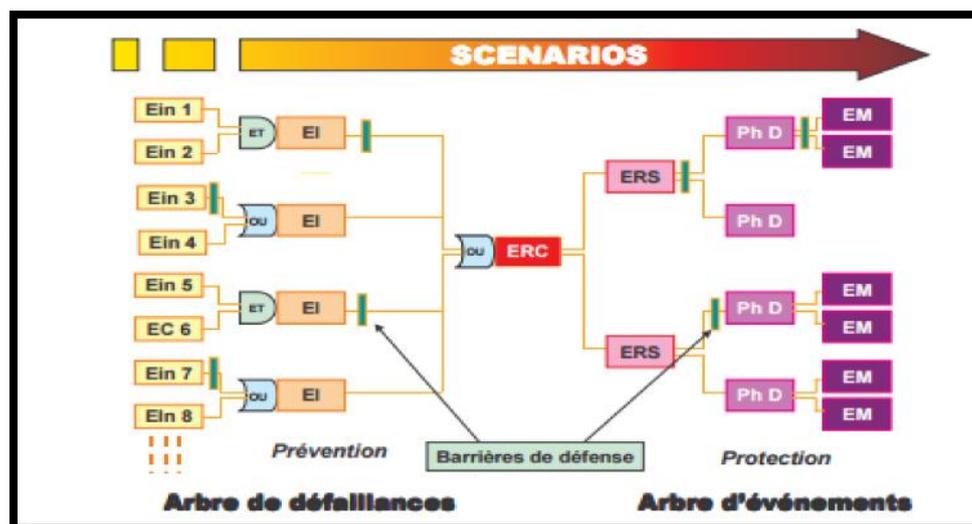


Figure 2-6 : Représentation de scénario d'accident selon le modèle du nœud papillon [7].

Tableau 2-8: Définition des abréviations.

Désignation	Signification	Définition
Ein	Évènement Indésirable	Dérive ou défaillance sortant du cadre des conditions d'exploitations usuelles définies
EC	Évènement Courant	Évènement admis survenant de façon récurrente dans la vie d'une installation.
EI	Évènement Initiateur	Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique
ERC	Évènement Redouté Centrale	Perte de confinement sur un équipement dangereux ou perte d'intégrité physique d'une substance dangereuse
ERS	Évènement Redouté secondaire	Conséquence directe d'un ERC, il caractérise le terme source de l'accident
Ph D	Phénomène Dangereux	Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs
EM	Effet Majeur	Domages occasionnés au niveau des éléments vulnérables

En conclusion, le chapitre que nous venons de présenter met en clair, à travers tous ces alinéas, la notion du danger et fait bien ressentir les risques qui en découlent, ainsi que leurs différents concepts que vit au quotidien tout organisme quel que soit son secteur d'activité, du fait qu'il y a manipulation de matières dangereuses, ainsi que la mise en service d'équipements complexes ; le tout nécessitant une très bonne connaissance et maîtrise parfaite des risques encourus.

A travers la description du phénomène d'explosion et l'existence de plusieurs modèles et logiciels de simulation, on peut déduire l'étendu l'importance portée par les industriels à définir et à gérer les risques liés aux produits inflammables au vu de l'ampleur des dégâts que peut engendrer un accident sur un site d'exploitation et l'impact sur l'environnement sans oublier la répercussion sur l'investissement.

L'étude de quelques méthodes d'analyse des risques nous a permis d'avoir une vue assez distincte des différentes méthodes dont nous pouvons disposer. Ces méthodes sont de véritables instruments d'action lorsqu'il faudra faire un choix rapide et décisif.

*Chapitre 3*

---

**ÉTUDE DE L'EXISTANT**

---

## Chapitre 3

---

# ÉTUDE DE L'EXISTANT

---

L'acétylène, produit à partir de carbure de calcium et d'eau, est un des gaz les plus importants dans les applications industrielles notamment en raison de ses caractéristiques physico-chimiques.

En effet, la flamme oxyacétylénique (combustion d'acétylène dans un courant d'oxygène) atteint jusqu'à 3070 °C. Aucun autre composé carboné n'atteint une telle température de flamme

L'acétylène pur est ainsi utilisé :

- En flaconnage de verre (cristalleries)
- Dans l'industrie électronique (dépôt de carbone),
- Dans l'industrie chimique (intermédiaire de réaction)
- En applications particulières des chalumeaux automatisés,
- Enfin, l'activité "bricolage" de l'acétylène connaît une progression constante avec les postes "Oxyflam". Commencée dans les années 70, la vente d'acétylène en petites bouteilles n'a cessé de croître depuis.

Ce secteur représente aujourd'hui le marché le plus important.

Dans ce chapitre, nous allons présenter en premier lieu un aperçu sur l'acétylène à travers ses propriétés physique chimique et son utilisation, ensuite nous décrirons le processus de production d'acétylène, enfin nous aborderons une étude complète du système qui fait l'objet de notre travail.

### 3.1 Généralités sur l'acétylène

L'acétylène est un hydrure de carbone gazeux de formule moléculaire  $C_2H_2$ . On ne le trouve pratiquement jamais dans la nature.

#### 3.1.1 Propriétés physique de l'acétylène

L'acétylène est un gaz incolore et inodore lorsqu'il est pur.

Il est moins dense, que l'air, une mole de gaz, 22.4 litres dans les conditions normale, à une masse de 26 grammes, ce qui représente une masse volumique de 1.16 kg /m<sup>3</sup> et une densité par rapport à l'air de 0.9.

Ses changements d'état :

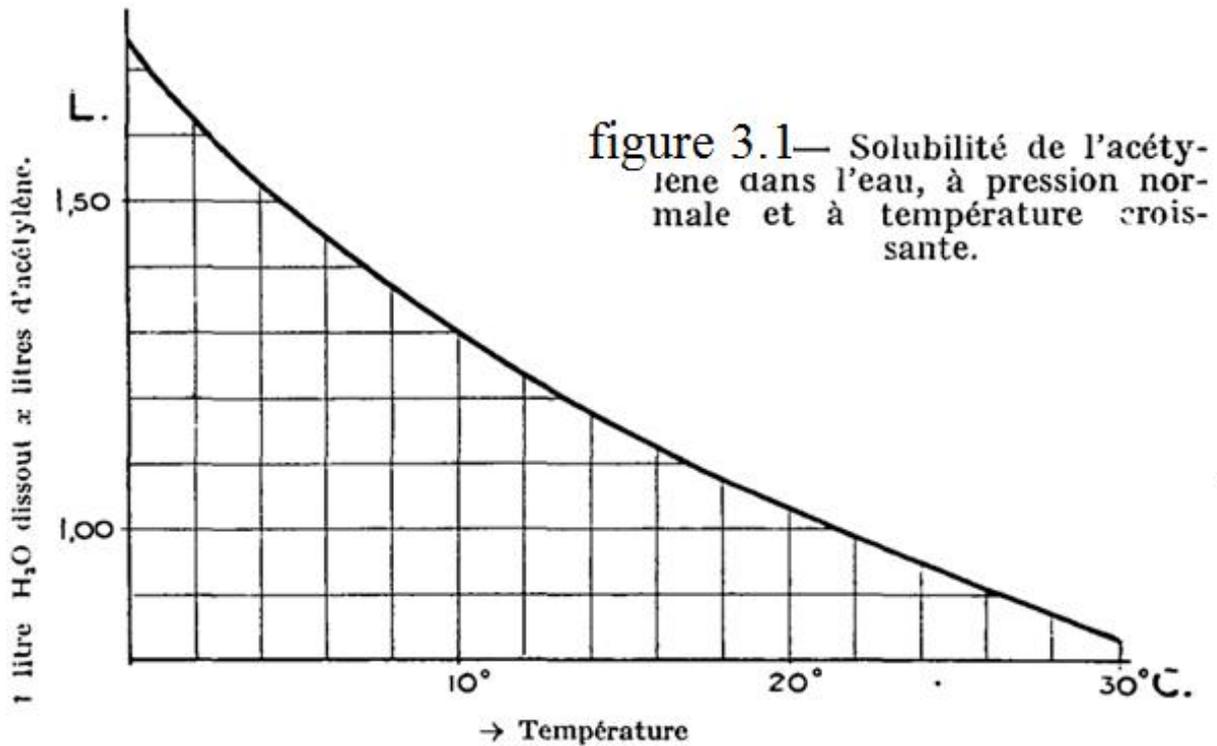
L'acétylène peut être facilement liquéfié : Il suffit de le comprimer à une pression voisine de 40 atm tout en le maintenant à la température ordinaire. Cependant, le liquide est très dangereux à manipuler car il est très instable et explosif.

#### 3.1.2 Solubilité de l'acétylène

L'acétylène est soluble dans certain nombre de corps, la solubilité dépend de la température et de la pression. Le stockage de l'acétylène commercial est à l'état dissous dans les bouteilles. L'agent de dissolution utilisé est l'acétone qui est un excellent solvant, lui-même est retenu par une matière poreuse disposée dans les bouteilles [26].

A la température ordinaire, l'eau dissout environ le même volume d'acétylène. La capacité de solubilité tombe quand la température s'élève et augmente avec la pression. La Société suisse de l'acétylène donne des chiffres plus précis à ce sujet. L'influence de la température est

représentée sous forme de graphique par la figure 3.1



La solubilité de l'acétylène dans d'autres dissolvants est d'après Vogel, à la pression normale:

- Dans une partie d'eau salée..... 0,06 partie d'acétylène
- » » » de lait de chaux .....0,75 » »
- » » » sulfure de carbone..... 1,00 » »
- » » » d'eau.....1,10 » »
- » » » d'essence de térébenthine....2,00 parties »
- » » » tétrachlorure de carbone ...2,00 » »
- » » » chloroforme.....4,00 » »
- » » » benzo.....14,00 » »
- » » » acétone ..... 25,00 » »

C'est donc dans l'acétone que la solubilité est la plus grande, et c'est pourquoi l'acétone est exclusivement employée comme dissolvant dans la fabrication de l'acétylène dissous.

La capacité de solubilité de l'acétone tombe, comme celle de l'eau, quand la température augmente, et monte au contraire quand la pression s'élève. En absorbant l'acétylène,

Le dissolvant augmente notablement de volume. Le rapport existant entre la capacité de solubilité de l'acétone industriel et son augmentation de volume à différentes pressions et températures, tel qu'il a été déterminé par Siller, est représenté par la figure 3.2.

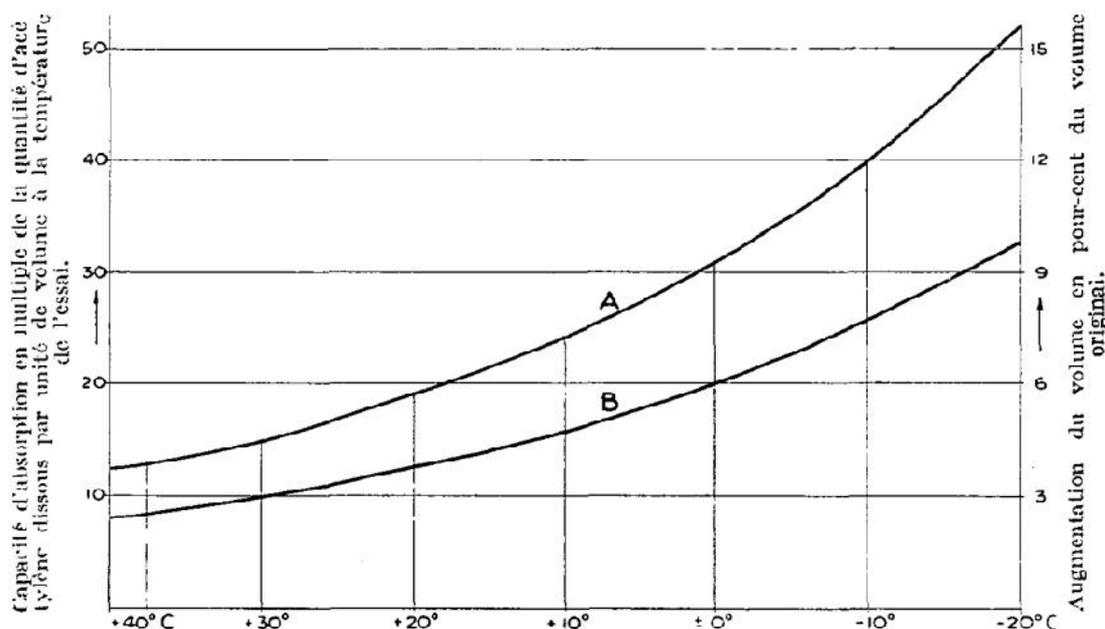


FIG. 3. 2 — Capacité d'absorption de l'acétone et augmentation du volume de la solution en fonction de la température à 1 atm. abs.

A = Capacité d'absorption. B = Augmentation du volume après saturation.

### Liquéfaction :

L'acétylène peut être liquéfié par la compression ou par le froid. D'après Leduc, sa pression critique se trouve à

67 atm; sa température critique est de 37° C.

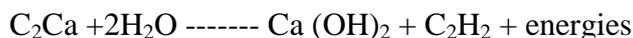
L'acétylène liquide est incolore. Évaporé dans l'air ou refroidi dans de l'air liquide, il se solidifie en masse solide à

— 81,5° C. A la température ordinaire cette masse solide passe immédiatement à l'état gazeux, tout comme l'acide carbonique.

### 3.1.3 production de l'acétylène

L'acétylène est produit par la décomposition du carbure de calcium en présence d'eau.

Le carbure de calcium réagit en présence d'eau suivant la réaction :



C'est-à-dire 64g de carbure de calcium plus 36g d'eau donnent naissance à 26g d'acétylène plus 74g d'hydroxyde de calcium.

1kg de carbure produit 260 à 325 litres d'acétylène et dégage dans le même temps environ 400 kilocalories.

La réaction qui se produit entre le  $\text{C}_2\text{Ca}$  et  $\text{H}_2\text{O}$  variable. Si l'eau est en quantité suffisante, la gazéification se fait rapidement. Elle est d'autant plus rapide que la surface de contact est plus grande c'est-à-dire la granulométrie de carbure est plus petite.

La chaleur dégagée de la décomposition de carbure du calcium doit être évacuée au fur et à mesure pour éviter un échauffement excessif du gaz, du carbure et des résidus.

Si l'échauffement est trop important, il peut se produire une polymérisation avec dégagement d'hydrogène. Cet incident se caractérise par une odeur de goudron et la couleur brune-jaune que prennent les gazes et les résidus. Il y a donc lieu toujours de fonctionner avec un excédent d'eau pour absorber la chaleur produite.

### 3.1.4 Procédé de fabrication de l'acétylène au carbure de calcium

Le carbure de calcium commercial de granulométrie 15 /180mm est introduit dans le générateur par l'intermédiaire de la benne de chargement, et chute dans l'eau de la cuve du générateur par l'intermédiaire d'une vis sans fin commandée par un moteur antidéflagrant. Les morceaux de carbure de calcium tombent dans un panier tournant immergé dans l'eau de la cuve, l'entraînement mécanique du panier comporte un agitateur qui brasse en permanence l'eau de décomposition en acétylène et en hydroxyde de calcium, communément appelée eau de chaux et qui est purgée en permanence puis stockée dans une fosse à eau de chaux où se produit la décantation [25].

L'acétylène qui se dégage de la décomposition du carbure de calcium s'échappe à travers le laveur qui est garni d'anneaux de contact et dans lequel des gicleurs assurent le débit de l'eau de lavage destinée à l'épuration primaire de l'acétylène.

A la sortie du laveur du générateur, l'acétylène est canalisé vers le gazomètre à travers un intercepteur hydraulique dont le rôle est de s'opposer au retour de l'acétylène stocké dans le gazomètre vers le générateur, c'est en fait un clapet anti-retour.

L'acétylène sortant du gazomètre est canalisé vers le compresseur entraîné par un moteur antidéflagrant.

L'acétylène entre à l'aspiration du premier étage de compression ou il est comprimé de 0,03 à 2,2 bars, et refoulé dans des serpentins de refroidissement, peut être refroidi à contre courant d'eau de refroidissement, avant d'être canalisé vers l'aspiration du 2ème étage de compression, il est comprimé de 2,2 bars à 8,2 bars 25 bars et refroidi à contre courant d'eau de refroidissement avant d'être canalisé vers l'aspiration du 3ème étage de compression dans ce dernier étage de compression, il comprimer de 8,2 bars à 25 bars maximum.

En sortant du réfrigérant de 3ème étage, l'acétylène comprimé à 25 bars est canalisé vers le filtre déshuileur, destinée à séparer les particules d'huile de lubrification du compresseur entraînées avec l'acétylène.

Après passage dans le déshuileur l'acétylène comprimé qui est saturé en vapeur d'eau, et canalisé vers le sécheur garni de chlorure de calcium pour être asséché. Ces deux derniers éléments sont installés derrière des murs en béton.

Les purges d'huile et d'eau sont collectées dans une soupape hydraulique destinée à empêcher toute entrée d'air.

L'acétylène est prêt pour procéder au remplissage des bouteilles d'acétylène. Il est canalisé vers les rampes de chargement.

Ils existent trois rampes de chargement, équipées chacune de 2 fois 10 flexibles de chargement sur les quels viennent se raccorder les bouteilles à charger. Chaque rampe est Protégée par un arrêt d'explosion prévu pour un raccordement et équipé d'un système de refroidissement des bouteilles par pulvérisation d'eau destiné à évaluer la chaleur des bouteilles consécutive à la dissolution de l'acétylène dans l'acétone.

L'équipement de chargement est complété par un poste redosage de l'acétone des bouteilles.

### 3.1.5 Les utilisations de l'acétylène

L'acétylène est utilisé pour soudage oxy-acétylénique, pour quelques opérations métallurgiques et lors de certaines opérations analytiques au niveau des laboratoires.

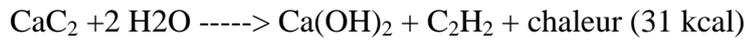
- Absorption atomique ;
- Photomètre de flamme ;
- Et pour la synthèse organique.

## 3.2 Description du système étudié

L'objectif de cette unité est de produire et d'emmagasiner dans des bouteilles en acier une quantité donnée d'acétylène, aussi pur que possible, à l'état dissous dans l'acétone, ce solvant imprégnant de manière homogène la matière poreuse[25].

La production d'acétylène est réalisée par hydrolyse du carbure de calcium.

L'hydrolyse du carbure de calcium est réalisée selon la réaction suivante :



(carbure de calcium) + (eau) ----> (chaux éteinte) + (acétylène)

La quantité de chaleur se dégageant lors de la réaction est en grande partie dissipée par apport d'eau.

La préparation de l'acétylène s'opère dans un générateur humide du quel on extrait de la chaux à l'état d'un lait à environ 10 p. 100.

Une fois l'acétylène produit, il est stocké dans un gazomètre avant d'être épuré, séché, compressé, déshuilé et mis en bouteille.

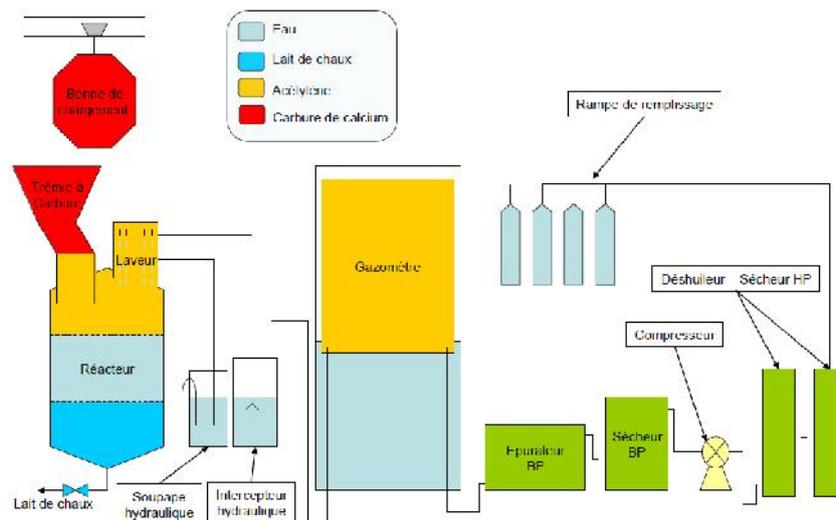


Figure 3-3 :

### **Schéma de principe de l'unité de production de l'acétylène**

#### 3.2.1 Chargement des fûts de carbure de calcium dans le réacteur

Les fûts sont stockés dans un local spécifiquement réservé à cet effet. Les fûts sont manutentionnés manuellement jusqu'à un quai d'alimentation de la benne de chargement permettant d'approvisionner la trémie du réacteur en carbure de calcium [25].



Figure 3-4 : Benne de chargement de carbure de calcium

### 3.2.2 Générateur d'acétylène

Le générateur est un générateur automatique. L'alimentation mécanique en carbure de calcium est assurée à partir de la trémie, par la rotation d'une vis dans un cylindre horizontal :

Un cliquet mû par un excentrique monté sur l'arbre de transmission pousse les unes après les autres les dents d'une roue fixée à l'extrémité de cette vis.

L'automatisme du générateur est assuré par l'asservissement du moteur de commande de la vis au niveau atteint par la cloche du gazomètre, de telle manière que le moteur se met en route lorsqu'elle atteint une certaine position basse et s'arrête lorsqu'elle atteint une certaine position haute.

La trémie mobile de chargement est chargée au sol avec du carbure de la granulométrie prescrite, montée et

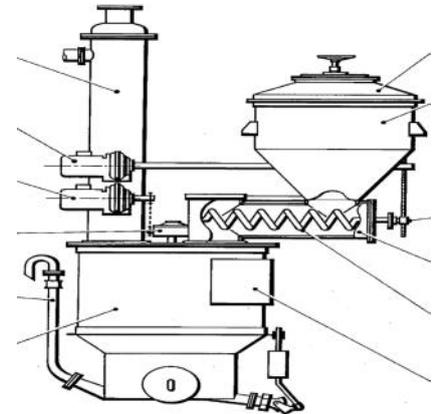


Figure 3-5 : générateur d'acétylène

Mise en place sur le distributeur à carbure verrouillée et étanche, purgée de la manière que la teneur en acétylène soit d'au moins 90%.

Le tiroir et le clapet de fermeture du distributeur à carbure sont ouverts.

La condition indispensable de sécurité étant qu'il n'y ait aucune possibilité d'entrée d'air dans le générateur.

Le carbure tombe dans le distributeur qui sert de trémie intermédiaire dimensionnée de manière à servir de réserve permettant le changement de trémie mobile de chargement.

La vis d'alimentation, entraînée par le groupe moto-réducteur-variateur antidéflagrant, alimente de carbure, en rapport avec la consommation de gaz, le générateur par la manche d'introduction et le cône répartiteur. Le carbure est retenu sur la grille oscillante.

L'agitateur est également entraîné par un groupe moto-réducteur-variateur antidéflagrant.

La quantité d'eau nécessaire à la gazéification du carbure, suivant la température que l'on fixe pour le lait de chaux, s'écoule dans la cuve du générateur, contrôlée par une vanne électromagnétique placée sur la conduite d'eau fraîche.

Cette eau, transformée par la décomposition du carbure, s'écoule en lait de chaux sous forme de boues par le siphon d'évacuation.

Les thermomètres indiquent les températures de l'eau (lait de chaux) et du gaz. La température du gaz ne doit pas dépasser 100°C alors que la température maximum autorisée pour le lait de chaux est impérativement de 70°C. Quand cette température est atteinte, un surplus d'eau fraîche est introduit dans le générateur.

Pour cela une vanne de réglage de débit, commandée automatiquement suivant la température, est placée dans le circuit d'eau fraîche, ce qui évite toute augmentation anormale de la température au dessus de la valeur maximum indiquée.

Cette vanne de réglage est reliée avec le générateur par un tube capillaire. Indépendamment de l'eau de décomposition dont l'écoulement est commandé par la vanne électromagnétique, c'est par un circuit indépendant que s'écoule l'apport d'eau fraîche complémentaire.

Afin de n'introduire dans le générateur que de l'eau dégazée, un séparateur d'air est placé sur la tuyauterie d'eau fraîche. L'air dégazé est conduit au toit par la tuyauterie.

Pour le contrôle du niveau d'eau normal dans la cuve du générateur, un hublot, ainsi qu'une tuyauterie de contrôle de niveau sont installés.

La commande de la vis d'alimentation de l'agitateur de la vanne magnétique est assurée automatiquement par les contacteurs disposés sur la base du gazomètre, qui sont actionnés par

les contrepoids suspendus aux câbles qui suivent les mouvements de montée et de baisse de la cloche du gazomètre.

Alors que la vis d'alimentation fonctionne suivant la consommation d'acétylène d'une manière discontinue, l'agitateur et la vanne magnétique sont en marche permanents.

Le débit d'eau est réglé par la vanne et éventuellement le débitmètre fourni seulement dans ces cas particuliers.

Seulement les positions extrêmes de la cloches du gazomètre – aussi bien en position haute que basse – entraînent un arrêt général de toutes les parties électriques de l'installation pendant que retentit un signal d'alarme – car cette situation traduit une anomalie de fonctionnement de l'installation.

Le gaz produit sort par le dôme de sortie de gaz qui comporte des buses de pulvérisation d'eau assurant un refroidissement du gaz en le débarrassant des particules de chaux entraînées. Ce gaz passe ensuite par la soupape hydraulique qui sert également de laveur et de là, se dirige au gazomètre [25].

### 3.2.2.1 Dispositifs de contrôle et de sécurité

#### 3.2.2.1.1 Contrôle de la pression

Le contrôle de la pression est assuré automatiquement au moyen d'une soupape hydraulique constituée par un corps cylindrique en partie rempli d'eau, équipé d'une tuyauterie de mise à l'aire libre sur laquelle peut être placé un contrôleur de circulation. La tuyauterie de liaison avec l'atmosphère du générateur plonge dans l'eau à une profondeur telle que la pression ne peut dépasser la valeur fixée pour la pression maximale en service, soit 0,035 bar.

En cas de dépassement de la pression, l'eau est refoulée du tube plongeur et le gaz s'échappe librement à l'atmosphère par une canalisation

#### 3.2.2.1.2 Contrôle de la température

Un doigt de gant soudé sur la cuve du générateur, en contact avec le lait de chaux, permet de placer un thermomètre. Un thermomètre à contact à l'extérieur du local, déclenche une alarme lorsque la température du lait de chaux atteint 85°C.

#### 3.2.2.1.3 Intercepteur hydraulique

Son rôle est d'empêcher un retour éventuel d'acétylène du gazomètre vers le générateur. Il est constitué par un récipient cylindrique contenant de l'eau, dont un siphon désamorcé évacue l'excès. Un tube plongeur situé en prolongement de la tuyauterie d'arrivée, constitue le clapet hydraulique de la soupape. Un robinet de purge est piqué sur la tuyauterie de liaison au générateur.

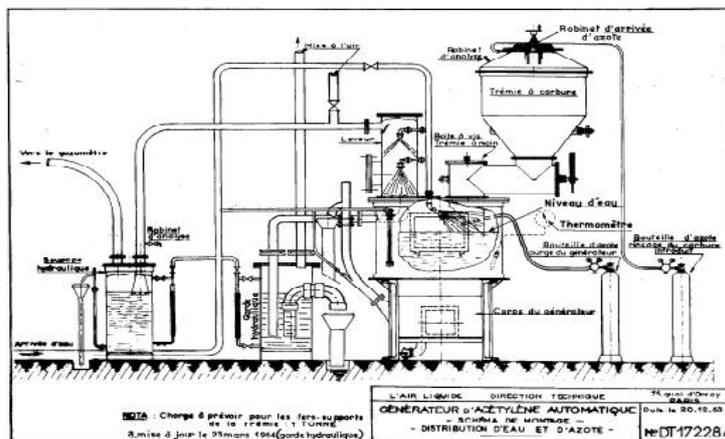


Figure 3-6 : générateur d'acétylène avec son dispositif de sécurité

### 3.2.3 Dispositifs de purification et de séchage

#### 3.2.3.1 Epurateur

L'épurateur sert à éliminer une partie des impuretés contenues dans le gaz brut qui s'accumuleraient pour une partie dans la matière poreuse des bouteilles et pour l'autre partie elle diminuerait la qualité du gaz pour quelques utilisations spécifiques.

L'épurateur se compose d'un grand récipient cylindrique, contenant deux couches de matière épurante, le catalysol, de 10 à 15 cm d'épaisseur.

#### 3.2.3.2 Sécheur basse pression

Le séchage du gaz se fait sur du chlorure de calcium.

Le séchage a une importance encore plus grande que l'épuration, car toute trace d'eau passant avec le gaz se condense dans l'acétone en lui retirant son pouvoir dissolvant.

Le sécheur basse pression est visité à 300 heures et lavé et rechargé à 600 heures.

### 3.2.4 Compresseur

Le compresseur est un compresseur à piston à 3 étages. Le premier étage de compression reçoit le gaz à la pression du gazomètre et en assure une première compression avant de l'envoyer dans le cylindre du 2ème étage de compression où le gaz est comprimé une seconde fois avant d'être transmis au cylindre du 3ème étage de compression. Ce cylindre haute pression reçoit le gaz et le comprime à la pression d'utilisation.

Une soupape de sûreté est montée après chaque étage pour protéger le compresseur. Elles permettent d'éviter toute élévation anormale de pression ; elles sont réglées à la pression de purge nécessaire à l'étage correspondant. Le gaz qui sort de ces soupapes est purgé à l'extérieur ou refoulé dans la tuyauterie d'aspiration du 1er étage par un tuyau collecteur commun.

L'étanchéité du presse étoupe est vérifiée mensuellement par le responsable technique et le responsable d'exploitation, ainsi que le gaz à la sortie du compresseur ne contient pas d'air ou tout au moins est aussi pur qu'à l'entrée par analyses à la burette tous les 3 jours.

Le refroidissement du compresseur se fait par une circulation d'eau.

Le graissage du compresseur est réalisé par remplissage du carter à moitié d'huile, un niveau permet d'en contrôler la hauteur.

### 3.2.5 Déshuileur

Son rôle est de débarrasser l'acétylène sortant du compresseur, de l'huile de graissage entraînée qui, si elle n'était pas retenue, s'accumulerait dans les bouteilles d'acétylène dissous. En outre, le déshuileur retient l'eau condensée dans les compresseurs non munis de bouteille de purge.

L'appareil est constitué :

D'un corps cylindrique en acier aux extrémités duquel sont vissés des brides de deux plateaux. Le plateau inférieur a sa face intérieure tronconique pour faciliter l'évacuation des dépôts.

Deux robinets de purge sont placés à la partie inférieure : une vanne à ouverture progressive utilisée durant la marche du compresseur environ toutes les heures et à manoeuvrer très lentement, une vanne à obturateur sphérique de passage 13 mm permettant la purge complète des impuretés et à manoeuvrer seulement après arrêt de la compression et retour à la pression atmosphérique.

L'intérieur de la bouteille est en grande partie rempli par une chaîne d'acier supportée par une plaque perforée qui repose sur le plateau inférieur.

Tous les trois mois, la chaîne est retirée et nettoyée ainsi que l'intérieur de la bouteille, après dépose du plateau inférieur, en utilisant uniquement de l'eau chaude. L'acétylène doit circuler de haut en bas.

### 3.2.6 Sécheur haute pression

Cet appareil a deux rôles :

- Améliorer la dessiccation de l'acétylène, assurée incomplètement par le séchage BP, puis par la compression,
- Empêcher les condensations d'eau dans les circuits pendant l'arrêt de l'usine.

La bouteille adoptée pour le sécheur haute pression est identique à celle utilisée comme déshuileur : corps, plateaux, brides de fermeture aux deux extrémités et deux robinets de purge.

A l'intérieur se trouve un remplissage de chlorure de calcium en morceaux et à la partie supérieure une couche filtrante constituée par du feutre.

Le sécheur haute pression est contrôlé toutes les 150 heures et nettoyé toutes les 500 heures.

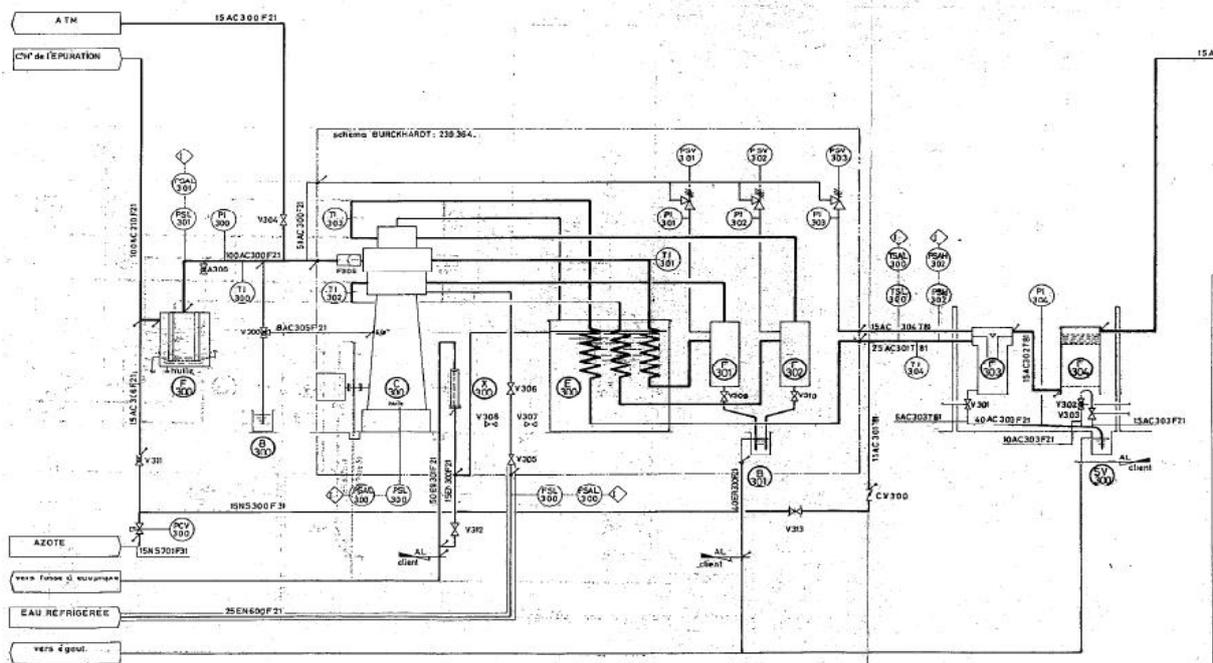


Figure 3-7 : épurateur-compresseur- Sécheur- déshuileur d'acétylène

### 3.2.7 Rampes de conditionnement

Les rampes de conditionnement comportent un collecteur muni de piquages sur lesquels sont vissés des dispositifs d'arrêt d'explosion. Les flexibles, qui relient les rampes aux bouteilles, sont équipés de clapet à bille à leur extrémité côté bouteilles.

Les rampes possèdent 4 x 15 prises. Il est prévu un robinet individuel à l'extrémité de chaque demi-rampe, afin de pouvoir contrôler par sondage la fin du conditionnement des bouteilles.

Un circuit d'eau avec des pulvérisateurs est utilisé pour le refroidissement des bouteilles par arrosage pendant leur conditionnement.

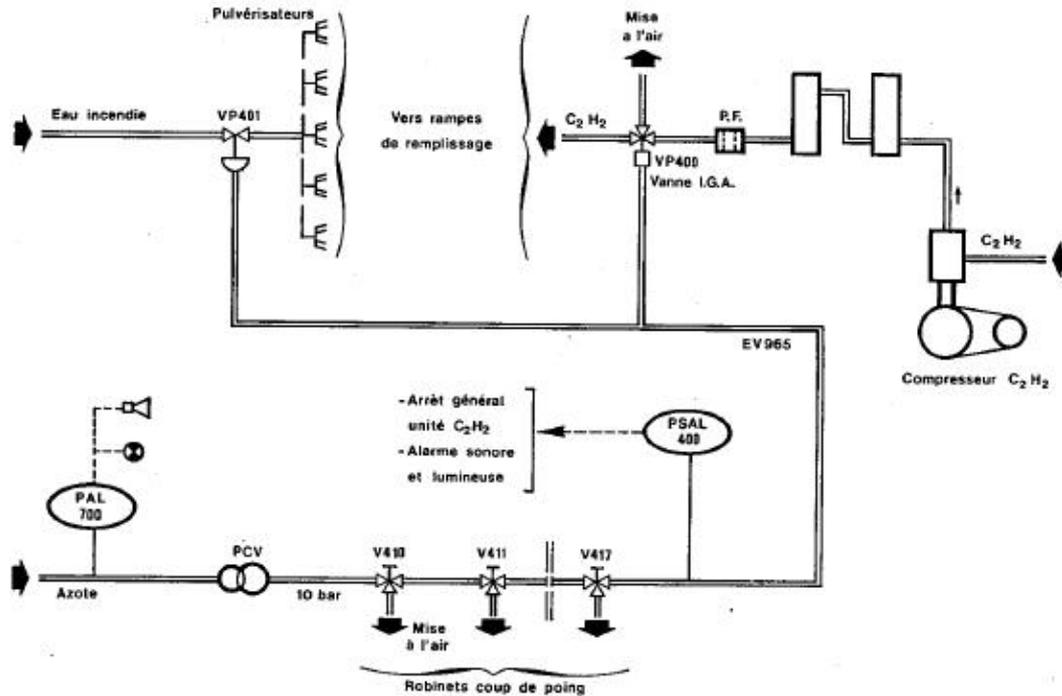


Figure 3-8 : Rampe de conditionnement d'acétylène

### 3.2.8 Contrôle et conditionnement des bouteilles à l'acétone

Les bouteilles destinées à contenir l'acétylène sont constituées par des cylindres en acier remplis d'une matière poreuse ayant pour but d'absorber l'acétone et d'empêcher toute propagation d'explosion à l'intérieur du récipient. La matière poreuse sert de support à l'acétone.

#### 3. 2.8 .1 Redoseur jaugeur d'acétone

Cet appareil est destiné à introduire dans les bouteilles avant leur conditionnement en gaz, les quantités d'acétone manquantes.

La quantité d'acétone à réintroduire dans les bouteilles est déterminée en fonction d'abaques et mesurée l'aide d'une bascule agréée. L'acétone est stockée dans une cuve de 1100 litres environ et délivrée au moyen d'une pompe située à l'extérieur du bâtiment.

#### 3. 2.8.2 Rampe de déchargement – Vidange des bouteilles

Avant chaque conditionnement, il y a lieu, pour connaître les quantités d'acétone à réintroduire dans les bouteilles, soit de déterminer les quantités d'acétylène restantes, soit de vider les bouteilles de l'acétylène qu'elles peuvent contenir. La rampe de déchargement permet de vider sans perte de gaz, les bouteilles rentrant à l'usine avec de la pression.

#### 3.2.8.3 Bascules

La bascule, appareil ATEX, sert au pesage des bouteilles après passage à la rampe de déchargement, avant dosage, puis après le dosage et enfin après chaque charge partielle en acétylène.

### 3.2.9 Stockage en bouteilles

L'acétylène produit est stocké en bouteilles de 6m<sup>3</sup> (6.66 kg) à 1 m<sup>3</sup> à une PMS de 18 bar et une pression d'épreuve de 60 bars dans la zone de stockage de la salle de conditionnement.

### 3.2.10 Entretien des bouteilles

Dans le bâtiment de production et de stockage de l'acétylène, une salle est dédiée au contrôle périodique et à l'entretien exclusivement des bouteilles d'acétylène.

## 3.3 Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une étude qui consiste à définir les caractéristiques d'un produit ou d'un système pour bien comprendre son fonctionnement. Dans le but d'offrir une vision globale et synthétique d'installation de production et de conditionnement d'acétylène (objet de notre étude), Notre principal but à partir de cette méthode SADT est de décomposer le SR, identifier ses composants et leurs fonctions ainsi que les principales interactions entre elles sous forme d'un schéma.

Nous avons tout d'abord décomposé cet élément en différents systèmes avec tous leurs équipements ainsi que les éléments d'entrée et de sortie.

L'installation d'acétylène a été décomposée en 5 systèmes :

- Système de Gazéification du carbure (genérateur ; laveur)
- Système de stockage et Purification et séchage de gaz(gazometre; epurateur; secheur) ;
- Système de compression de C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (Compresseur à piston, échangeur de chaleur) ;
- Système d'épuration et de séchage (épurateur de gaz ; Séparateur d'huile) ;
- Système remplissage des bouteilles (rampe de remplissage).

Ensuite, pour une compréhension complète, nous avons approfondie notre analyse en adoptant une démarche hiérarchique (descendante). Pour cela, nous avons préféré utiliser la méthode **SADT**.

SADT signifie : *Structured Analysis and Design Technique*. Il s'agit d'une méthode de modélisation par niveaux successifs d'une fonction assurée par un système donné avec un langage semi-formel [texte + graphique (flèches, boîtes)] en utilisant un diagramme dans lequel on présente l'activité principale dans un boîtier appelée boîte mère ou niveau A-0, les données d'entrée et les données de sortie, les données de contrôle ainsi que le système qui supporte la fonction principale.

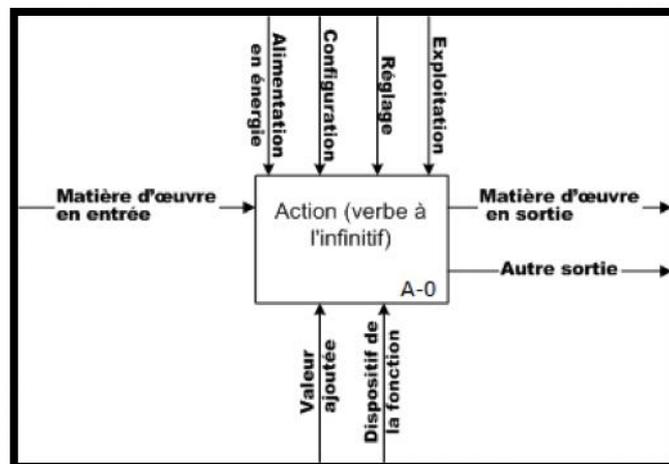
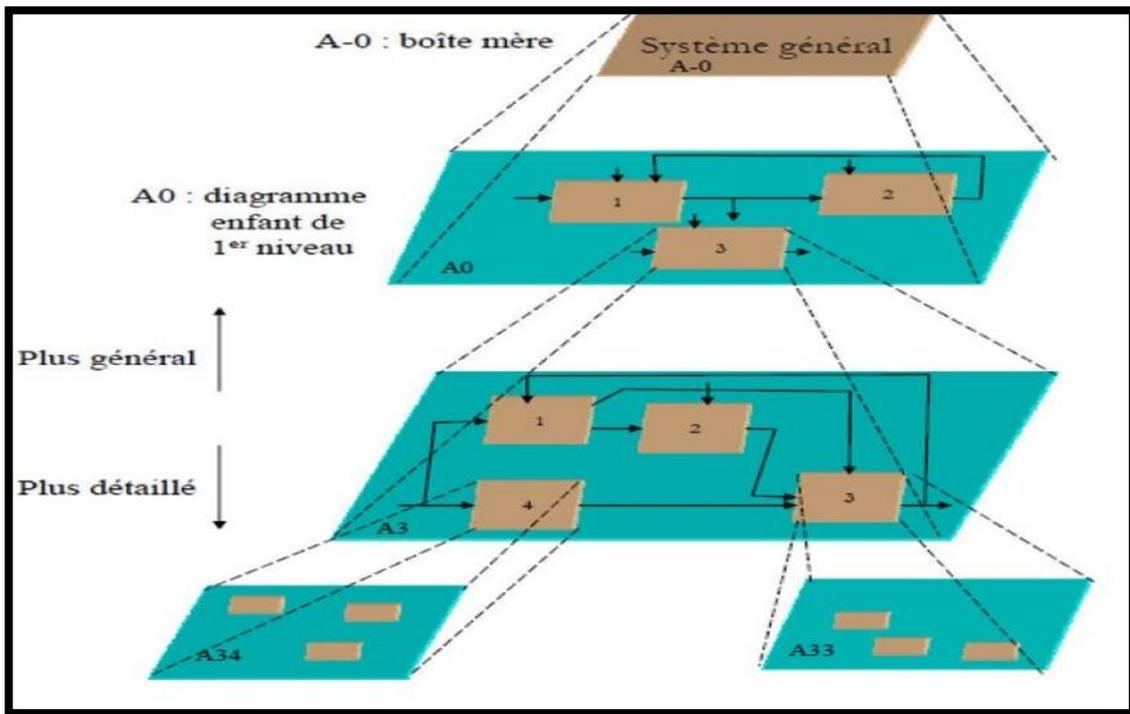


Figure 3-9 : Modèle du diagramme SADT (boîte mère).

Une construction de diagramme plus détaillée sera nécessaire si la boîte mère (niveau A0) ne permet pas une totale compréhension. Cela se fait par la présentation des sous boîtes (diagrammes enfants) en allant à des niveaux dans lesquels la description sera plus détaillée.



**Figure 3-10 : Diagramme SADT plus détaillé.**

L'application de cette méthode sur le système de production et de conditionnement d'acétylène nous a amené à construire un diagramme de cinq niveaux (A-0 ; A0 ; A1 ; A2 ; A3 et A5) qui sont présentés en annexe 1.

#### **Interprétation des résultats :**

La SADT nous a permis d'obtenir des éléments pertinents grâce à un découpage minutieux, en respectant les principes de la méthode et le cheminement des étapes prédéfinies qui a été suivi par l'identification des équipements.

*Chapitre 4*

---

**APPLICATION DES MÉTHODES  
D'ANALYSE DES RISQUES**

---

## Chapitre 4

---

# APPLICATION DES MÉTHODES D'ANALYSE DES RISQUES

---

Après une étude complète du système de production et de conditionnement d'acétylène combustible à travers sa description, son analyse fonctionnelle ; nous entamons maintenant l'étape d'appréciation des risques afférents à ce système. Dans le but de résoudre notre problématique, ce chapitre est consacré à l'application des méthodes d'analyse des risques.

Dans un premier temps il s'agira de déterminer les sous système critiques grâce à la mise en oeuvre d'une méthode d'analyse des risques appelée Analyse préliminaire des Risques (APR). ou l'ensemble des risques, ainsi que leurs interactions, on était étudiés qui a pour but d'identifier les causes et la nature des accidents potentiels ainsi que les mesures de prévention et de protection nécessaires pour en limiter l'occurrence et la gravité. Nous appliquerons par la suite la méthode **HAZOP** afin de déterminer les ER liés aux dérives des paramètres de cette installation. Après, nous allons estimer les probabilités d'occurrence des ER et des séquences accidentelles pour chaque élément de ce système en construisant des arbres de défaillances et d'évènements. Ensuite nous appliquerons la méthode **nœud papillon** dans le but de visualiser clairement les scénarios d'accidents depuis les évènements de base jusqu'aux phénomènes dangereux et leurs effets majeurs. Nous finirons par la suite ce chapitre par la simulation des effets des phénomènes dangereux.

## 4.1 L'analyse préliminaire des risques (APR)

L'analyse préliminaire des risques a pour but d'identifier les causes et la nature des accidents potentiels ainsi que les mesures de prévention et de protection nécessaires pour en limiter l'occurrence et la gravité. Elle est basée sur un processus déductif construit à partir d'ensembles de situations dangereuses déterminées a priori sur la base de la connaissance approfondie des risques liés aux systèmes suivants :

1. Sous-système de Stockage du carbure de calcium(en fut) ;
2. Sous-système de Benne de chargement ;
3. Sous-système de Générateur (reacteur) ;
4. Sous-système canalisation, la soupape d'intercepteur hydraulique ;
5. Sous-système gazomètre ;
6. Sous-système l'épurateur BP, sécheur BP, compresseur, déshuileur HP ou sécheur HP
7. Sous-système rampe de remplissage ;
8. Sous-système redoseur d'acétone
9. Sous-système Mise en stock et retrait des bouteilles d'acétylène.

Ensuite, nous avons suivi la démarche systématique de l'application de cette méthode expliquée au chapitre 2.

### Critères d'évaluation

Afin d'évaluer la criticité (score) des risques nous faisons appel à des grilles d'appréciation des probabilités d'occurrence et de la gravité qui ont été adaptées des grilles usuelles et validées par l'équipe de l'usine et l'encadrement pédagogique.

**Tableau 4.1 : grille de criticité**

Probabilité							
<b>Courant</b> – $> 10^{-2}$ / an	S'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation	<b>5</b>	<b>5.1</b>	<b>5.2</b>	<b>5.3</b>	<b>5.4</b>	<b>5.5</b>
<b>Probable</b> - $10^{-3}$ à $10^{-2}$ / an	S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation	<b>4</b>	<b>4.1</b>	<b>4.2</b>	<b>4.3</b>	<b>4.4</b>	<b>4.5</b>
<b>Improbable</b> – $10^{-4}$ à $10^{-3}$ / an	Un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial	<b>3</b>	<b>3.1</b>	<b>3.2</b>	<b>3.3</b>	<b>3.4</b>	<b>3.5</b>
<b>Très improbable</b> – $10^{-5}$ à $10^{-4}$ / an	S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais à fait l'objet de mesures correctives réduisant sa probabilité	<b>2</b>	<b>2.1</b>	<b>2.2</b>	<b>2.3</b>	<b>2.4</b>	<b>2.5</b>
<b>Possible mais extrêmement peu probable</b> $< 10^{-4}$ / an	N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial	<b>1</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
		<b>Modéré</b>	<b>Sérieux</b>	<b>Important</b>	<b>Catastrophique</b>	<b>Désastreux</b>	
		<b>Gravité</b>					
<b>Personnel présent dans l'établissement</b>	Blessures légères	Blessures	Premiers effets létaux ou irréversibles	Effets létaux ou irréversibles étendus	Effets létaux ou irréversibles largement étendus		
<b>Personne hors établissement (riverains, ERP ou voies de circulation)</b>	Pas d'effets létaux ou effets irréversibles peu étendus :	Effets létaux ou irréversibles peu étendus : □□pers. exposées SEI < 10	Premiers effets létaux ou irréversibles : □□10< pers. exposées SEI < 100 □□1< pers. exposées SEL < 10	Effets létaux ou irréversibles étendus : □□100< pers. exposées SEI < 1000 □□10< pers. exposées SEL < 100	Effets létaux ou irréversibles largement étendus : □□> 1000 pers. exposées au SEI □□> 100 pers. exposées au SEL		
<b>Matériel</b>	Dommage matériel mineur réparable	Dommages irréparables limités aux équipements de l'unité	Dommages affectant une unité adjacente (effet domino possible)	Dommages affectant les unités adjacentes (effets dominos possibles)	Dommages étendus – Dommages en dehors des limites du site		
<b>Dommages sur l'environnement naturel</b>	Pollution négligeable - Pas d'impact significatif sur l'environnement	Impact significatif sur l'environnement et nécessitant des travaux de dépollution minimes	Atteintes sévères à l'environnement limitées au site – récupération en bassin de contrôle	Atteintes majeures à des zones vulnérables hors du site avec répercussions à l'échelle locale	Atteintes catastrophiques dans une zone largement étendue hors du site - effets irréversibles (dépollution > 5 ans)		

	le risque est acceptable et aucune mesure compensatoire supplémentaire n'est à envisager
	le risque est à surveiller – des mesures compensatoires supplémentaires sont à envisager selon les cas
	le risque est inacceptable – fera l'objet d'une étude détaillée des risques

Le déploiement de la méthode **APR** nous a amené à synthétiser l'analyse dans un tableau qui est présenté en annexe 2.

**Résultats**

Les résultats obtenus par l'APR sont les suivants :

- a) Sans barrières de sécurité

**Tableau 4.2. Positionnement des sous-systèmes dans la grille sans barrières de sécurité**

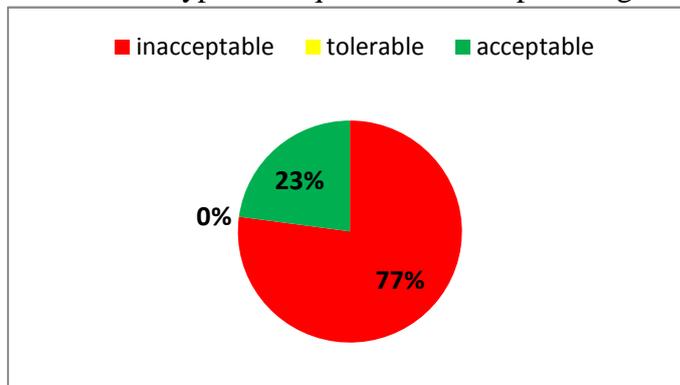
Probabilité						
5						SYS7.4-SYS7.5-SYS7.6 SYS7.7-SYS7.8-SYS9.3 SYS9.4
4	SYS2.1 SYS5.2 SYS6.1 SYS8.1			SYS9.1 SYS9.5 SYS9.5		SYS5.3-SYS5.4-SYS6.2 SYS6.3-SYS7.9-SYS7.10 SYS8.2-SYS9.2
3	SYS3.1 SYS7.1			SYS3.2 SYS3.3		SYS5.1 SYS7.2 SYS7.3
2	SYS4.1	SYS1.1				SYS3.4 SYS4.2 SYS4.3
1						
	1	2	3	4	5	
	Modéré	Sérieux	Important	Catastrophique	Désastreux	
	Gravité					

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 4.3

**Tableau 4.3. Nombre d'ER selon le type de risque**

type risque	Nombre d'ER	Pourcentage (%)
inacceptable	27	77.14%
tolérable		0.00%
acceptable	8	22.86%
TOTALE	35	100%

La répartition des ER selon le type de risque est illustrée par la figure 4.1



**Figure 4.1. Répartition des niveaux de risque selon le type**

## Synthèse des résultats

De l'APR nous déduisons :

- Le système production d'acétylène contient neuf sous-systèmes avec trente quatre différents types d'ENS.

- Le sous-système :

- Générateur, canalisation ;
- La soupape l'intercepteur hydraulique ;
- Gazomètre, l'épurateur BP sécheur BP ;
- Compresseur, déshuileur HP ou sécheur HP ;
- Rampe de remplissage ;
- Redoseur d'acétone ;
- Mise en stock et retrait des bouteilles.

Sont les sous-systèmes qui se situent dans la zone à risque inacceptable (76.47%)

- Les risques acceptables représentent 23.53% de la totalité des risques, alors que le risque tolérable n'existe pas.

Cette analyse nous a permis de définir le nombre des événements non souhaité par sous-systèmes critiques a savoir

- Générateur 3/4 événement redoutés ;
- Canalisation, la soupape l'intercepteur hydraulique 2/3 événement redouté ;
- Gazomètre l'épurateur BP sécheur BP 3/4 événement redouté ;
- Compresseur, déshuileur HP ou sécheur HP 2/3 événement redoutés ;
- Rampe de remplissage 9/10 évènements redoutés ;
- Redoseur d'acétone 1/2 évènements redoutés ;
- Mise en stock et retrait des bouteilles 7/7 évènements redoutés.

### b) Avec barrières de sécurité

La matrice de criticité tenant compte des barrières de sécurité est représentée par le tableau 4.4

**Tableau 4.4. Positionnement des sous-systèmes dans la grille avec barrières de sécurité**

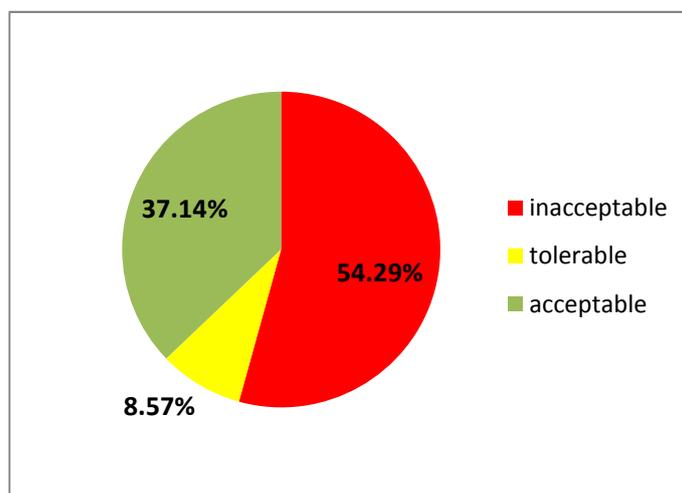
Probabilité					
5					
4				SYS7.4-SYS7.5-SYS7.6 SYS7.7-SYS7.8- SYS7.9- SYS7.10-SYS9.1-SYS9.5 SYS9.5-SYS9.2-SYS9.3 SYS9.4	
3	SYS2.1 SYS5.2 SYS6.1 SYS8.1			SYS5.3-SYS5.4-SYS6.2 SYS6.3 SYS8.2- SYS5.1	
2	SYS1.1 SYS3.1 SYS7.1		SYS3.2 SYS3.3	-SYS7.2- SYS7.3	
1	SYS4.1			SYS3.4 SYS4.2 SYS4.3	
	1	2	3	4	5
	Modéré	Sérieux	Important	Catastrophique	Désastreux
	<b>Gravité</b>				

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 4.5

**Tableau 4.5. Nombre d'ER selon le type de risque avec barrières**

Type risque	Nombre d'ER	Pourcentage (%)
inacceptable	20	52.94%
tolérable	2	8.82%
acceptable	13	38.24%
TOTALE	35	100%

La répartition des ENS selon le type de risque est illustrée par la figure



**Figure 4.2. Répartition des niveaux de risque selon le type avec barrières de sécurité**

### Interprétation

A partir de notre réévaluation on a constaté que le système fabrication d'acétylène comporte 35 ENS.

- 20 ENS situés dans la zone des risques inacceptables (53%).
- 02 ENS situés dans la zone des risques tolérables (9%).
- 13 ENS situés dans la zone des risques acceptables (38%).

Cette analyse nous a permis de définir le nombre des événements redoutés résiduels dans la zone critique par sous-systèmes avec application des barrières

- Gazomètre l'épurateur BP sécheur BP 3/4 événement redouté ;
- Compresseur, déshuileur HP ou sécheur HP 2/3 événements redoutés ;
- Rampe de remplissage 7/10 événements redoutés ;
- Redoseur d'acétone 1/2 événements redoutés ;
- Mise en stock et retrait des bouteilles 7/7 événements redoutés.

L'application des barrières de sécurité a permis de baisser le nombre des sous-systèmes critiques de 7 à 5 et le nombre d'événements non souhaités critiques de 27 à 19.

## 4.2 Détermination des Evènement initiateur et les causes :

L'application de la méthode APR nous a permis d'identifier les sous systeme critique, et le recensement des causes et l'évenements initiateur de l'évenements redoute.

Le tableau 4-6 rassemble les causes trouvées et evenements initateur de chaque evenement redoue centrale

**Tableau 4.6. Les causes et les evenements initiateur de l'évenement redouté**

Cause	Evenement Initiateur	Evènement Redouté Centrale
-Erreur de manipulation renversement d'un fût de carbure de calcium -Choc mecanique -Fatigue-vieillessement, corrosion dupalan - Explosion externe (effet domino)	Déversement de carbure de calcium sur l'aire de chargement dégageant d'acétylène si présence d'eau	Préséance d'une atmosphère explosive
-Fatigue-vieillessement- corrosion- Mauvaise conduite du procédé - Choc avec la benne de chargement- Travaux de maintenance par des personnes non qualifiées -Pas d'étanchéité de la trémie -Explosion externe (effet domino)	Fuite au niveau de réacteur	Perte de confinement du l'acétylène
-Choc mecanique - Fatigue, vieillessement, vibration - ou des contraintes mécaniques	Fuite au niveau de l'intercepteur hydraulique	
-choc -Corrosion, vieillessement - travaux par points chauds	Fuite ou rupteur au niveau canalisation	
-Choc mecanique - Fatigue, vieillessement, vibration - des contraintes mécaniques	Fuite au niveau de la soupape	
-Choc - Fatigue, vieillessement, corrosion, vibration - travaux de maintenance générant des points chauds ou des contraintes mécaniques	Fuite au niveau degazomètre	
-Choc mecanique - Fatigue, vieillessement, corrosion, vibration - travaux de maintenance générant des points chauds ou des contraintes mécaniques	fuite de l'épurateur BP	
-Choc mecanique - Fatigue, vieillessement, corrosion, vibration - travaux de maintenance générant des points chauds ou des contraintes mécaniques	Fuite au niveau du sécheur BP	
-Choc mecanique - Fatigue, vieillessement, corrosion, vibration - travaux de maintenance générant des points chauds ou des contraintes mécaniques	Fuite au niveau compresseur	
-Choc mecanique - Fatigue, vieillessement, corrosion, vibration - travaux de maintenance générant des points chauds ou des contraintes mécaniques	Fuite au niveau déshuileur HP	
-Choc - Fatigue, vieillessement, corrosion, vibration - travaux de maintenance générant des points chauds ou des contraintes mécaniques	Fuite au niveau sécheur HP	
-Travaux de maintenance par des personnes non qualifiées -surpression	Perte d'étanchéité au niveau d'une jonction	
-Fatigue, vieillessement, corrosion - Mauvaise conduite de l'équipement - Intervention de maintenance générant des points chauds -Choc mecanique - Incendie - Explosion externe (effet domino)	Fuite au niveau rampes de remplissage	
- Chute d'une bouteille – mauvaise manipulation manuelle ou non respect des consignes -Bouteilles d'origine défectueuses - Erreur humaine ou malveillance - Explosion externe (effet domino)	Fuite au niveau d'une bouteille d'acétylène	
Défaut du système d'inertage – présence d'oxygène dans le réacteur au moment de la réaction - Défaut de l'intercepteur hydraulique (retour d'acétylène depuis le gazomètre au niveau du réacteur) - Mauvaise conduite de l'équipement - Incendie externe - Entrée d'air	Préséance d'un Atmosphère explosif	Perte d'intégrité physique du réacteur
-Défaut du système d'inertage ou de purge – présence d'oxygène et d'acétylène -Travaux de maintenance générant des points chauds- -Mauvaise conduite de l'équipement (entrée d'air)	Préséance d'un Atmosphère explosif	Perte d'intégrité physique du gazomètre
-Incendie externe - Foudre - Explosion externe	Effet domino	Perte d'intégrité physique de plusieurs ou d'une bouteille
-Fatigue, vieillessement, corrosion - Mauvaise conduite de l'équipement - Choc mecanique - Explosion externe (effet domino)	Épandage d'acétone au niveau du sol	Perte de confinement du redouseur d'acétone

### 4.3 Détermination des Évènements redoutés Centraux :

Liste des évènements redoutés que nous avons tirés de l'APR sont :

1. Perte d'intégrité physique gazomètre
2. Perte de confinement d'acétylène gazomètre
3. Perte de confinement d'acétylène (compresseur, déshuileur HP ou sécheur HP)
4. Perte de confinement d'acétylène (d'une bouteille dans rampe de remplissage)
5. Perte d'intégrité physique d'une bouteille d'acétylène (rampe de remplissage)
6. Perte de confinement d'acétylène (de plusieurs bouteilles simultanément dans rampe de remplissage)
7. Perte de confinement du redoseur d'acétone
8. Perte de confinement d'acétylène (d'une bouteille dans le stock bouteille)
9. Perte d'intégrité physique de la bouteille d'acétylène (stock bouteille)
10. Perte de confinement d'acétylène (de plusieurs bouteilles simultanément dans le stock bouteille)

L'analyse des 10 ERC précédentes qui se situent dans les sous-systèmes fabrication, stockage et conditionnement d'acétylène, peuvent se résumer en deux grandes catégories :

- Perte de confinement d'acétylène
- Perte d'intégrité physique Réservoir d'acétylène

Et en tenant compte, de l'accidentologie, des agressions d'origine externe, des agressions d'origine interne nous a permis de les résumer en trois (03) ERC qui devront être étudiés dans le détail à savoir :

- ✓ Perte de confinement d'acétylène dans la chaîne de fabrication (générateur, gazomètre, conduite, jonction...)
- ✓ Perte d'intégrité physique des Réservoirs d'acétylène (gazomètre, bouteilles)
- ✓ Perte de confinement du redoseur d'acétone

En finalité, il est à signaler que cette méthode nous a fournis des causes et les événements initiateurs très utiles. Cependant, pour la construction des arbres de défaillances, il nous faudra encore plus de causes qui engendrent les ER (surpression par exemple). Nous avons à appliquer alors la méthode HAZOP par la suite.

### 4.4 Hazard operability analysis (HAZOP)

L'installation de production et de conditionnement d'acétylène est un système thermo-hydraulique dans lequel circule un fluide (gaz combustible) et la HAZOP est particulièrement adaptée à ce genre de système ; donc c'est la méthode la plus appropriée à appliquer. Elle nous permet d'extraire les événements (conséquences) engendrés par les dérives des paramètres liés à l'exploitation de l'installation étudiée, de déterminer les causes et de recenser les barrières de sécurité existantes. Cette méthode nous fournit également encore plus de causes potentielles possibles qui peuvent conduire à des événements redoutés notamment la surpression et la perte de confinement du gaz d'acétylène.

## Découpage

Le découpage de l'installation qui fait l'objet d'une analyse HAZOP est une étape primordiale et indispensable pour que l'analyse soit complète et de qualité dans notre cas, nous avons pu identifier les différentes dérives qui peuvent exister, les causes et les conséquences de ces déviations sur les sous système Générateur, Stockage et lavage et Conditionnement C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> Les paramètres exploités dans notre étude sont des paramètres qu'on a sélectionnés et qui peuvent affecter le bon fonctionnement des sous-système sus cite (selon SADT), tel que la pression, le niveau et la température.

Nous avons découpé le circuit d'acétylène en trois nœuds à savoir :

- La fabrication d'acétylène ;
- Gazomètre, épurateur, compresseur ;
- Rampe de remplissage des bouteilles.

Pour plus de clarté, nous avons identifié les nœuds choisis dans les schémas P&ID de la l'installation étudiée que nous présentons en annexe3.

## Résultats

Nous avons suivi la démarche systématique HAZOP décrite dans le chapitre 2 puis synthétisé notre analyse dans 3 tableaux (un tableau pour chaque nœud) qui sont présentés en annexe 4. Chaque tableau contient l'identification du nœud et se compose de dix colonnes. La dernière colonne, intitulée observations, est dédiée aux jugements que nous portons aux dérives. C'est une échelle de trois niveaux (tolérable, critique et inacceptable) qui sont expliquées dans le tableau 4-6.

Tableau 4-7 Classification des niveaux des dérives.

Niveau	Signification
Tolérable	Dérive dont l'effet à une répercussion sur la production
Critique	Dérive qui conduit à la surpression, à l'augmentation du niveau des condensats ou de température
Inacceptable	Dérive qui conduit directement à la perte de confinement (fuite) du gaz ou la rupture de pipes

L'analyse par l'application de la méthode HAZOP nous a permis d'extraire plusieurs dérives qui conduisent aux ER, les plus importants sont la surpression et la perte de confinement d'acétylène. Elle nous a permis également d'identifier d'autres dérives qui affectent le bon fonctionnement de l'installation. Nous résumons ci-dessous la répartition de l'ensemble des niveaux de dérives trouvées.

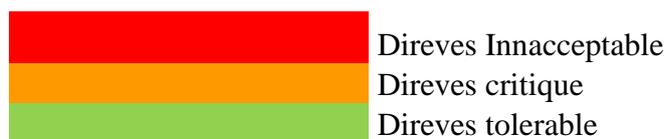
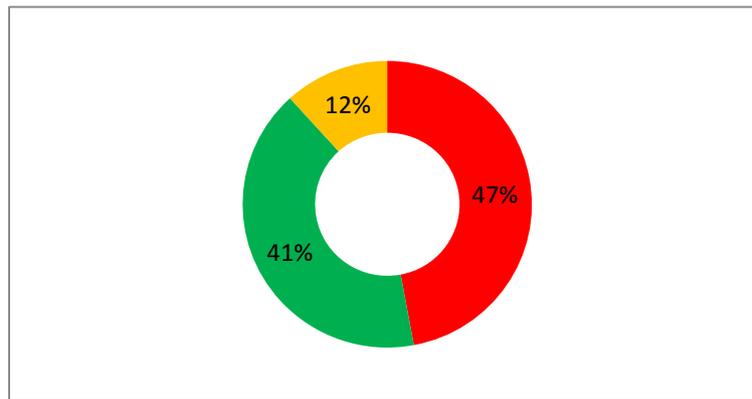


Figure 4-3 : Proportions des différents niveaux de dérives

Si nous considérons les proportions, nous observons que celle des dérives indésirables tient une place importante. Cependant, si on combine les pourcentages des dérives inacceptables et critiques, la proportion sera plus significative. Donc nous pouvons déduire que la majorité des dérives conduit aux événements tels que la surpression, la perte de confinement du gaz (fuite) ou la rupture des conduites.

Nous présentons ci-dessous la répartition des trois niveaux de dérives à travers les trois nœuds étudiés.

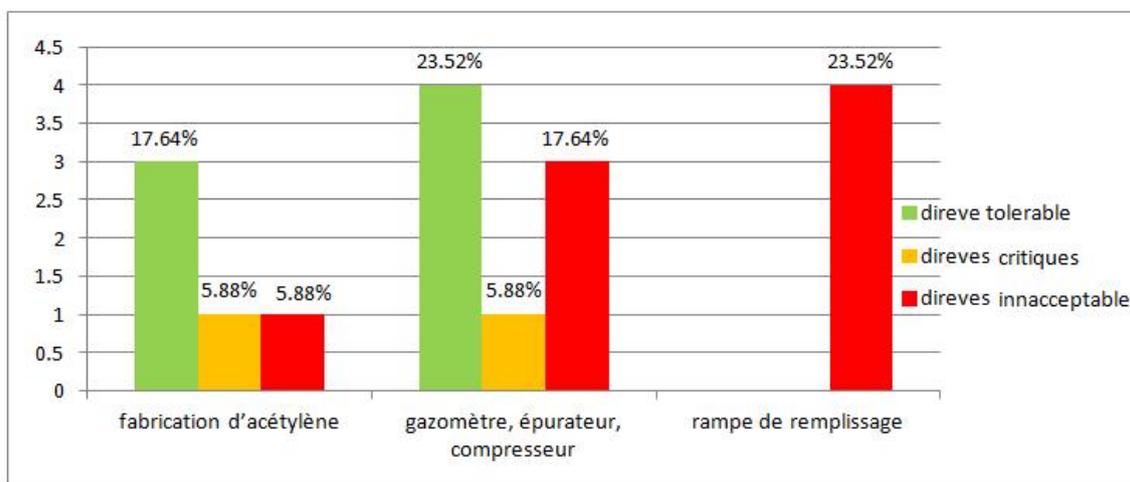


Figure 4-4 : Proportions des différents niveaux de dérives dans chaque nœud étudié.

### Résultats et interprétations :

Notre étude HAZOP (Annexe 4) nous a permis de :

- Identifier les différents paramètres (Pression, température et niveau).
- Identifier le phénomène dangereux le plus grave qui peut être survenu au niveau de nos sous système qui est le VCE.
- Déterminer les différentes causes qui provoquent des conséquences importantes.
- Recenser les différentes barrières de sécurité existantes.

## 4.5 Arbre de défaillances

### Définition de l'évènement redouté

L'utilisation des méthodes d'analyse (APR, HAZOP) nous permet d'identifier les évènements redoutés suivante :

- Perte d'intégrité physique de gazomètre ;
- Perte de confinement d'acétylène au niveau de réseau HP ;
- Perte d'intégrité physique d'une bouteille ;
- Fuite sur une bouteille d'acétylène.

Qui mérite d'être retenus pour une analyse par arbre des défaillances.

### Représentation logicielle d'Arbre-Analyse :

Nous avons utilisé le logiciel Arbre-Analyse pour la construction de l'ADD.

Arbre-Analyse est un nouvel logiciel Open-Source dont le but est de standardiser et de pérenniser les modélisations par arbre de défaillances en s'appuyant sur deux piliers : le format Open-PSA et le moteur de calcul XFTA. On a utilisé la Version 2.3.0 Stable - 15/02/2018 [5].

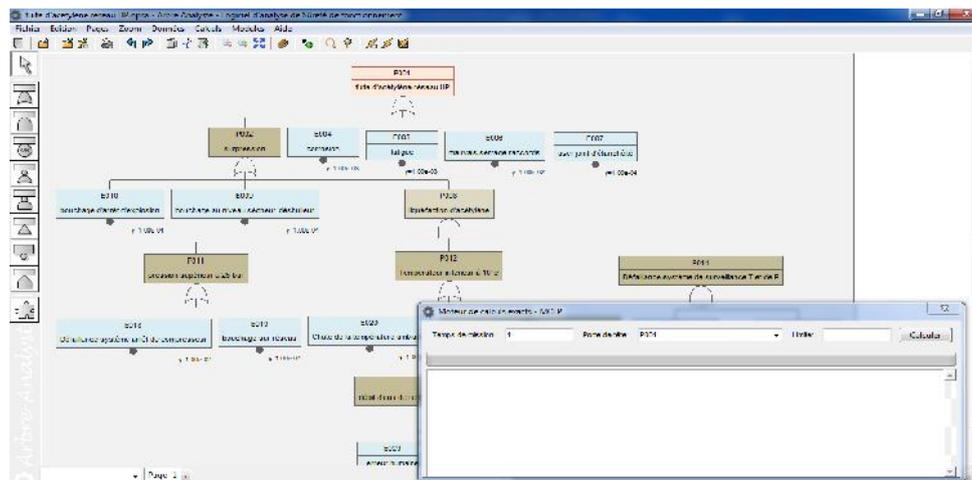


Figure 4.5 : interface du logiciel Arbre-Analyse

### Coupes minimales

L'une des méthodes d'effectuer une coupe est de calculer les pourcentages de la contribution des événements de base à la survenance de l'E.R. (c'est-à-dire sa probabilité).

Les arbres de défaillances ainsi que leur Estimation des probabilités de la survenance des événements de base et Coupes minimales sont donné dans les figures ci-dessous :

Nous schématisons les quatre arbres de défaillances dans les figures 4-6 à 4-13.

1. Perte d'intégrité physique de gazomètre

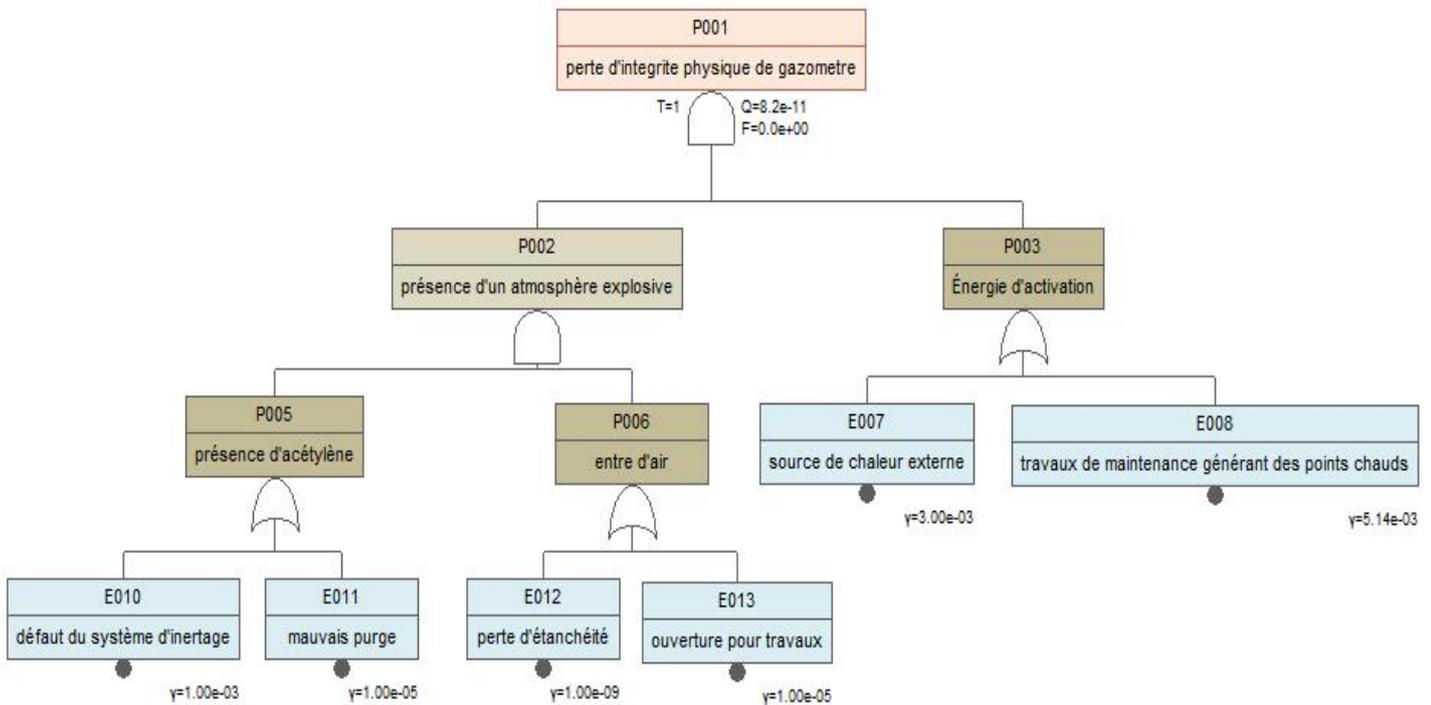


Figure4-6 : Add 1.

Moteur de calculs XFTA

Temps de mission: 1    Porte de tête: P001    Limite:    Calculer

Résumé	Importance	Coups minimaux	Probabilités	Sensibilité	Events	
N°	Quantity	Probability	Percent		F010	F013
1	3	5.14e-011	0.625135		F008	F013
2	3	3e-011	0.364865		F010	F013
3	3	5.14e-013	0.00625135		E008	E013
4	3	3e-013	0.00364865		E007	E013
5	3	5.14e-015	6.25135e-005		E009	E012
6	3	3e-015	3.64865e-005		E007	E012
7	3	5.14e-017	6.25135e-007		E008	E012
8	3	3e-017	3.64865e-007		E007	E012

Figure 4.7 Pourcentage de la contribution des évènements de base à la survenance de l'E.R

On constate que la probabilité d'événement redoute centrale perte d'intégrité de gazomètre à une faible valeur de  $8,2 \cdot 10^{-11}$  et que trois événements de base (travaux par point chaud et défaut du système d'inertage ou ouverture de gazomètre) contribuent seuls avec 63% (0.625135) à la survenance de ER.

2. Fuite acétylène au niveau de réseau HP

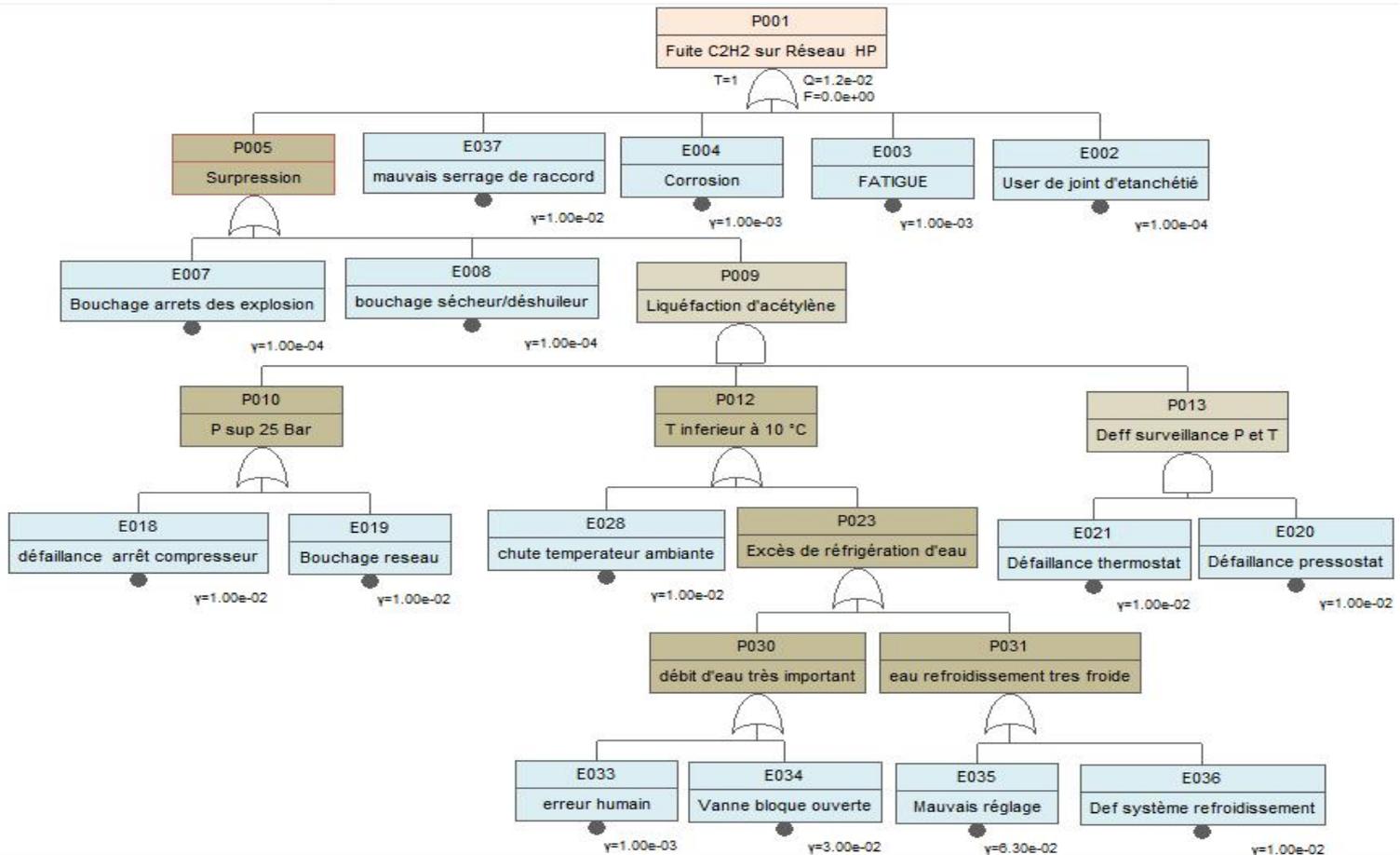


Figure 4-8 : Add 2

Moteur de calculs XFTA

Temps de mission: 1    Porte de tête: P001    Limite:    Calculer

Résumé	Importance	Coupes minimales	Probabilités	Sensibilité
N°	Quantity	Probability	Percent	Events
1	1	0.01	0.812993	E037
2	1	0.001	0.0812993	E003
3	1	0.001	0.0812993	E004
4	1	0.0001	0.00812993	E002
5	1	0.0001	0.00812993	E007
6	1	0.0001	0.00812993	E008
7	4	6.3e-008	5.12186e-006	E019
8	4	6.3e-008	5.12186e-006	E018
9	4	3e-008	2.43898e-006	E019
10	4	3e-008	2.43898e-006	E018
11	4	1e-008	8.12993e-007	E019
12	4	1e-008	8.12993e-007	E019
13	4	1e-008	8.12993e-007	E018
14	4	1e-008	8.12993e-007	E018
15	4	1e-009	8.12993e-008	E019
16	4	1e-009	8.12993e-008	E018

Figure 4.9. Pourcentage de la contribution des événements de base à la survenance de l'ER

On constate que la probabilité d'événement redoute centrale Fuite d'acétylène au niveau de réseau HP à une valeur de  $1,2 \cdot 10^{-2}$  et que la cause (mauvais serrage des raccords) de base contribue seule avec 81% (0.8129) à la survenance de l'ER

3. Perte d'intégrité physique d'une bouteille

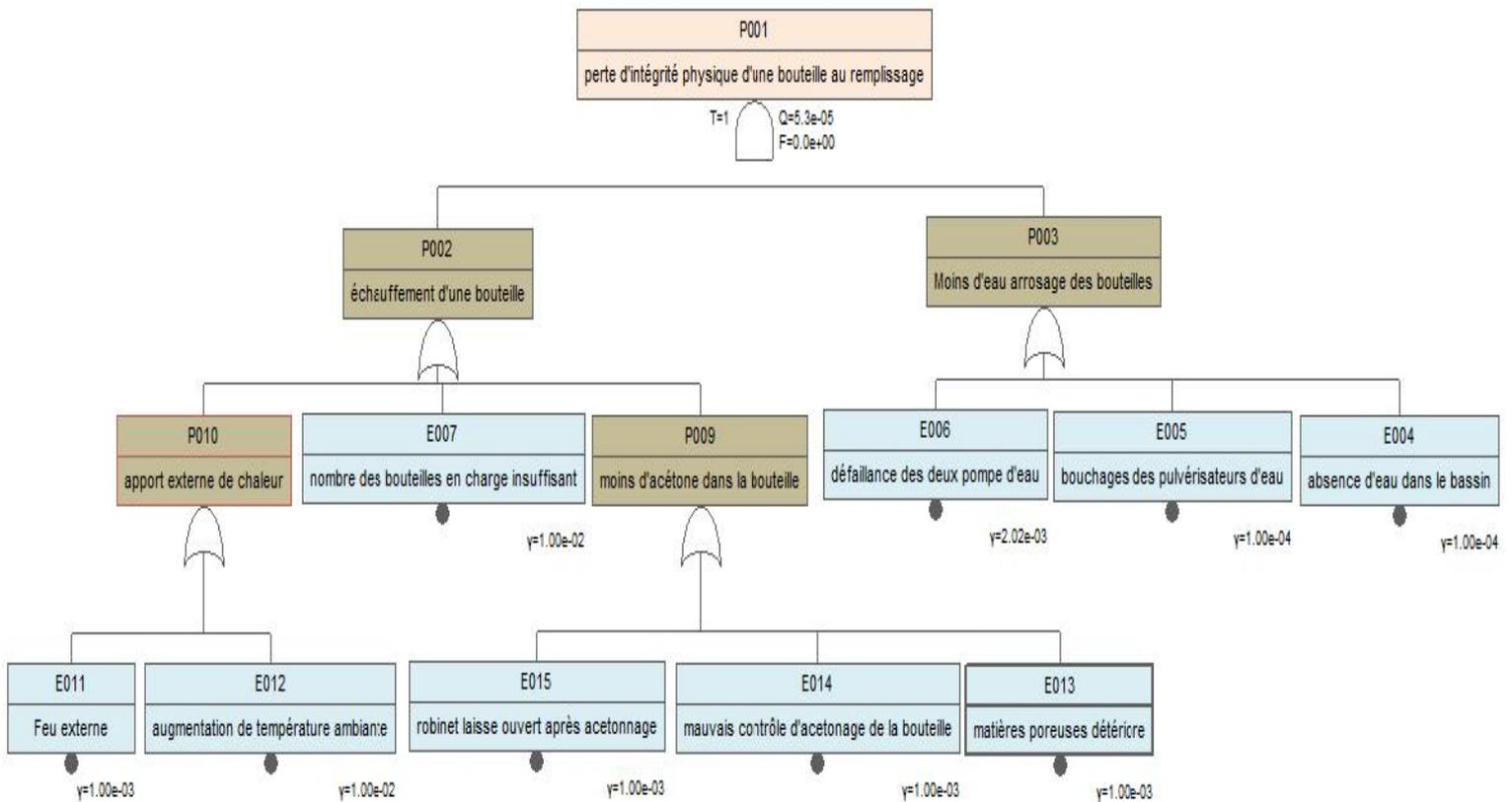


Figure 4-10 : Add 3

Moteur de calculs XFTA					
Temps de mission: 1		Porte de tête: P001		Limite: [ ]	
Résumé	Importance	Coups minimaux	Probabilités	Sensibilité	Événements
1	Quantité	Probabilité	Défaillance		E007
2	2.025e-005	0.379213	E005	E007	F012
3	2.025e-005	0.379213	L006	E007	L011
4	2.025e-005	0.379213	E005	E014	E014
5	2.025e-005	0.379213	F008	F015	F015
6	2.025e-005	0.379213	E006	E013	E013
7	1e-006	0.0187266	F005	F007	F007
8	1e-006	0.0187266	L004	L012	L012
9	1e-006	0.0187266	E004	E007	E007
10	1e-006	0.0187266	F003	F017	F017
11	1e-007	0.00187266	E002	E011	E011
12	1e-007	0.00187266	F005	F014	F014
13	1e-007	0.00187266	L005	L015	L015
14	1e-007	0.00187266	E005	E013	E013
15	1e-007	0.00187266	F004	F011	F011
16	1e-007	0.00187266	E004	E014	E014
17	1e-007	0.00187266	F004	F015	F015
18	1e-007	0.00187266	L001	L013	L013

Figure 4.11. Pourcentage de la contribution des événements de base à la survenance de l'E.R

On trouve que quatre événements (défaillance des deux pompes d'eau et nombre de bouteille en charge insuffisant ou l'augmentation de T° ambiante) de base contribuent à eux seuls avec 76% et (0.379213 + 0.379213) à la survenance de l'E.R.

4. Fuite sur une bouteille d'acétylène

Figure 4.12 Add4

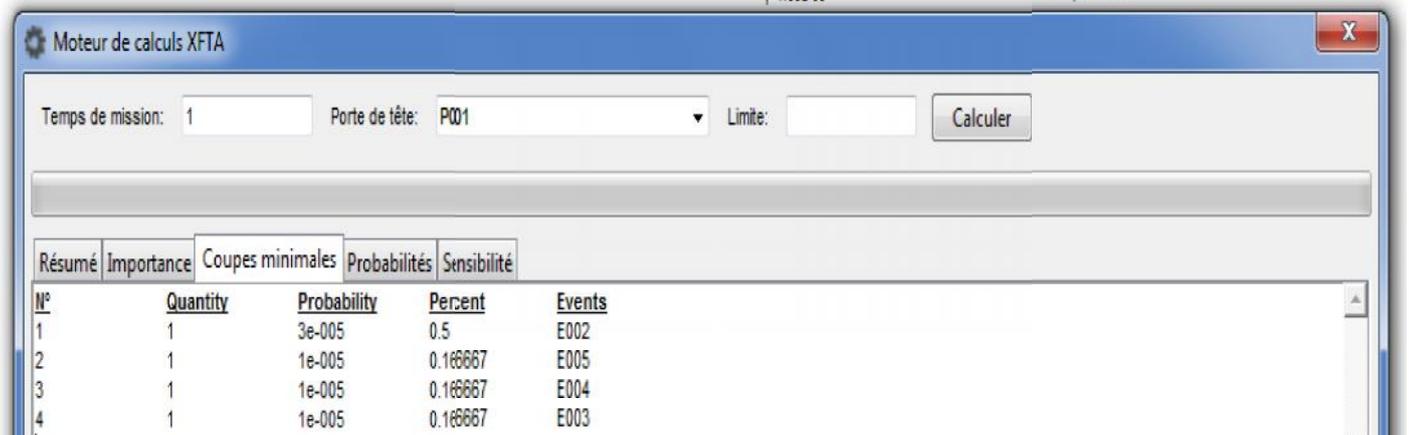
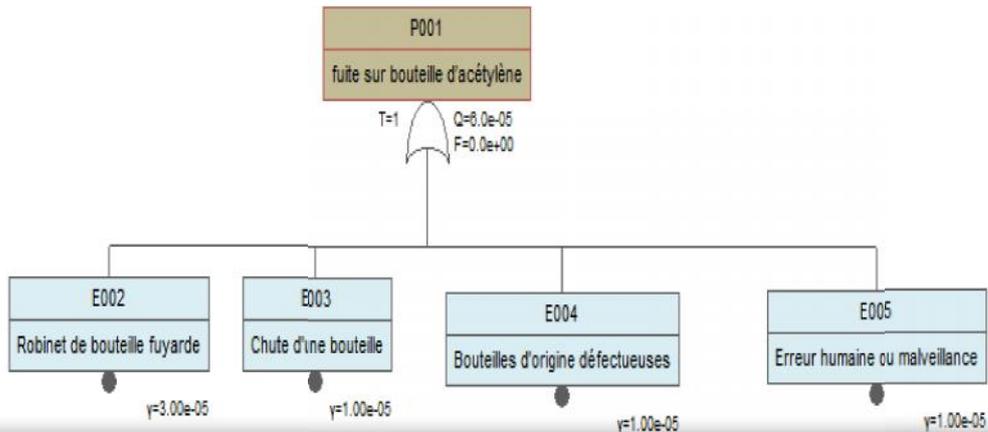


Figure 4.13 Pourcentage de la contribution des évènements de base à la survenance de l'E.R

On trouve que l'évènement (robinet de bouteille fuyarde) de base seulement represente 50% des causes responsable de la survenance de l'E.R.

**Estimation des probabilités de la survenance des évènements de base :**

Afin de tendre vers une estimation plus juste de la probabilité des évènements de bases, nous nous sommes inspirés des données contenues dans la documentation. (Base de données OREDA, PFE des étudiants des années passées).

Les probabilités des différents évènements sont présentés dans les tableaux de 4.10 au 4.13.

**Tableau 4-8 : Probabilités de défaillances des évènements de base pour l'ERC 1.**

<b>Codification</b>	<b>Evènement de base</b>	<b>Fréquence</b>
E007	source de chaleur externe	$3 \times 10^{-3}$
E008	travaux de maintenance générant des points chauds	$5.14 \times 10^{-3}$
E010	défaut du système d'inertage	$3 \times 10^{-3}$
E011	mauvais purge	$1 \times 10^{-5}$
E012	perte d'étanchéité	$1 \times 10^{-9}$
E013	ouverture pour travaux	$1 \times 10^{-5}$

**Tableau 4-9 : Probabilités de défaillances des évènements de base pour l'ERC 2.**

<b>Codification</b>	<b>Evènement de base</b>	<b>Fréquence</b>
E004	corrosion	$1 \times 10^{-3}$
E005	fatigue	$1 \times 10^{-3}$
E006	mauvais serrage des raccords	$1 \times 10^{-2}$
E007	user joint d'étanchéité	$1 \times 10^{-4}$
E009	bouchage au niveau sécheur-déshuileur	$1 \times 10^{-4}$
E010	bouchage d'arrêt d'explosion	$1 \times 10^{-4}$
E015	Défaillance thermostat	$1 \times 10^{-2}$
E016	Défaillance pressostat	$1 \times 10^{-2}$
E018	Défaillance système arrêt de compresseur	$1 \times 10^{-2}$
E019	bouchage sur réseau	$1 \times 10^{-4}$
EO20	Chute de la température ambiante	$1 \times 10^{-2}$
E026	défaillance de système de refroidissement	$1 \times 10^{-2}$
E027	mauvais réglage	$6.30 \times 10^{-2}$
E028	vanne bloquée ouverte	$3 \times 10^{-2}$
E029	erreur humaine	$1 \times 10^{-3}$

**Tableau 4-10 : Probabilités de défaillances des évènements de base pour l'ERC 3.**

Codification	Evènement de base	Fréquence
E004	absence d'eau dans le bassin	$1 \times 10^{-4}$
E005	bouchages des pulvérisateurs d'eau	$1 \times 10^{-4}$
E006	défaillance des deux pompes d'eau	$2.02 \times 10^{-3}$
E007	nombre des bouteilles en charge insuffisant	$1 \times 10^{-2}$
E011	Feu externe	$1 \times 10^{-3}$
E012	augmentation de température ambiante	$1 \times 10^{-2}$
EO13	matières poreuses détériore	$1 \times 10^{-3}$
E014	mauvais contrôle d'acetonage de la bouteille	$1 \times 10^{-3}$
E015	robinet laisse ouvert après acetonage	$1 \times 10^{-3}$

**Tableau 4-11 : Probabilités de défaillances des évènements de base pour l'ERC 4.**

Codification	Evènement de base	Fréquence
E002	Robinet de bouteille fuyarde	$3 \times 10^{-5}$
E003	Chute d'une bouteille	$1 \times 10^{-5}$
E004	Bouteilles d'origine défectueuses	$1 \times 10^{-5}$
E005	Erreur humaine ou malveillance	$1 \times 10^{-5}$

## CONCLUSION :

Cette méthode nous permet de déterminer les fréquences d'événements redoutés centraux sus cite ou On constate que la probabilité d'événement redoute centrale Fuite d'acétylène au niveau de réseau HP est le plus fréquent avec une valeur de  $1,2 \times 10^{-2}$  et que le principe de Pareto est appliquée à notre cas : 7% des causes (1 évènement de base sur un total de 16) provoquent approximativement 80% des effets.

Ce qui signifie si on agit sur les causes représentées par ces 7% on peut réduire la probabilité de l'apparition de l'événement redouté de 80%

Ces chiffres vont être utilisés pour le calcul de la probabilité d'occurrence de l'explosion dans l'arbre des effets suivante

## 4.6 Arbre d'évènements

Le suivi de la démarche qui consiste à envisager d'une manière systématique le fonctionnement ou la défaillance des fonctions de sécurité nous a amené à construire deux AdE qui sont présentés dans les figures ci-dessous.

L'étude menant jusqu'aux évènements redoutés centraux n'est pas terminée, les effets ou les scénarios sont multiples, et dépendront de la source d'ignition si elle est présente au moment de la survenance de l'ERC, et après combien de temps, trois scénarios se présentent :

1. S'il y'a pas d'ignition, il y'aura une simple dispersion des gaz dans l'air.
2. S'il y'a ignition instantanée, soit il y'aura un feu de torche jusqu'à ce que la fuite sera maîtrisée, soit inflammation du mélange, à ce moment il y'aura incendie.
3. Si l'ignition est retardée, et vu que l'acétylène est très réactif avec une large plage d'inflamabilité, dans ce cas il y' aura une formation d'un ATEX, à ce moment il y'aura explosion.

### ❖ Identification des fonctions de sécurité

Avant de construire les arbres des événements, nous identifions d'abord les fonctions de sécurité qui empêchent l'aboutissement aux ERS. Nous les présentons dans le tableau 4.14

**Tableau 4.12 : Fréquences de défaillance des équipements de sécurité [14].**

Équipement	Fréquence de défaillance	Codification
Detection C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	10 <sup>-2</sup>	P1
Alarme	2 x 10 <sup>-2</sup>	P2
Intervention humain	4 x 10 <sup>-1</sup>	P3

### Probabilité d'ignition instantanée

Le « purple book » recommande les valeurs figurant dans le Tableau (4-13) ci-dessous

**Tableau 4-13 : Probabilité d'ignition instantanée pour une installation fixe [23]**

Source		Substances		
Continué	Instantané	Liquide	Gaz (faible réactivité)	Gaz (moyenne/ fort réactivité)
< 10 kg/s	<1000 kg	0,065	0,02	0,2
10-100 kg/s	1000-10000 kg/s	0,065	0,04	0,5
> 100 kg/s	> 10000 kg/s	0,065	0,09	0,7

### Probabilité d'ignition retardée

Le tableau (4.14) suivant représente les probabilités d'ignition en une minute citée dans (Purple book) avec un ajustement relative aux conditions de site.

Tableau 4-14 : Probabilité d'ignition en une minute [11]

Source	Probabilité d'ignition dans une Minute
<b>Source Ponctuelle</b>	
Véhicule	0,4
Torche	1,0
Four à l'extérieur	0,9
Four à l'intérieur	0,45
Chaudière à l'extérieur	0,45
Chaudière à l'intérieur	0,23
<b>Source Linéaire :</b>	
Source de transmission	0,2 par 100m
Route	0,06
Chemin de fer	0,011
<b>Source surfacique :</b>	
Installation chimique	0,9 par site
Raffinerie de pétrole brut	0,9 par site
<b>Source de population</b>	
Résidentiel	0,01 par personne
Force (employés)	0,01 par personne

L'arbre des défaillances correspond à l'événement non souhaité 'Incendie/explosion' suite à la rupture d'une canalisation contenant du C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>. Il permet de décrire tous les scénarios d'accidents (les coupes de l'arbre) qui permettent d'atteindre l'ENS. Ces scénarios sont constitués de l'ensemble des événements élémentaires qui doivent se produire de façon concomitante pour que l'ENS se produise.

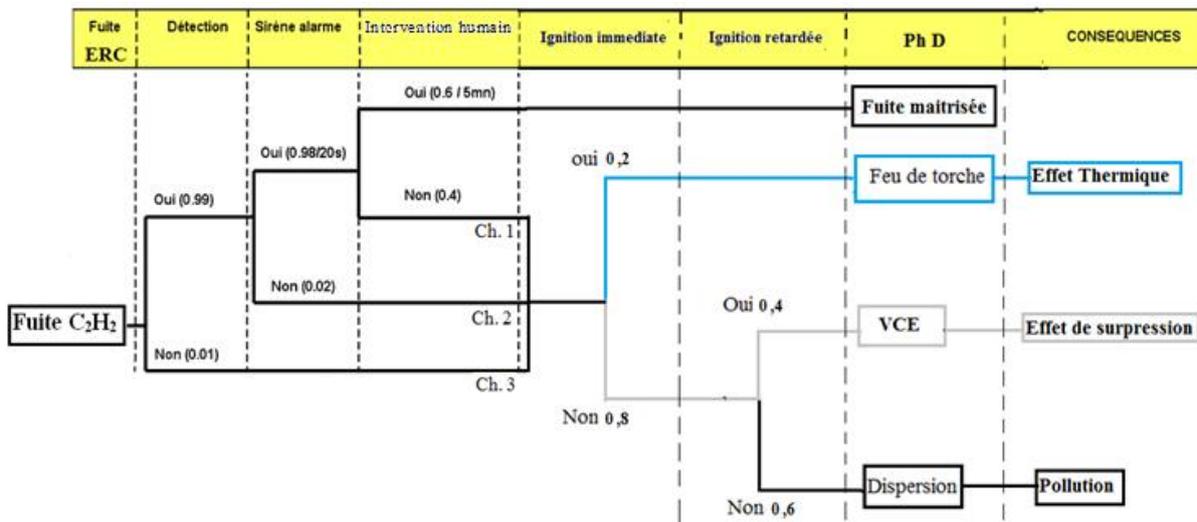


Figure 4.14 : AdE Fuite C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> sur réseau HP sans probabilité.

L'booléenne permet de traiter mathématiquement ce type d'arborescence et de déterminer facilement les coupes de l'arbre. Cette méthode est une méthode d'analyse des risques a priori de type déductive.

L'arbre des événements est un outil qui permet d'étudier quelles sont les conséquences d'un ENS suivant le fonctionnement des barrières qui sont mises en place pour limiter la gravité

des effets de l'ENS sur son environnement. L'exemple donné correspondant au fonctionnement des différentes barrières techniques et organisationnelles mises en œuvre suite à une fuite de gaz inflammable avec le calcul de la probabilité d'obtenir une fuite maîtrisée dans un délai raisonnable.

Les fréquences d'occurrence de chaque phénomène dangereux sont représentées sur les deux arbres d'événement, dans les figures ci-dessous. Ces fréquences sont calculées à partir de la fréquence de la fuite, les probabilités de fonctionnement ou la défaillance des fonctions de sécurité et les probabilités d'ignition:

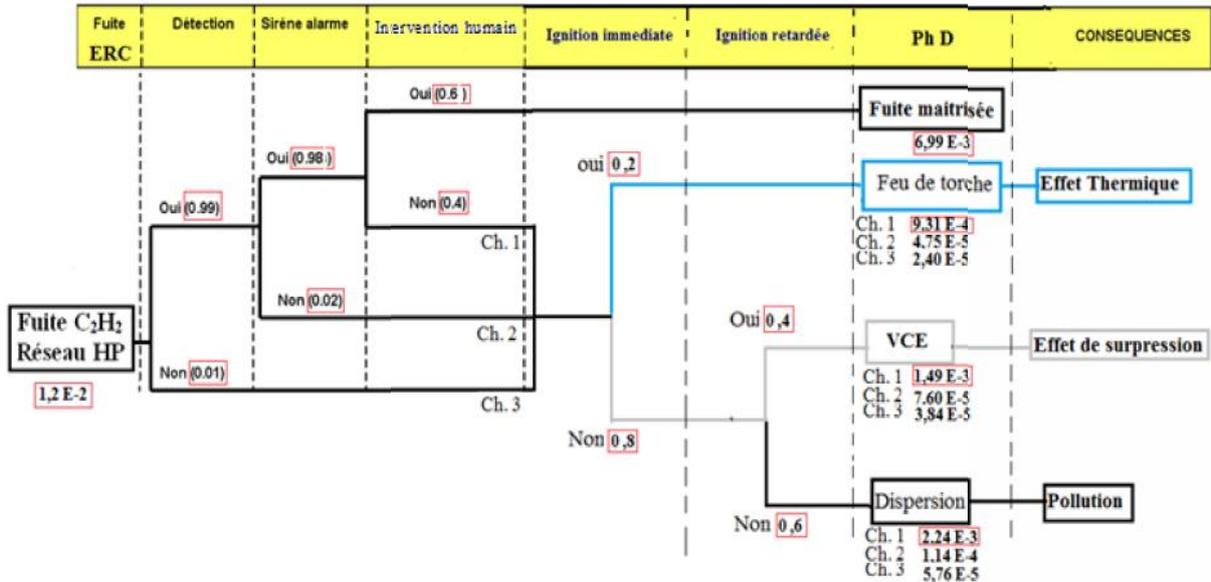


Figure 4.15 : AdE Fuite C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> sur réseau HP.

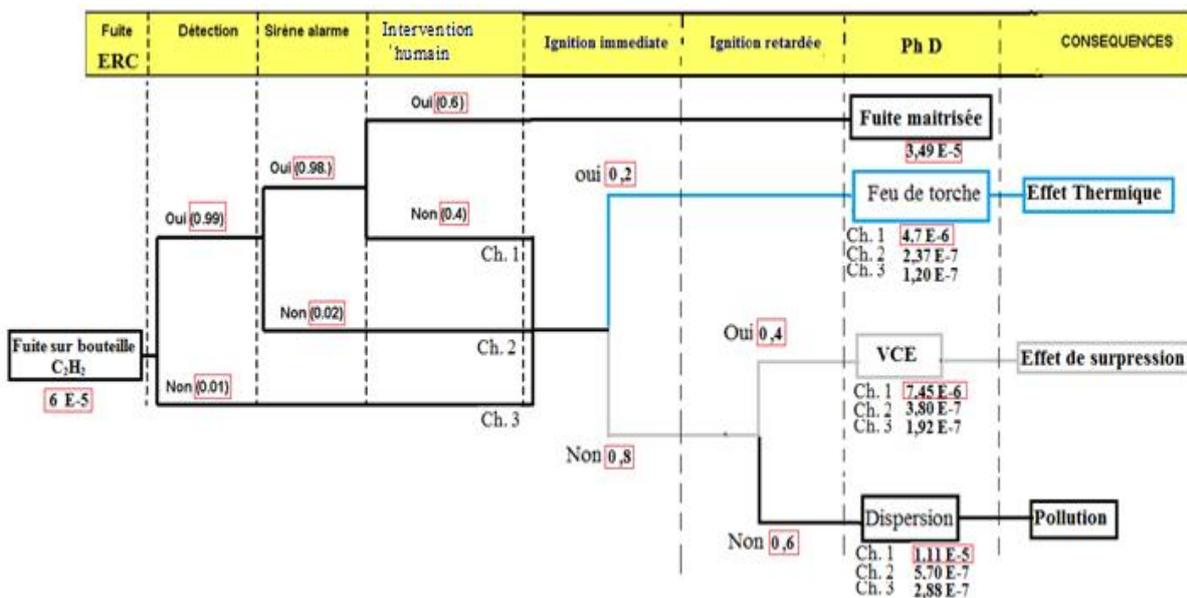


Figure 4.16 : AdE Fuite sur Bouteille C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>.

Le calcul des fréquences finales :

Le fonctionnement ou la défaillance des trois fonctions de sécurité existante nous donne trois chemins de survenance des ERS possible.

Fuite Système réseau HP C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> :

- fuite maitrise =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,6 = 6,99 \cdot 10^{-3}$
- Dispersion Ch1 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = 2,24 \cdot 10^{-3}$   
Dispersion Ch2 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,99 \cdot 0,02 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = 1,14 \cdot 10^{-4}$   
Dispersion Ch3 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,01 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = 5,76 \cdot 10^{-5}$
- Vapeur Cloud explosion (VCE) Ch1 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 1,49 \cdot 10^{-3}$   
Ch2 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,99 \cdot 0,02 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 7,60 \cdot 10^{-5}$   
Ch3 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,01 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 3,84 \cdot 10^{-5}$
- Feu de torche Ch1 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,2 = 9,31 \cdot 10^{-4}$   
Ch2 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,99 \cdot 0,02 \cdot 0,2 = 4,75 \cdot 10^{-5}$   
Ch3 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,01 \cdot 0,2 = 2,40 \cdot 10^{-5}$

Fuite Système bouteilles C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> :

- fuite maitrise =  $(6 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,6 = 3,49 \cdot 10^{-5}$
- Dispersion Ch1 =  $(6 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = 1,11 \cdot 10^{-5}$   
Dispersion Ch2 =  $(6 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,99 \cdot 0,02 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = 5,60 \cdot 10^{-7}$   
Dispersion Ch3 =  $(6 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,01 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = 2,88 \cdot 10^{-7}$
- Vapeur Cloud explosion (VCE) Ch1 =  $(6 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 7,45 \cdot 10^{-6}$   
Ch2 =  $(6 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,99 \cdot 0,02 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 3,80 \cdot 10^{-7}$   
Ch3 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,01 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 1,92 \cdot 10^{-7}$
- Feu de torche Ch1 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,2 = 4,7 \cdot 10^{-6}$   
Ch2 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,99 \cdot 0,02 \cdot 0,2 = 2,37 \cdot 10^{-7}$   
Ch3 =  $(1,20 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,01 \cdot 0,2 = 1,2 \cdot 10^{-7}$

On remarque que dans le circuit HP d'acétylène, la probabilité qu'une explosion ait lieu est la plus grande, malgré la présence des barrières de sécurité. Contrairement au Système bouteille, où on voit que les barrières de sécurité ont fait diminuer le risque d'incendie et d'explosion. D'où la nécessité d'accentuer et augmenter les mesures de sécurité concernant le circuit HP d'acétylène, et de prendre les précautions au sujet des éventuelles défaillances oubliées ou négligées.

Les probabilités pour le système bouteille sont admissibles, mais celles de système circuit d'acétylène HP ne le sont pas, effectivement, La probabilité tolérable d'un évènement doit être inférieure à  $10^{-5}$ /an selon la norme (CEI 61882) (CEI). D'où l'on remarque que pour le circuit C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> on est dans domaine intolérable,  $1,49 \cdot 10^{-3} > 10^{-5}$ .

Mais pour le local de stockage bouteille d'acétylène on est dans le domaine tolérable,  $7,45 \cdot 10^{-6} < 10^{-5}$ .

La norme [IEC-61511, 2000] décrit pour ce cas (évènement de probabilité intolérable) un système de prévention des installations industrielles, qui est le Système Instrumenté de Sécurité (S.I.S), et qui définit le niveau d'intégrité de sécurité (S.I.L) nécessaire pour les systèmes évoluant vers une voie comportant un risque pour les installations.

## 4.7 Méthod nœud Papillon

La construction des arbres de défaillances et des arbres d'événements nous a permis chacun en ce qui les concerne de mettre en évidence la combinaison des causes basiques qui engendrent la fuite ou la perte d'intégrité physique ainsi que de déployer les événements redoutés secondaires provoqués. De plus ces arbres nous ont permis de calculer les probabilités d'occurrences. Dans le but visualiser les phénomènes dangereux et leurs effets majeurs, nous schématisons maintenant les scénarios d'accidents par l'application de la méthode nœud papillon avec la fuite ou la perte d'intégrité physique comme évènement redouté centrale. Pour cela, nous combinons les AdD et les AdE élaborés pour chaque sous-système avec la mise en place des barrières de défense (protection sur les AdE et prévention sur les AdD) ; ensuite nous envisageons le développement de chaque scénario jusqu'à l'arrivée aux effets majeurs.

Les nœuds papillons sont élaborés et présentés dans les figures 4-12 à 4-15 ci-après. Nous présentons dans le tableau 4-17 les barrières de défense et leurs codes couleur.

**Tableau 4-15 : Identification des barrières de défenses.**

Code couleur	numéro	Barriere
 barrière de prévention	1	contrôle visuel des opérateurs
	2	opérateurs formés et habilités
	3	Programme d'inspection et de maintenance
	4	Consignes et modes opératoires
	5	protection métalliques robinet
	6	Procédure Visite bouteilles C2H2
	7	Equipe d'intervention et P.I.I
 barrière de protection	1	Détecteur de gaz
	2	Sirène alarme
	3	Equipe d'intervention
	4	permis de travail et permis de feu
	5	détecteurde fumée
	6	Système d'extinctiondéluge
	7	P.I.I

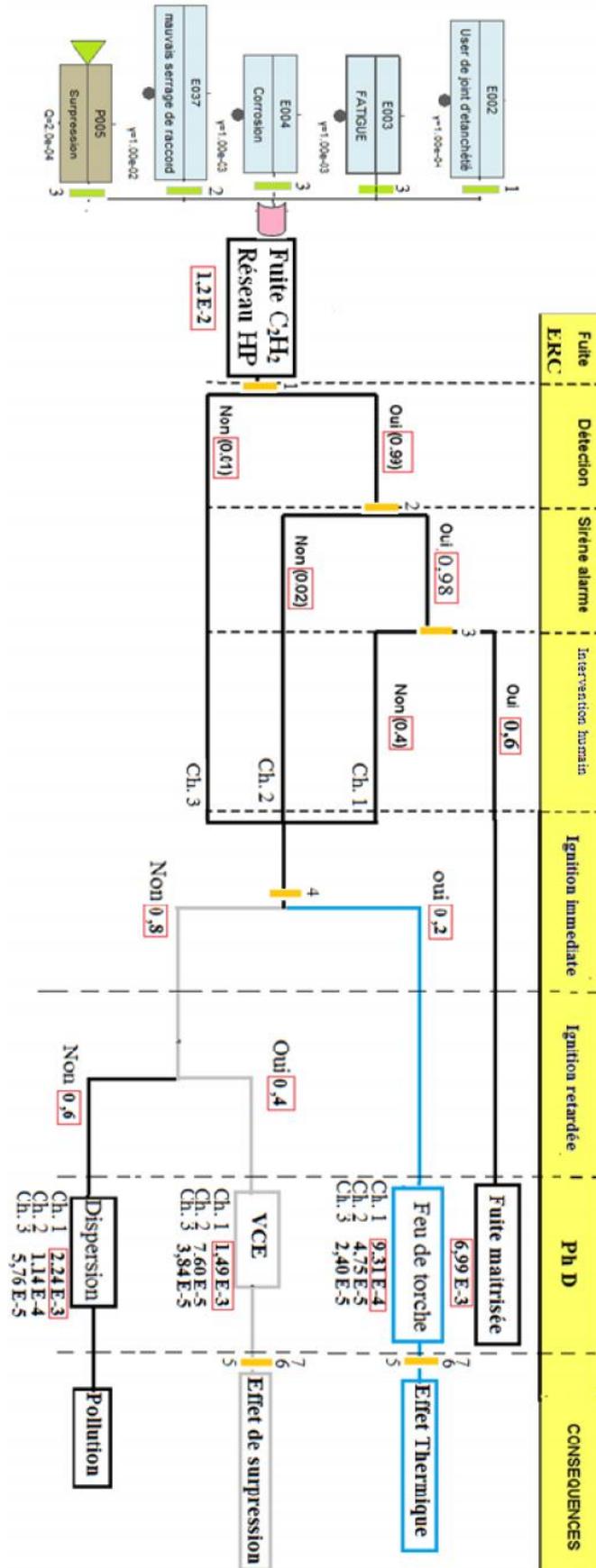


Figure 4-17 : Nœud papillon de l'ERC Fuite C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> sur réseau HP.

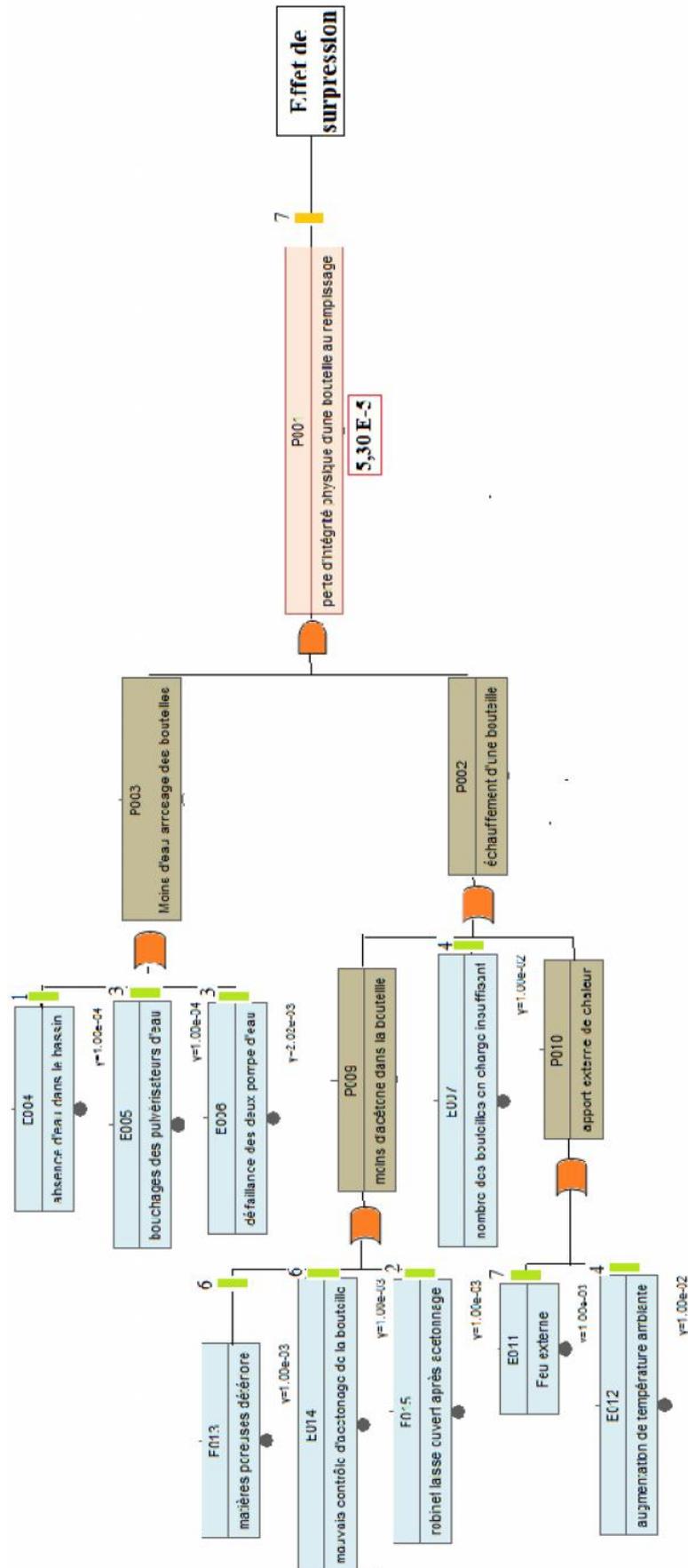


Figure 4-18 : Nœud papillon de l'ERC 'Perte d'intégrité physique d'une bouteille au remplissage'.

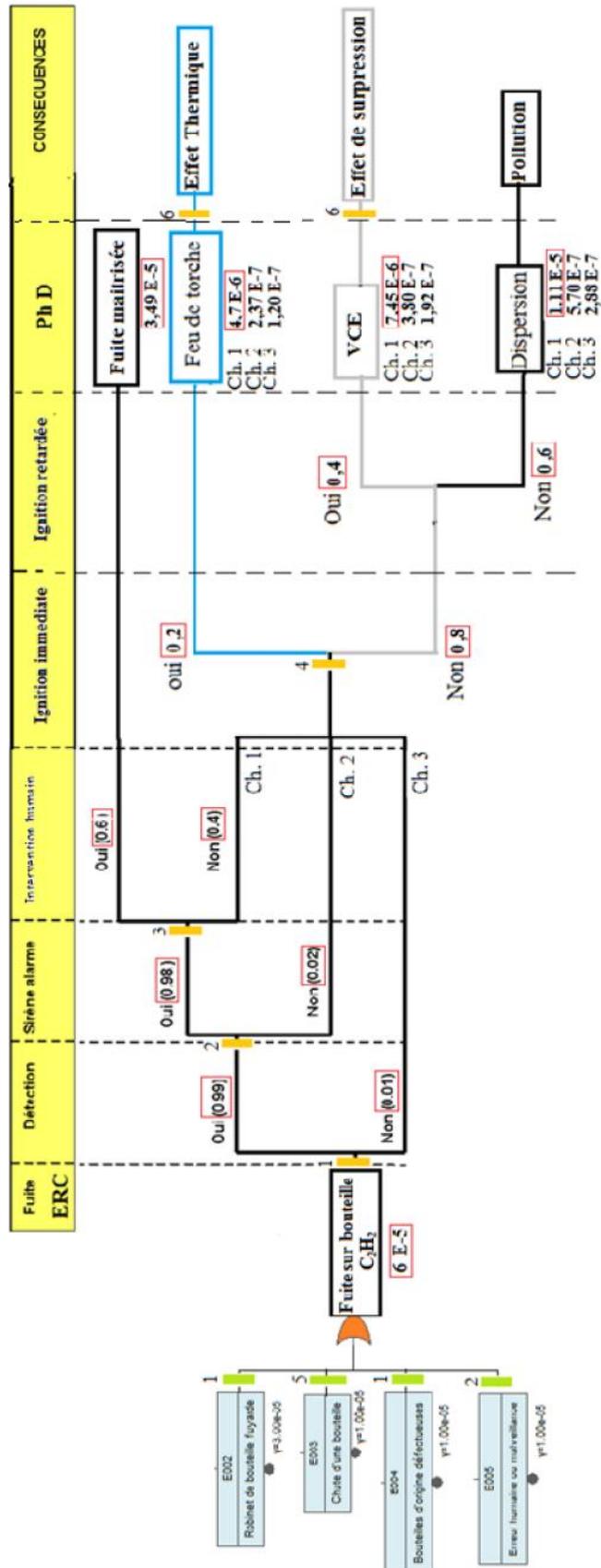


Figure 4-19 : Nœud papillon de l'ERC "fuite sur bouteille C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>".

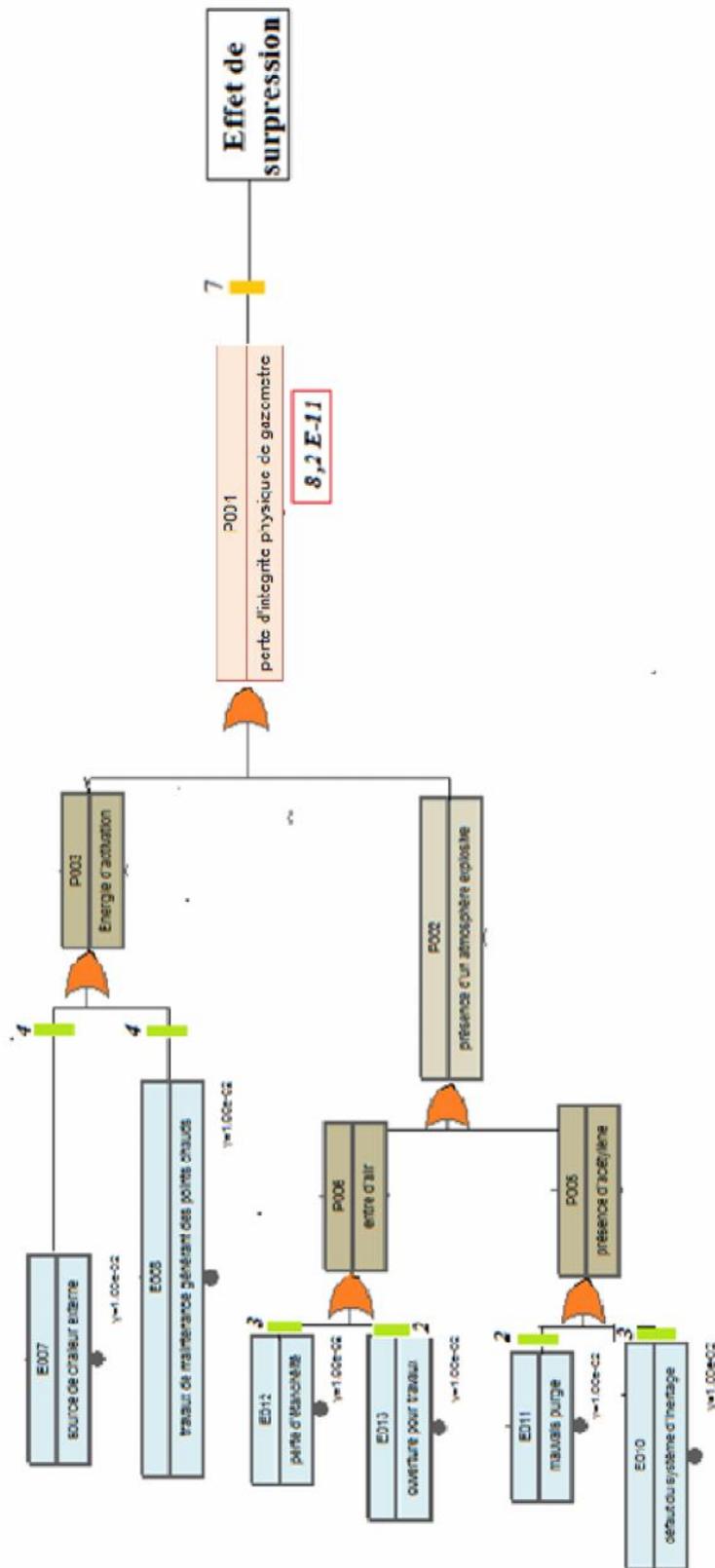


Figure 4-20 : Nœud papillon de l'ERC "Perte d'intégrité physique de gazomètre"

L'élaboration des nœuds papillons nous a permis de visualiser clairement les scénarios d'accidents qui pourraient survenir au niveau des sous-systèmes qui composent la fabrication d'acétylène. Elle nous a permis également de savoir quels genres de phénomènes dangereux aux quels nous pourrions être confrontés ainsi que la nature des conséquences néfastes qui pourraient en découler.

Pour estimer l'étendue des dégâts et de la détérioration de matériel et d'appareillage que pourrait causer l'explosion le feu de torche et la perte d'intégrité physique, il nous paraît opportun de faire une simulation des phénomènes dangereux. C'est ce qui sera traité au point suivant.

## **4.8 Simulation des effets d'incendie et d'explosion**

Les nœud-papillons élaborés ci-dessus montrent que l'explosion(VCE) et le feu torche peuvent avoir lieu dans tous les sous-systèmes étudiés. L'évènement redouté secondaire qui est à l'origine de ces phénomènes dangereux est généralement la rupture des brides de jonction en amont ou en aval de chaque équipement. Donc c'est les scénarios sur lequel notre simulation sera basée.

### **4.8.1 Critères retenus pour la détermination des zones de dangers**

#### **4.8.1.1 Effets thermiques**

Les valeurs seuils des effets thermiques de référence retenues sont [3]:

**Tableau 4-16: Seuil des effets thermiques**

<b>Valeur</b>	<b>Effet sur l'homme</b>	<b>Effet sur les structures</b>
8 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des effets létaux significatifs (SELS) correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.	Seuil des effets dominos correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures.
5 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des effets létaux (SEL) correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine.	Seuil des destructions de vitres significatives.
3 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des effets irréversibles (SEI) correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine.	

#### **4.8.1.2 Effets de surpression**

Les valeurs seuils des effets de surpression de référence retenues sont [3] :

**Tableau 4-17 : Seuil des effets de surpression**

<b>Valeur</b>	<b>Effet sur l'homme</b>	<b>Effet sur les structures</b>
200 mbar	Seuil des effets létaux significatifs (SELS) correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.	Seuil des effets dominos
140 mbar	Seuil des premiers effets létaux (SEL) correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine.	Seuil des dégâts graves sur les structures
20 mbar	Seuils des effets délimitant la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme	(Effondrement partiel des murs en briques)

Afin d'estimer l'étendue des effets au niveau de l'installation d'acétylène ainsi que les effets sur les équipements avoisinants, nous avons simulé l'incendie et l'explosion avec le logiciel PHAST. En effet, il nous a permis de représenter sur la carte géographique les périmètres qui correspondent à chaque seuil d'effet thermique et de surpression. Nous représentons dans les figures suivantes les seuils des effets létaux et irréversibles pour les personnes et les seuils des effets sur les structures.

Comme précisé au chapitre 2, la simulation des effets d'explosion de nuage gazeux a pour objectif d'obtenir la courbe de variation de la surpression en fonction de la distance en employant les modèles Numérique phast pour le senarion suivant :

#### 4.8.2 VCE suite à la fuite d'acétylène sur unité de production

Il est considéré dans cette situation accidentelle qu'un rupteur total de la section de la canalisation d'alimentation en  $C_2H_2$  De la rampe de remplissage se produit ce qui constitue le cas le plus pénalisant

Le régime régnant dans la canalisation est de 25bar de pression relative de  $C_2H_2$  gazeux, pris par hypothèse conservative à 30°C, dans une conduite de diamètre 15mm. L'alimentation est considérée en continue pour le calcul de débit à la brèche.

On calcule un débit à la brèche de 0,312 kg/s de  $C_2H_2$

La dispersion du nuage est évaluée avec le logiciel Phast dans les conditions météorologiques 5D, 1.5 D et 1.5 FNC (La dispersion se fait en réalité dans le local du conditionnement. La prise en compte des conditions météorologiques confère un caractère conservatif au calcul). Le résultat de la modélisation est représenté ci-après.

On obtient l'étendue du nuage à la LII de 10,5m (les conditions météorologiques 1.5 F)

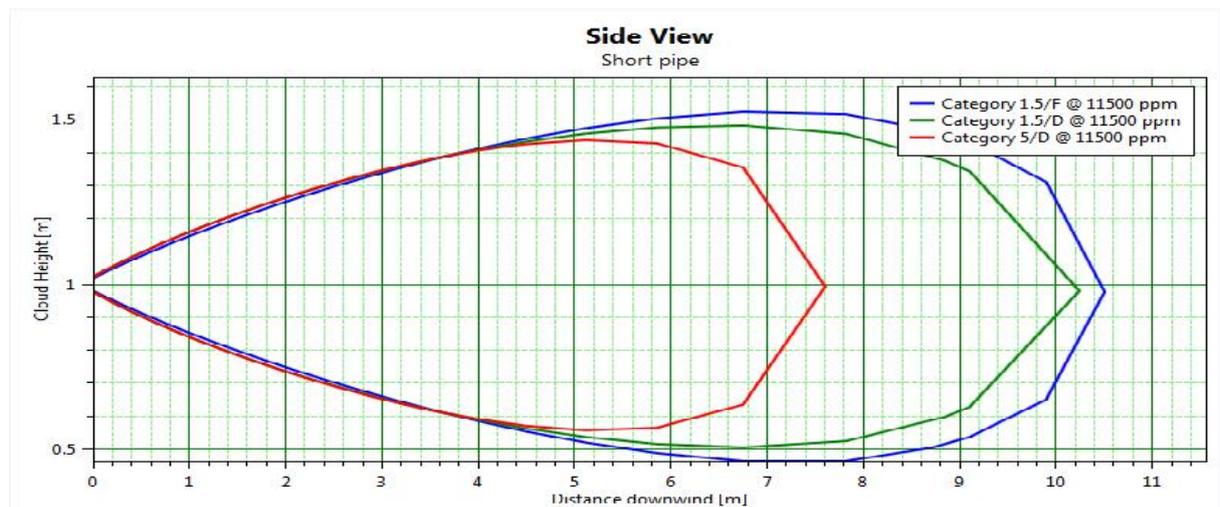


Figure 4-21 : La dispersion du nuage

#### Définition des zones encombrées

Le nuage de gaz se disperse sur une distance R, représentant la portée maximale de la limite inférieure d'inflammabilité (LII) : RLII = 10,5m

Considérant que la fuite se produit sur la canalisation de  $C_2H_2$  gaz reliant le compresseur à la rampe de remplissage, la zone encombrée est définie comme le volume du local de production de  $C_2H_2$  (900 m<sup>3</sup>) avec un degré de sévérité/confinement 10 (confinement quasi-total et forte densité d'obstacles).

Résultats d'évaluation des effets de surpression du VCE

Les zones de dangers sont obtenues avec la méthode Multi-Energie modélisée avec Phast 7.2 en cas de scénario de VCE. Ces zones sont les suivantes :

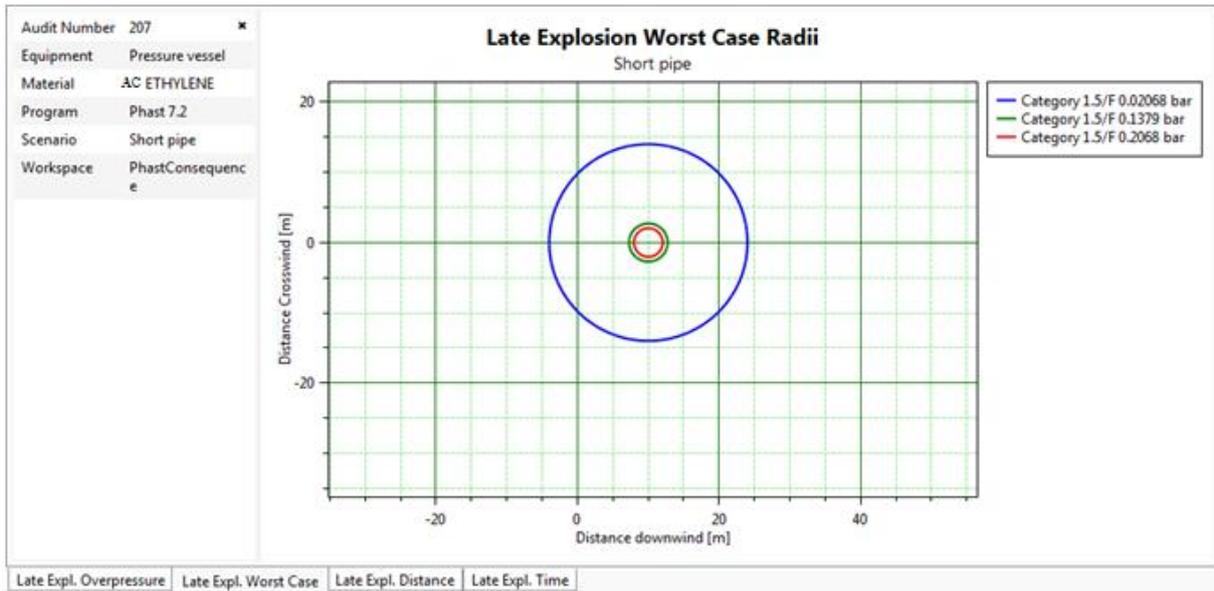


Figure 4-22 : Distance des effets de la surpression à (200, 138 et 20 mbar).



Figure 4.23. Présentation des rayons de surpressions critiques sur la carte géographique

Tableau 4.18. Surpression en fonction de la distance

Météo : 1.5F NC	
Zone C2H2	
Surpression	Distance
200 mbar	12m
140 mbar	12,7m
20 mbar	24m

❖ **Interpretation**

La figure 4-23 nous indique qu'il y a possibilité d'effets létaux jusqu'à une distance maximale de 12 mètres sur les personnes (cercle en rouge). Quant aux effets indirects par bris de vitre sur l'homme, la figure montre que l'onde de choc correspondante à ces effets (20 mbar) est ressentie jusqu'à une portée de 24 mètres (cercle en bleu). Nous remarquons sur la figure que le premier cercle (rouge) couvre l'atelier de conditionnement et de stockage des bouteilles tandis que le deuxième (bleu) qui correspond à une surpression de 20 mbar inclue pratiquement toutes les zones dédiées aux piétons et voies de circulation.

Nous signalons que toutes les voies de circulation sont fortement fréquentées par les opérateurs, donc en cas d'évènement d'explosion de gaz, la population se trouvant dans un rayon de 12.7 mètres sera exposée à une onde de choc mortelle de 140 mbar et celle qui se trouve dans une position quelconque entre 12.7 et 24 mètres subira une surpression de supérieur 20 mbar qui se caractérise par des effets irréversibles pour la vie humaine jusque 50 mbar ou des effets indirects à 20 mbar.

**4.8.3 VCE suite à la fuite sur bouteille d'acétylène**

Les bouteilles de C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> sont présentes soit dans l'unité de conditionnement du bâtiment de production de C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, soit dans le local où elles stockées pour la vente.

Les hypothèses suivantes sont retenues pour le calcul des conséquences d'une brèche sur une bouteille de C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> qui constitue le scénario initial en l'absence de source d'inflammation immédiate.

Sur la bouteille, la brèche considérée est un sectionnement du robinet d'une bouteille réalisant ainsi une ouverture de 23,2mm (cas pénalisant). La brèche est considérée à 140cm au niveau du sol (bouteille stockée verticalement) avec un jet horizontal (cas pénalisant).

La rupture du robinet conduit à la perte de confinement de la bouteille. Le nuage gazeux formé se disperse à l'atmosphère. Le C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> gazeux rejeté après la brèche peut former un mélange inflammable et explosible par dispersion et dilution dans l'air.

En premier lieu, la dispersion d'un nuage inflammable compris entre les limites d'inflammabilité du C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> par le débit à la brèche avec les caractéristiques ci-après est calculée.

**Tableau 4.19. Caractéristiques de scénario**

	<b>Caractéristique(s)</b>	<b>Commentaires / Remarques</b>
Equipement concerné	Bouteille de C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> dissout	Bouteille de 6,66 kg de C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Diamètre de l'ouverture concernée par le scénario	Diamètre interne : 23,2 mm	Hypothèse conservative : sectionnement du robinet
Température de service	30 °C	
Pression de service	18 bars	PMS
LII	2,2 % vol	
LSI	85 % vol	

Évaluation des effets de surpression du VCE

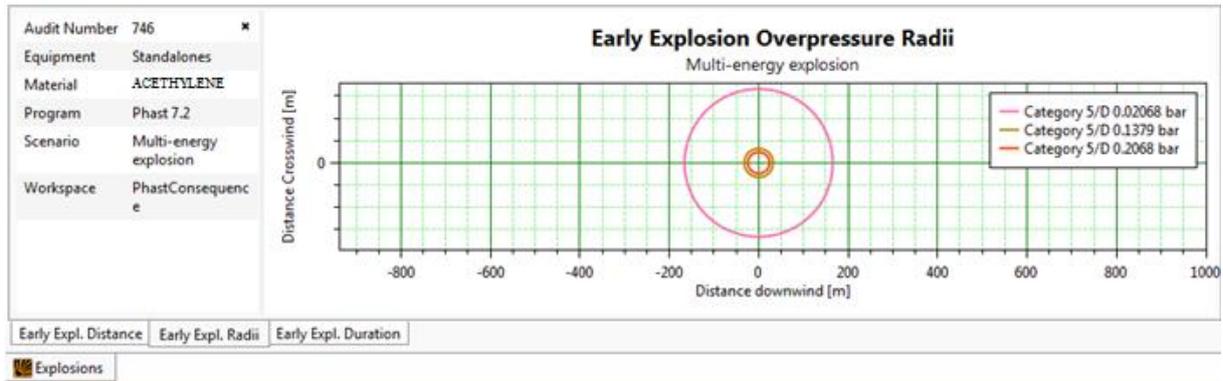


Figure 4-24 : Distance des effets de la surpression (200, 138 et 20 mbar).



Figure 4.25. Présentation des rayons de surpressions critiques sur la carte géographique

Tableau 4.20. Surpression en fonction de la distance

Météo : 5D NC	
Zone C2H2	
Surpression	Distance
200 mbar	24m
140 mbar	32m
20 mbar	165m

❖ **Interpretation**

La figure 4-25 nous indique qu'il y a possibilité d'effets létaux jusqu'à une distance maximale de 24mètres sur les personnes (cercle en rouge). Quant aux effets indirects par bris de vitre sur l'homme, la figure montre que l'onde de choc correspondante à ces effets (20 mbar) est ressentie jusqu'à une portée de 165 mètres (cercle en rose). Nous remarquons sur la figure que le premier cercle (rouge) couvre l'atelier de conditionnement et de stockage des bouteilles et les voies de circulation tandis que le deuxième (rose) qui correspond à une surpression de 20 mbar à un effet mêmeal'extérieur de l'établissement.

#### 4.8.4 FEU TORCHE

Le phénomène de feu torche ou de torche enflammée peut se produire sur des réservoirs contenant des gaz combustibles sous pression. Ce phénomène sera étudié pour les fuites enflammées sur :

- Une bouteille d'acétylène ;
- Une conduite d'acétylène dans l'unité de production.

Les hypothèses pour le terme source sont celles prises pour le calcul des VCE de ces équipements (rupture guillotine du robinet ou 100% de la canalisation). Les débits à la brèche seront ceux calculés précédemment.

#### Simulation de feu torche sur unité d'acétylène

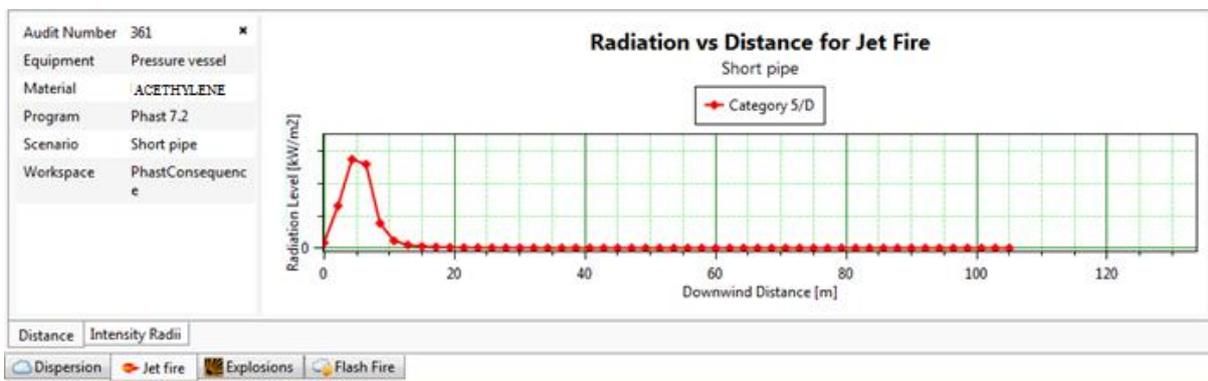


Figure 4-26 : Distance des effets de l'effet thermique.

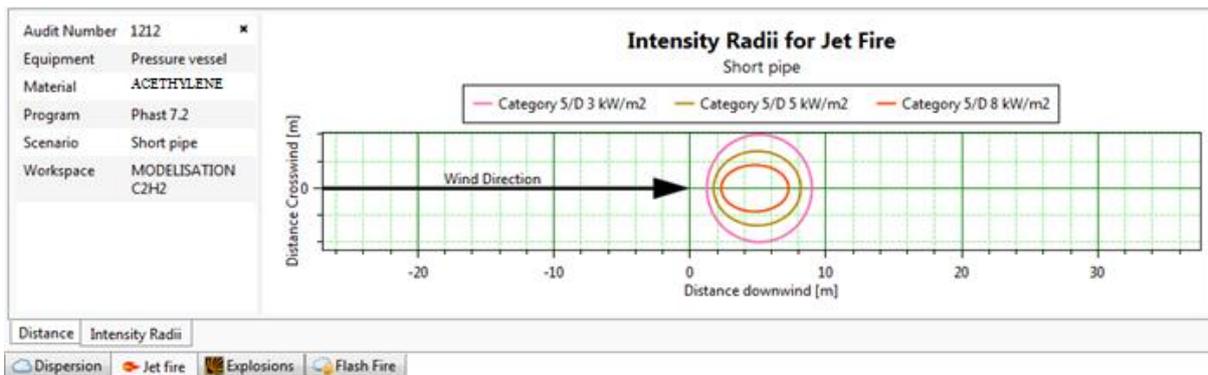


Figure 4-27 : Distance des effets thermiques (8, 5 et 3 kW/m<sup>2</sup>).

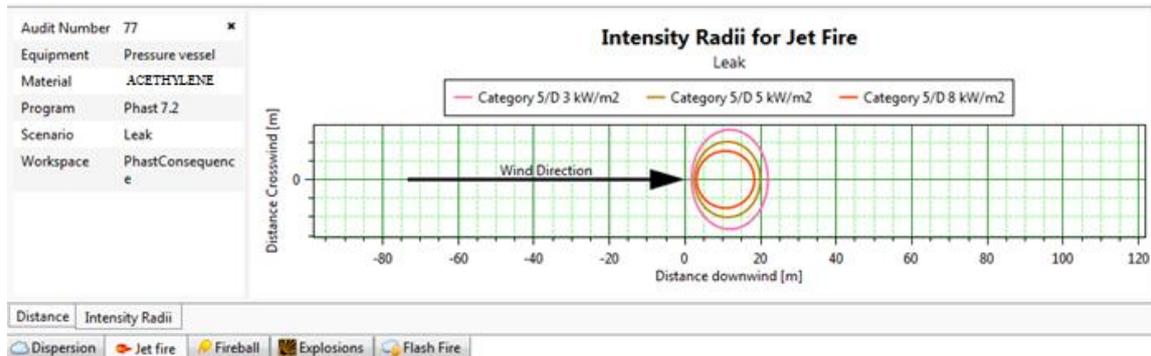
Tableau 4.21. Le flux thermique en fonction de la distance

Météo : 5D NC	
Zone C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	
Flux thermique	Distance d'effet
8 KW/m <sup>2</sup>	7m
5 KW/m <sup>2</sup>	8m
3 KW/m <sup>2</sup>	9m

❖ **Interpretation**

Les seuils de  $8\text{KW/m}^2$ ,  $5\text{ KW/m}^2$  et  $3\text{ KW/m}^2$  (Seuil des effets domino et seuil des dégâts graves sur les structures respectivement) présentent des distances de (9 a 7 m) touchant que le voisinage immédiat

**Modélisation feu torche bouteille d'acétylène**



**Figure 4-28 : Distance des effets thermiques ( $8, 5$  et  $3\text{ kW /m}^2$ ).**



**Figure 4.29. Présentation des rayons des effets thermiques sur la carte géographique**

**Tableau 4.22. Le flux thermique en fonction de la distance**

Météo : 5D NC	
Zone C2H2	
Flux thermique	Distance d'effet
$8\text{ KW/m}^2$	18m
$5\text{ KW/m}^2$	20m
$3\text{ KW/m}^2$	22m

❖ **Interpretation**

La carte sur la figure 4.29 reprend les effets radiatifs de feu de torche après larupture guillotine du robinet de la bouteille d'acétylène. Les contours d'effets sur l'hommeles plus critiques sont illustrés sur lacarte satellite. Le flux thermique serait léthal dans un rayon de 20 mètres (distance d'effet du seuil thermique de  $5\text{kW/m}^2$ ) autour du point d'occurrence de l'accident pour les personnes non protégées et sur 22 mètres pour la zone des dangers significatifs pour la vie humaine.

### 4.8.5 EXPLOSION GAZOMETRE

Le phénomène d'explosion pneumatique est pris en compte dans le cas majorant d'une explosion par un mélange stœchiométrique de gaz ou vapeurs inflammables dans un réservoir avec de l'air. Ce phénomène peut concerner :

- Le gazomètre d'acétylène

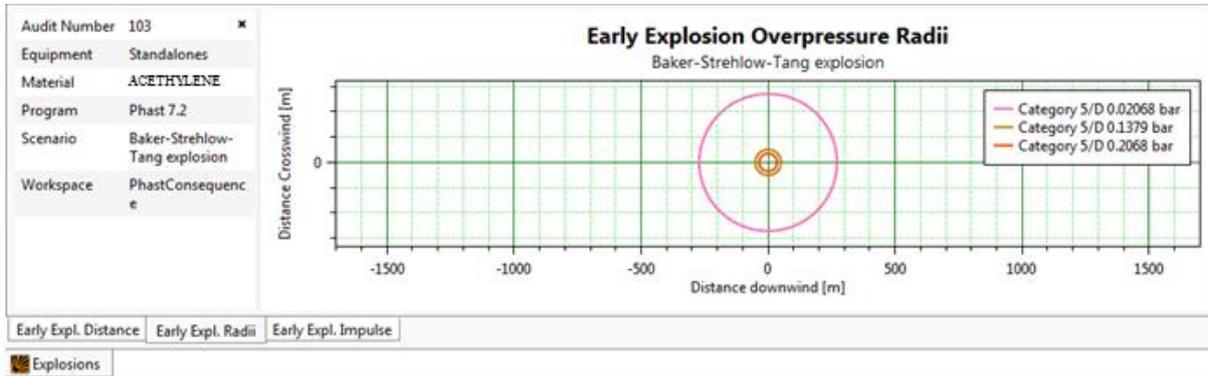


Figure 4-30 : Distance des effets de la surpression (200, 138 et 20 mbar).

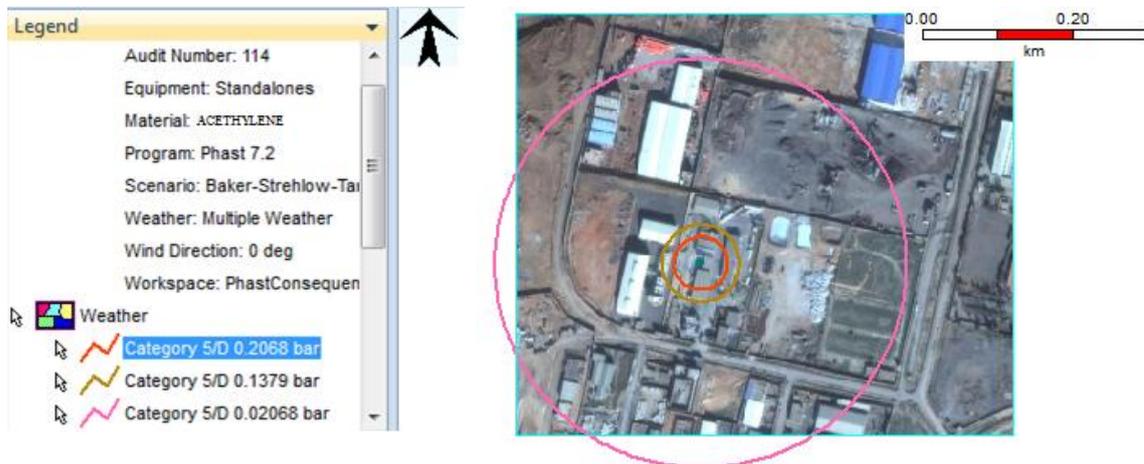


Figure 4.31. Présentation des rayons de surpressions critiques sur la carte géographique

Tableau 4.23. Surpression en fonction de la distance

Météo : 5D NC	
Zone C2H2	
Surpression	Distance
200 mbar	35m
140 mbar	50m
20 mbar	271m

#### ❖ Interpretation

Donc l'explosion de gazomètre, génère des dégâts d'une ampleur très considérable pour la vie humaine ainsi que sur les structures et le matériel avoisinant.

En conclusion,

Ce chapitre est considéré comme le pilier de notre étude. L'analyse des risques par la méthode HAZOP nous a permis d'identifier le phénomène dangereux le plus grave qui peut être survenu au niveau de nos Sous-système qui est le VCE.

D'après la méthode ADE On remarque que dans le circuit HP d'acétylène, la probabilité ( $1,49 \times 10^{-3}$ ) qu'une explosion ait lieu est la plus grande, malgré la présence des barrières de sécurité, d'où la nécessité d'accentuer et d'augmenter les mesures de sécurité concernant le circuit HP d'acétylène.

Après l'application de la modélisation des effets des phénomènes dangereux sur l'installation par le programme PHAST, on a démontré la gravité de cette situation où l'erreur est désastreuse.

Dans le chapitre suivant on va proposer un SIS pour assurer la réduction de ce risque.

*Chapitre 5*

---

**MOYENS DE RÉDUCTION DES  
RISQUES**

---

Chapitre 5

# MOYENS DE RÉDUCTION DES RISQUES

Dans ce chapitre, nous avons proposé des solutions pour la démarche de la maîtrise de risque, dans le but de réduire les risques majeurs qui puissent toucher l'intégrité de l'installation. Ces solutions peuvent être des solutions d'ordre technique, ingénierie et organisationnelle.

Pour répondre au besoin de la mise en œuvre d'une barrière de sécurité au scénario : fuites de gaz C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> au niveau de système conditionnement d'acétylène nous avons jugé la nécessité d'élaborer un système d'arrêt d'urgence commandé par une unité logique accompagné d'un système mis à l'air C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> sous pression dans le réseau et un système de pulvérisation d'eau qui vont nous permettre de réduire le risque au minimum.

## 5.1 Systèmes instrumentés de sécurité (SIS)

Les systèmes instrumentés de sécurité (SIS) appartiennent à la catégorie générique établie par la norme internationale CEI61508 [19] comme des systèmes liés à la sécurité. Le « système instrumenté de sécurité » est un terme plus utilisé actuellement dans l'industrie des procédés. Il est défini par CEI 61511 [20], une norme dérivée de la norme CEI 61508 pour ce secteur, en tant que « système instrumenté utilisé pour accomplir une ou plusieurs fonctions instrumentées de sécurité (SIF) dans le but d'atténuer le danger et de mettre le processus en état de sécurité en cas d'évènement redouté. Un SIS est constitué d'une combinaison de capteurs, de solveurs logiques et d'éléments finaux sous forme d'actionneurs».

Voici un descriptif de chacune de ses parties : [21]

- Sous-système « Éléments d'entrée 'S' » : constitué d'un ensemble d'éléments d'entrée (capteurs, détecteurs) qui surveillent l'évolution des paramètres représentatifs du comportement de température, pression, débit, niveau... ;
- Sous-système « Unité logique » : comprend un ensemble d'éléments logiques (PLC, API) qui récoltent l'information en provenance du sous-système S et réalisent le processus de prise de décision qui s'achève éventuellement, si l'un des paramètres dévie au-delà d'une valeur-seuil, par l'activation du sous-système FE.
- Sous-système « Éléments Finaux (FE) » : agit directement (vanne d'arrêt d'urgence) ou indirectement (vanne solénoïdes, alarme) sur le procédé pour neutraliser sa dérive en le mettant, en général, dans un état sûr.

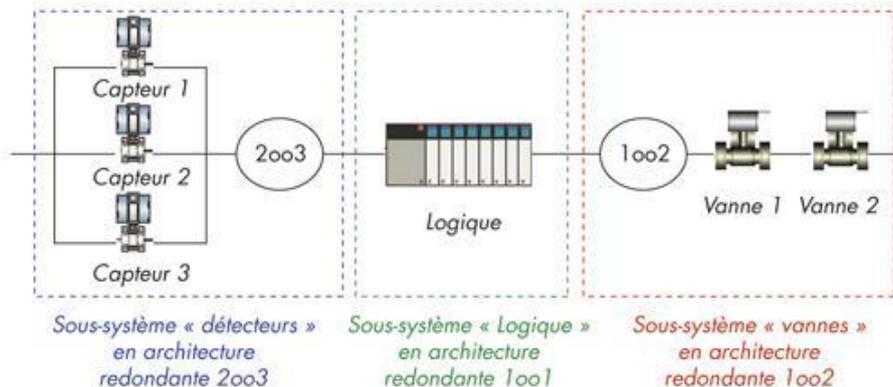


Figure 5. 1 : Exemple d'un SIS

La conception du SIS implique la réalisation de certains niveaux minimaux d'intégrité de sécurité (SIL) comme l'exige la norme CEI 61508. Les exigences d'intégrité de sécurité incluent la restriction maximale de la probabilité moyenne de défaillance à la sollicitation du SIS ( $PFD_{avg}$ ) et un niveau minimum de tolérance aux fautes. La tolérance aux fautes est la capacité d'un système à éviter que les échecs (fautes) individuels des composants ne conduisent à la défaillance complète du SIS [21]. Le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) requis pour le SIS est un niveau discret parmi quatre niveaux possibles (de 1 à 4), pour chacun il est associé une probabilité moyenne de défaillance à la demande ( $PFD_{avg}$ ). Ce dernier est d'autant moins important que le SIL est élevé (voir tableau 5-1). Il est à noter que les SIS sont caractérisés par une faible demande, en effet ils sont sollicités qu'en cas d'occurrence d'évènement redouté (surpression par exemple).

Tableau 5-1 : SIL pour mode de fonctionnement à faible demande [21].

SIL	( $PFD_{avg}$ )
4	$[10^{-5} ; 10^{-4}]$
3	$[10^{-4} ; 10^{-3}]$
2	$[10^{-3} ; 10^{-2}]$
1	$[10^{-2} ; 10^{-1}]$

## 5.2. Proposition d'un Système d'arrêt d'urgence accompagné d'un système de pulvérisation d'eau asservi

### 5.2.1. Définition de circuit IGA manuel existant :

L'ensemble de circuit comporte une boucle en pression d'azote (10bar) qui maintient fermées les vannes d'eau d'incendie VP 401 et ouverte entre le compresseur et les rampes la vanne VP400.

Une série de vannes à déclenchement à tirette est disposée à l'extérieur du bâtiment approximée de chaque porte (V410 et la suite) l'action sur l'une ou sur l'autre de ces tirettes provoque la mise à l'air de circuit d'azote provoquant le déclenchement instantané du pressostat PSAL 400 qui entraîne :

- L'arrêt général de l'unité acétylène ;
- La mise à l'air par la vanne VP400 de tout le réseau HP d'acétylène ;
- L'alimentation en eau des rampes d'incendie par ouverture des vannes VP 401 ;
- Le déclenchement d'une alarme sonore et lumineuse au niveau de l'armoire Y12.

De manière à être certaine qu'il ne se produise pas de déclenchement consécutif par manque d'azote un pressostat PAL700 est installé en amont de réseau sécurisé déclenche une alarme dès que la pression d'azote diminue au-dessous de 12 bars.

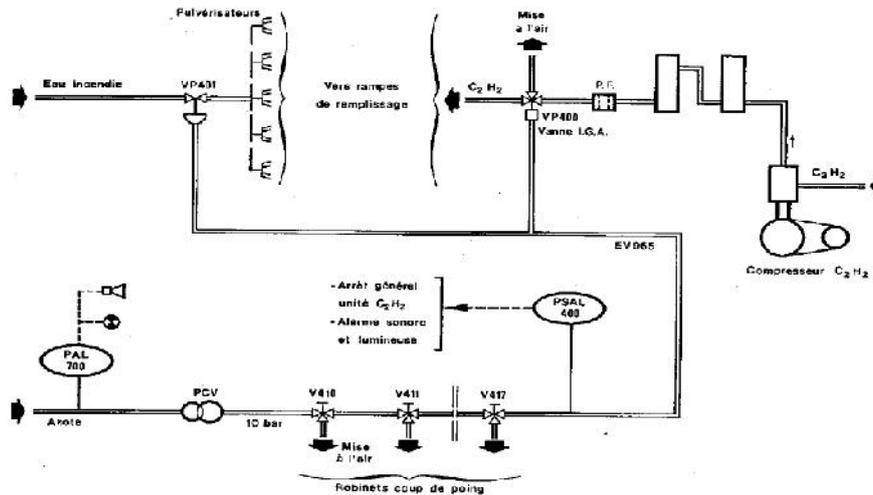


Figure 5.2 : Schéma sécurité incendie IGA

Les conditions d'atmosphère explosive sont réunies si 3 éléments du triangle du feu sont en présence : combustible, comburant (souvent l'oxygène), et une source de chaleur ou d'énergie (feu, étincelle électrique).

La pulvérisation d'eau consiste à réduire la présence de la source de chaleur ou d'énergie, par refroidissement de l'atmosphère.

### 5.2.2. Schématisation de SIS

Pour proposer un SIS, nous devons passer par trois étapes :

- Détermination des niveaux d'intégrité de sécurité (SIL) requis pour le système instrumenté de sécurité ;
- Proposition de l'architecture de système et description de son mode opératoire;
- Vérification de la conformité d'architecture proposée par rapport aux niveaux d'intégrité de sécurité requis par le logiciel GRIF [24] ;
- Positionnement de système instrumenté de sécurité proposée.

#### 5.2.2.1 Méthodes pour déterminer le SIL

L'affectation du niveau d'intégrité de sécurité (SIL) au système instrumenté de sécurité (SIS) est une décision basée sur la philosophie de tolérance aux risques. En effet, le niveau le plus haut (niveau 4) est généralement attribué à un SIS dont la défaillance à la demande en cas d'évènement redouté conduit à des conséquences gravissimes, tandis que le niveau 1 est d'habitude alloué lorsque les effets de la défaillance du SIS à la sollicitation seront mineurs. La détermination du SIL peut être effectuée en adoptant plusieurs méthodes, le choix dépend toujours de la disponibilité d'informations obtenues à l'issue de la phase d'analyse des risques afférents au système sur lequel le SIS va être implémenté [22] :

- **HAZOP modifiée** : C'est une extension du processus HAZOP existant. Il s'agit d'une affectation subjective du SIL en fonction de l'estimation de la gravité et de la probabilité de l'incident ou l'évènement redouté. Dans ce cas, le SIL est attribué en examinant qualitativement le potentiel de risque et en sélectionnant un niveau qui semble le plus approprié.
- **Attribution selon la conséquence seulement** : C'est une méthode basée sur une estimation de la conséquence potentielle de l'incident. La fréquence n'est pas prise en compte. Par conséquent, tous les incidents entraînant des décès potentiels

par exemple auraient le même SIL, quelle que soit la fréquence probable.

- **Matrice des risques** : C'est une technique qui permet de déterminer le niveau d'intégrité de sécurité requis à partir d'une grille normalisée après avoir estimé le niveau de gravité et de probabilité.

- **Graphe des risques** : La norme internationale CEI 61508 fournit une méthode alternative à la matrice des risques appelée méthode du graphe des risques. C'est une méthode qui permet de choisir le SIL en se basant sur les quatre facteurs suivants :

- Les conséquences (C) qu'on peut avoir en cas de défaillance ou d'absence de SIS lors de l'occurrence d'un évènement redouté ;
- La fréquence et la durée d'exposition des éléments vulnérables (F) ;
- La possibilité d'éviter l'évènement dangereux (P) ;
- La probabilité d'occurrence de l'évènement non souhaité(W).

Ces facteurs sont estimés puis utilisés dans la détermination du niveau d'intégrité de sécurité requis SIL qui doit être alloué au système instrumenté de sécurité (SIS). Selon la norme CEI 61508, la méthode du graphe des risques dispose de quatre niveaux de conséquence (C), deux niveaux de fréquence (F), deux niveaux de possibilité d'évitement (P) et trois niveaux de probabilité d'occurrence (W). Pour chaque niveau est assignée une description qualitative (voir tableau5-2).

**Tableau 5-2: Niveaux de factures [22].**

<b>Facteur</b>	<b>Niveau</b>	<b>Signification</b>
Conséquences (C)	Mineur (CA)	Dégâts mineurs sur le matériel, blessure négligeable
	Sérieux (CB)	Blessure sérieuse pour une ou plusieurs personnes avec des dégâts légers sur le matériel
	Critique (CC)	Mort pour plusieurs personnes avec des dégâts significatifs sur le matériel
	Catastrophique (CD)	Mort pour un nombre important de personnes avec une destruction complète duMatériel
Fréquence et durée d'exposition (F)	FA	Exposition rare dans la zone dangereuse
	FB	Exposition permanente dans la zone dangereuse
Possibilité d'évitement (P)	PA	Possible
	PB	Pratiquement impossible
Probabilité d'occurrence (W)	W1	Faible
	W2	Moyenne
	W3	Elevée

Une fois ces facteurs déterminés, le graphe des risques, illustré dans la figure 5-1, est utilisé en suivant le chemin composé par les niveaux des facteurs choisis pour déterminer le SIL qui doit être associé au système instrumenté de sécurité.

### 5.2.2.2 Détermination des SIL requis pour le SIS dans l'atelier de conditionnement du gaz d'acétylène

Pour déterminer le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) qui doit être alloué pour chacun des deux systèmes instrumentés de sécurité, c'est la méthode du graphe des risques qui a été choisie car en prenant en considération les quatre facteurs décrits ci-dessus, elle semble être la plus proche de la réalité parmi les autres méthodes.

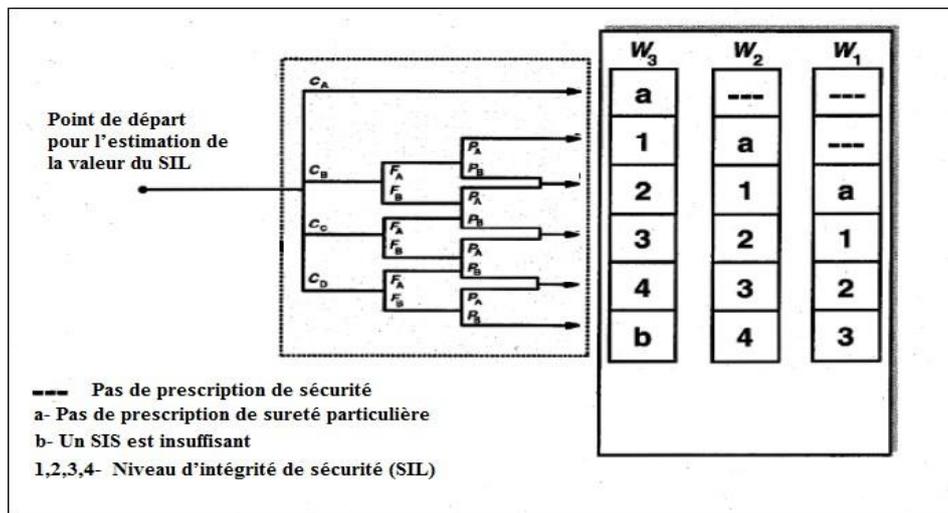


Figure 5-3: Exemple de graphe des risques [22].

#### ❖ Choix des niveaux de facteurs pour le SIS

Pour le système instrumenté de sécurité, l'attribution des différents niveaux de facteurs C, F, P et W sera basée sur les événements redoutés secondaires provoqués par la fuite.

- **Conséquences (C)** : L'élaboration des nœuds papillon dans le chapitre précédent a démontré que les événements redoutés secondaires seront suivis soit de feu de torche soit de formation de nuage gazeux et explosion. La simulation des effets de ces deux phénomènes dangereux nous a prouvé que les conséquences sont assez importantes tant sur les personnes (opérateurs) que sur les équipements situés à proximité de l'atelier de remplissage d'acétylène. Donc pour le facteur conséquence on associe le niveau  $C_C$  (critique).
- **Fréquence et durée d'exposition (F)** : Concernant ce facteur, nous lui affectons le niveau  $F_B$  car l'atelier est située au milieu de plusieurs équipements vulnérables et il est assez fréquenté par les opérateurs pour y effectuer leurs tâches quotidiennes.
- **Possibilité d'évitement (P)** : En cas de perte de confinement du gaz d'acétylène, il y a un dispositif de détection de gaz, On associe alors le niveau  $P_A$ .
- **Probabilité d'occurrence (W)** : Le calcul des probabilités après l'élaboration des arbres d'évènements a renseigné que l'occurrence des événements redoutés secondaires est moyen, donc on attribue le niveau  $W_2$ .

Le suivi de la succession des niveaux des quatre facteurs a conduit à déterminer le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) qui doit être attribué pour le système instrumenté de sécurité (voir figure5-3).

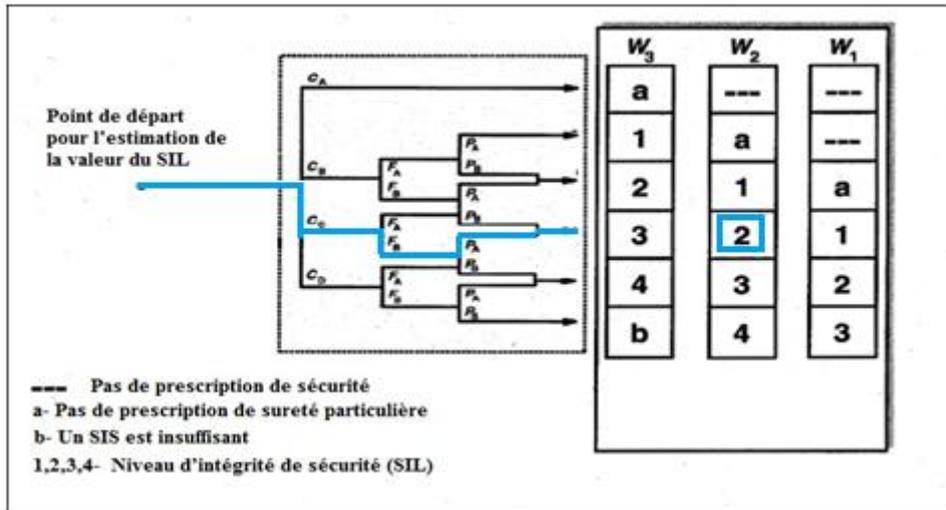


Figure 5-4: Niveau d'intégrité de sécurité (SIL) pour le SIS.

Selon les résultats, le SIL qui doit être attribué au système instrumenté de sécurité égale à 2, la probabilité de défaillance à la sollicitation doit appartenir alors à l'intervalle suivant ((PFD<sub>avg</sub>) ∈ [10<sup>-3</sup> ; 10<sup>-2</sup>]).

### 5.2.2.3 Architecture du SIS

Le système instrumenté de sécurité a pour fonction d'arrêter l'écoulement du gaz dans le cas d'un évènement de fuite ou de rupture totale la conduite entre le compresseur et les rampes de remplissage. Ce SIS se compose des éléments suivants :

- Sous-système de captation : 1 indicateur de pression différentielle et cinq détecteur de gaz C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> ;
- Sous-système logique : Un système de contrôle commande par PLC;
- Sous-système d'actionnement : 3X2 Electrovanes ; Nous représentons le schéma dans la figure 5-6.

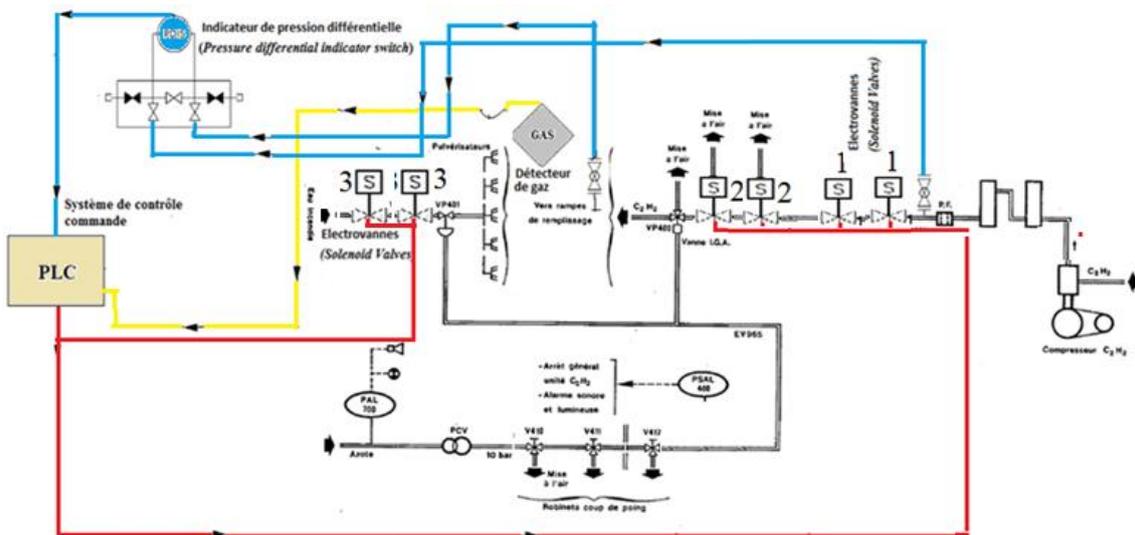


Figure 5. 5: schéma de SIS Proposé

❖ **Mode operatories**

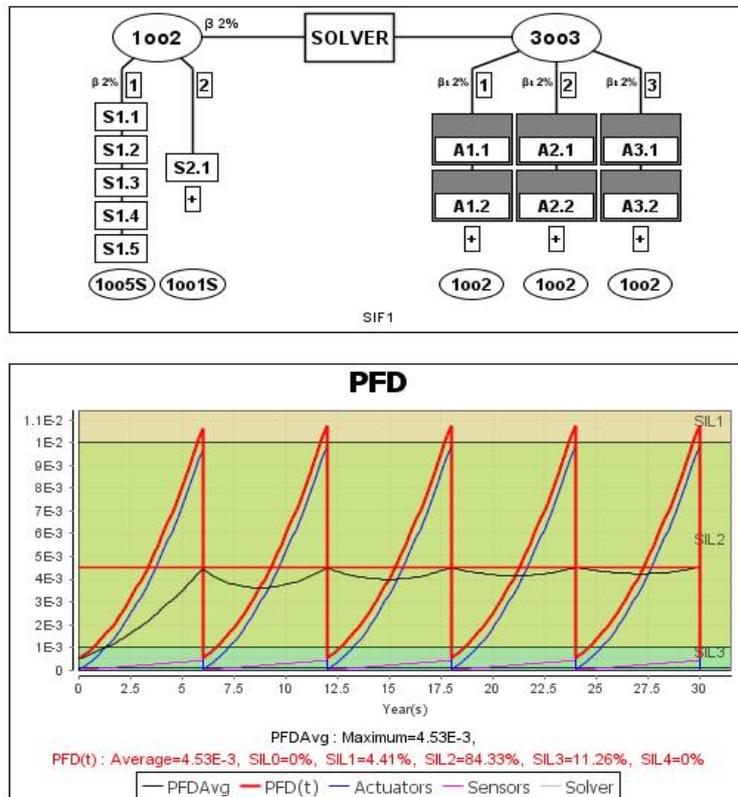
Dans le cas d'une fuite ou bien d'une rupture de la conduite, la pression dynamique du gaz diminue en aval de cette dernière. L'indicateur de pression différentielle détecte alors la différence de pression entre rampe de remplissage et la sortie de compresseur et transmet un signal électrique au système de contrôle commande. Pendant ce temps, le détecteur de gaz envoi également au PLC un signal indiquant la présence de gaz dans l'atmosphère. Lorsque le système de commande reçoit un signal des entrées logiques depuis le détecteur de gaz ou l'indicateur de pression différentielle, il transmet une instruction aux électrovannes pour :

- L'arrêt général de l'unité acétylène par la fermeture d'une électrovanne 1 ;
- La mise à l'air de tout le réseau HP d'acétylène par l'ouverture d'une électrovanne 2 ;
- L'alimentation en eau des rampes d'incendie par ouverture des l'électrovanne 3.

La fuite du gaz  $C_2H_2$  sera alors arrêtée et La pulvérisation d'eau réduire la présence de la source de chaleur ou d'énergie, par refroidissement de l'atmosphère.

**5.2.2.4 Vérification de la conformité d'architecture par rapport au SIL requis**

Les niveaux d'intégrité de sécurité (SIL) de SIS proposé doit être conformes aux niveaux requis, SIL=2. Pour vérifier cette condition, nous avons utilisé le logiciel GRIF [24]. Nous avons fourni à ce logiciel des données d'entrée (composants de chaque SIS et leurs fréquences de défaillance) ainsi que les architectures telle que schématisées ci-dessus, ensuite nous avons lancé le calcul des SIL et des probabilités de défaillance à la demande  $PF_{D,svg}$  de système instrumenté de sécurité proposé. L'architecture élaborée dans le logiciel ainsi que les résultats de calculs de SIL sont présentés dans les figures ci-après.



**Figure 5. 6: Architecture de SIS Proposé**

Configuration of components Report Parameters

Configuration of architecture

Description Result SIL Spurious-trip

For the SIF (sensors + solver + actuators):

Demand mode Low demand (PFD)

Required SIL 2 Required RRF 100

Maximum reachable SIL due to the architectural constraints - IEC 61511 (Ed2 2016)

Sensors N/A HFT N/A

Actuators 3 HFT 1

Computation

Operating duration (years) 30 PFD Avg 4.5256E-3

Computed SIL 2 Computed RRF 220

Results

Achieved SIL 2

Conclusion of SIL for the SIF Compliant

Remark

Comment

Action plan

Synthesis

	PFD Avg	RRF	SIL Computed	Contribution (%)
Sensor(s) Part	2.14E-4	4682.41	3	4.72%
Solver Part	5.00E-4	2000.00	3	11.04%
Actuator(s) Part	3.82E-3	262.11	2	84.24%
SIF	4.53E-3	220.96	2	100%

Figure 5-7: Rapport de calculs de SIS.

Selon les résultats fournis par le logiciel GRIF (figures 5-6 et 5-7), nous déduisons que le niveau d'intégrité de systèmes proposés répond parfaitement aux exigences de sécurité et la valeur de SIL est conforme aux niveaux requis (2 pour notre cas).

### 5.3 Impact de la mise en place de SIS

Afin de visualiser le rôle du système instrumenté de sécurité (SIS) dans la réduction des risques, de évènement redoutés secondaires liés à la formation de nuage explosif dans l'atelier de conditionnement d'acétylène, nous avons reconstruit l'arbre des évènements avec la mise en place du SIS proposée ; ensuite nous avons calculé la nouvelle probabilité d'occurrence phénomène dangereux (VCE) suite de fuite d'une conduite de acétylène HP.

Avant de calculer les probabilités, on présente tout d'abord dans la figure 5-8 les fréquences de défaillance des équipements de sécurité de sous-systèmes étudiés.

L'arbre d'évènement de sous-système ainsi que la probabilité d'occurrence des événements redoutés secondaires sont présentés ci-dessous.

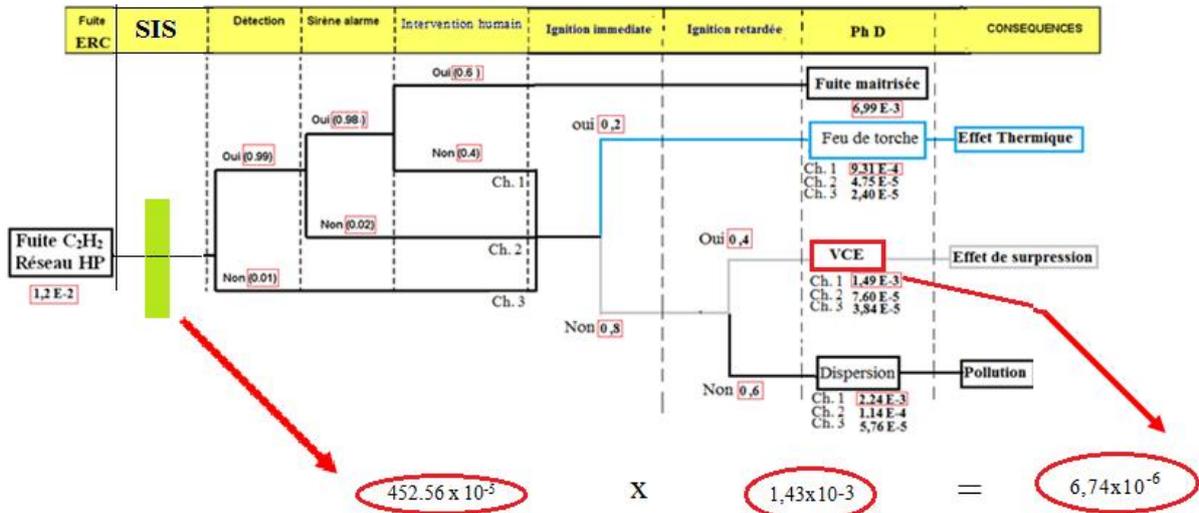


Figure 5-8: Impact de la mise en place de SIS.

La figure 5-8 montre bien l'impact de la mise en place de système instrumenté de sécurité. En effet, on remarque que la mise en place du SIS a généré une diminution assez considérable de la probabilité de phénomène dangereux provoqués par la ignition, donc ce système constitue l'outil adéquat pour la protection contre l'évènement, sa mise en place a pour but d'arrêter l'écoulement de gaz en cas de fuite, donc empêcher la formation de nuage gazeux explosif et la pulvérisation d'eau réduira la présence de la source de chaleur ou d'énergie, par refroidissement de l'atmosphère.

### Conclusion

Pour prévenir la survenue d'accidents majeurs, les industriels réalisent des analyses de risques. Le retour d'expérience permet de souligner que les accidents industriels majeurs sont généralement la conséquence d'un enchaînement d'événements indésirables combiné à des défaillances de barrières de sécurité.

Le projet que nous venons de réaliser a pour objectif principale la proposition de mesures d'ordre technique et d'ingénierie qui permettent la maîtrise des risques majeurs, notamment l'explosion, liés à une substance extrêmement dangereuse qui est le gaz d'acétylène dans l'installation de production d'acétylène d'oued el berdi. Dans le but de répondre aux questions posées dans notre problématique, nous avons adopté une démarche de résolution logique en s'inspirant des lignes directrices prodiguées par la norme ISO 31000 tout en se basant sur des méthodes et des outils bien adaptés et soigneusement choisis.

L'analyse fonctionnelle du système qui a fait l'objet de notre étude ainsi que la description détaillée des éléments qui le composent, nous a amené à découvrir que malgré la simplicité des installations mais ils sont exposés à plusieurs risques tel que les fuites, la pression développée dans le circuit a haute pression, échauffement, inflammation et l'explosion des gaz et de enceinte sous pression.

L'application de la méthode APR nous a permis de déterminer les causes et les événements initiateurs qui engendrent les ERC qui devront être étudiés dans le détail.

Le déploiement de la HAZOP a constitué un complément d'analyse. En effet, cette méthode nous a fournis un supplément des causes qui provoquent des conséquences importantes, l'étude des dérives de certains paramètres qui peuvent avoir lieu sur l'installation étudiée. Elle nous a amené aussi à déduire que la majorité des dérives conduit aux ERC et à Recenser les différentes barrières de sécurité existantes

Grâce au déploiement de ces deux outils d'analyse, nous avons pu déduire que la perte de confinement d'acétylène et la perte d'intégrité physique constituent les deux événements redoutés centraux.

La méthode AdD, nous permet de déterminer les fréquences d'événements redoutés centraux ou On constate que la probabilité d'événement redouté central Fuite d'acétylène au niveau de réseau HP est le plus fréquent avec une valeur de  $1,2 \cdot 10^{-2}$  et que le principe de Pareto est appliquée à notre cas : 7% des causes provoquent approximativement 80% des effets.

Suite à l'application de la méthode AdE On a remarqué que dans le circuit HP d'acétylène, la probabilité qu'une explosion ait lieu est la plus grande, malgré la présence des barrières de sécurité. Contrairement au Système bouteille, où on voit que les barrières de sécurité ont fait diminuer le risque d'incendie et d'explosion.

D'où la nécessité d'accentuer et augmenter les mesures de sécurité concernant le circuit HP d'acétylène.

La construction des nœuds papillons a permis de savoir que les phénomènes dangereux qui peuvent être provoqués par les ERS sont l'explosion d'un nuage gazeux, les pertes d'intégrité

## *Conclusion*

---

physique et le feu de torche. Cette méthode nous a conduit ainsi à schématiser tous les scénarios d'accident possibles depuis les causes basiques, en passant par L'ERC jusqu'aux phénomènes dangereux et leurs effets majeurs.

Après l'application de la modélisation des effets des phénomènes dangereux sur l'installation par le programme PHAST, on a démontré la gravité de cette situation ou l'erreur est désastreuse et qu'il est impératif de proposer une barrière de protection fiables à savoir :

- ✓ Un système instrumenté de sécurité SIS qui sert à arrêter la fuite du gaz et empêcher la formation de nuage gazeux explosif en cas de fuite dans le réseau HP d'acétylène et à réduire la présence de la source de chaleur ou d'énergie, par refroidissement de l'atmosphère par l'eau pulvérisé .

L'analyse de conformité du SIS a démontré que SIL 2 est suffisant.

Enfin, dans une perspective d'améliorer continuellement la situation, nous recommandons fortement d'une part, de mettre en œuvre les solutions suggérées tant au niveau du système étudié de l'installation d'acétylène qu'au niveau de toutes les installations de l'établissement.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] International Organization for Standardization (ISO), 2009, ISO 31000: Management du risque- Principes et Lignes directrices, Edition original. Page 34.
- [2] D. DEROUAZ, D. MAMERI, Maîtrise des risques majeurs au niveau du « centre vrac GPL-CV 165 » de NAFTAL à Sidi Arcine, Baraki. Page 178.
- Mémoire de fin d'étude : QHSE-GRI : Alger, Ecole Nationale Polytechnique : 2016.
- [3] Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement (BAPE), Guide technique relatif aux valeurs de référence de seuils d'effets des phénomènes accidentels des installations classées, 2004.
- [4] A. AMIAR, Sécurité et sûreté des installations et des équipements industriels. Page 30. Support de cours : QHSE-GRI : Alger, Ecole Nationale Polytechnique : 2015.
- [5] EMMANUEL CLEMENT « ARBRE ANALYSTE: un outil d'arbres de défaillances » ,19e Congrès de Maîtrise des Risques et Sûreté de Fonctionnement - Dijon 21-23 octobre 2014
- [6] Analyse des risques : Identification et estimation : Démarches d'analyse des risques- Objectif et typologie des méthodes qualitatives d'analyse des risques. Disponible sur Site [/http://www.unit.eu/cours/cyberriques](http://www.unit.eu/cours/cyberriques). [Consulté le 10 Mars 2018]
- [7] B. DEBRAY, S. CHAUMETTE, S. DESCOURIERE, V. TROMMETER, INERIS-DRA-2006-P46055 CL47569, 7 : Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle.
- [8] D. DEROUAZ, Evaluation de la performance des systèmes industriels par l'application des méthodes et outils de la sûreté de fonctionnement, Page 40.
- Projet séminaire : QHSE-GRI : Alger, Ecole nationale Polytechnique : 2015.
- [9] YVES MORTUREUX, La sûreté de fonctionnement : Méthodes pour maîtriser les risques, Janvier, 2005, Page 17.
- [10] MARC J. ASSAEL, KONSTANTINOS E. KAKOSIMOS. Fires, Explosions, and Toxic Gas Dispersions, Effects Calculation and Risk Analysis. Édition. USA: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010. Page 346, ISBN 978-1-4398-2675-1.
- [11] DEHAAG, U. AND DR. B. J. M. ALE, *Guide line for quantitative risk assessment 'Purplebook' CPR18E*, Third edition, Gevaarlijke Stoffen, 2005.
- [12] INERIS, Guide des méthodes d'évaluation des effets d'une explosion de gaz à l'air libre, 1999, page 166.
- [13] JAMISON JANAWITZ, JAMES MASSO, CHRISTOPHER CHILDS. Heavy-Duty Gas Turbine Operating and Maintenance Considerations. GE Power and Water, Atlanta, GA, 2014, Page 56.
- [14] Companies: ENI S.p.A \ AGIP Exploration & Production- BP Exploration Operating Company- Exxon Mobil International- Norsk Hydro ASA- Phillips Petroleum Company.
- [15] Norway- Statoil ASA- Shell Exploration & Production- Total Final Elf, 2002. OREDA Offshore Reliability Data Handbook, 4ème Edition, Page 835, ISBN 82-14-02705-5.
- [16] ARIA : Analyse, Recherche et Information sur les Accidents ; Retour d'expérience sur les accidents technologique, 2001. Disponible sur Site <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr>. [Consulté le 19 février 2018].
- [17] BERNARD BARTHÉLÉMY, Jacques QUIBEL, Techniques de l'ingénieur, Gestion des risques de l'entreprise, 10 avril 2000, 15p.
- [18] ALAIN GAYON, Techniques d'ingénieurs, Importance de la sécurité dans les entreprises, 10 juillet 2001, 17p.
- [19] JEAN-PIERRE DAL PONT, Techniques d'ingénieurs, Sécurité et gestion des risques, juin 2003, Page 21.
- [18] BENJAMIN LE ROUX, INERIS, Acculturation-notions générales sur la vulnérabilité du

Bâti aux aléas technologiques, Octobre 2012, Page 33.

[19] Commission Internationale d'Electrotechnique CEI 61508, Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques, électroniques et programmables électroniques liés à la sécurité. Parties 1- 7. Suisse, 1998-2005.

[20] Commission Internationale d'Electrotechnique CEI 61511, Sécurité fonctionnelle et système instrumenté de sécurité pour le secteur de l'industrie des procédés. Parties 1-3. Suisse; 2003.

[21] A.C. TORRES ECHEVERRIA, S. MARTORELL, H.A THOMPSON, Design optimization of a safety- instrumented system based on RAMS+C addressing IEC 6108 requirements and diverse redundancy, Reliability Engineering and system safety, vol 94; 2009; Pages 164-179.

[22] Angela E. Summers, Techniques for assigning a target safety integrity level, ISA transaction; vol 37; 998; Page 95-104.

[23] T. NOBES, Smart instruments in protective measures, Is your product safe, IEE Seminar, 2004.

[24] GRIF : Plate-forme logicielle d'analyse des systèmes qui permet de déterminer les indicateurs fondamentaux de la sûreté de fonctionnement : Fiabilité – Disponibilité – Performance – Sécurité. C'est un logiciel développé au sein de l'entreprise TOTAL, il laisse le choix à l'utilisateur d'opter pour la technique de modélisation la plus adéquate à la résolution du système étudié : Arbres de défaillance, arbres d'événements. Des architectures déjà intégrées dans le logiciel facilitent cette modélisation. Cette plate-forme dispose ainsi de moteurs de calcul matures, très performants et aux capacités de modélisation propres à répondre aux besoins de l'ensemble des études fiabilistes.

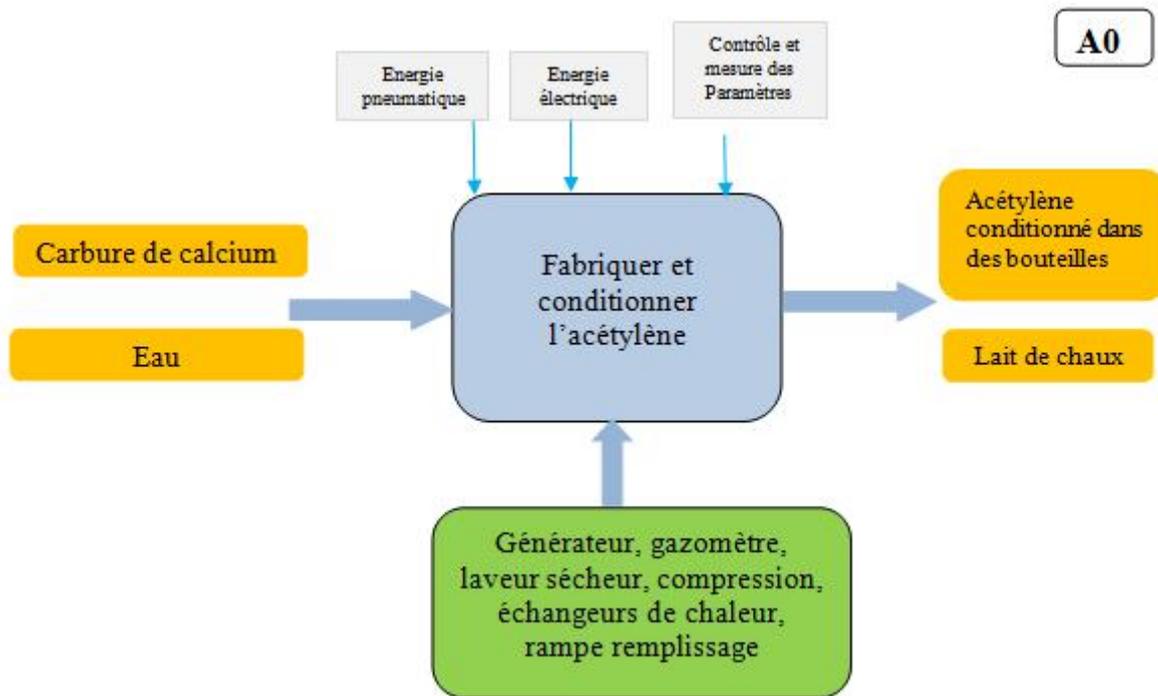
[25] Manuel d'utilisation et d'entretien, air liquide, référence 020-1346 EDITION Aout 86

[26] La sécurité dans la production et l'utilisation de l'acétylène, BUREAU INTERNATIONAL DU TRAVAIL, Etudes et Documents Série Fbis (Sécurité industrielle). N°5

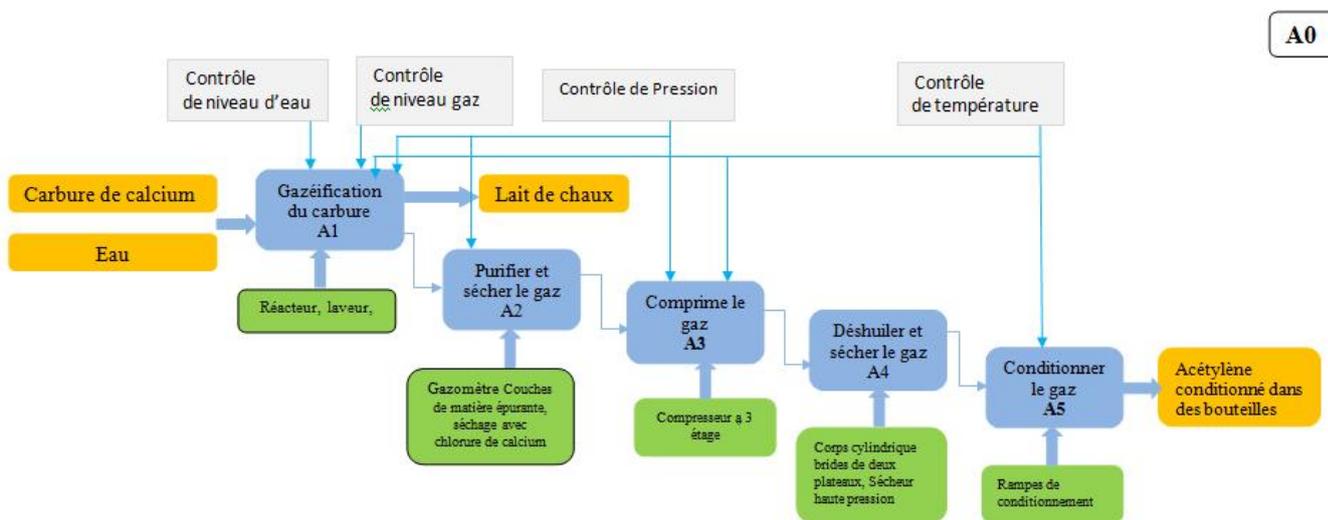
[27] Y. RACHID, Maîtrise des risques majeurs au niveau de l'installation de refroidissement Cas Fruitall Coca Cola .Page 39

# **ANNEXES**

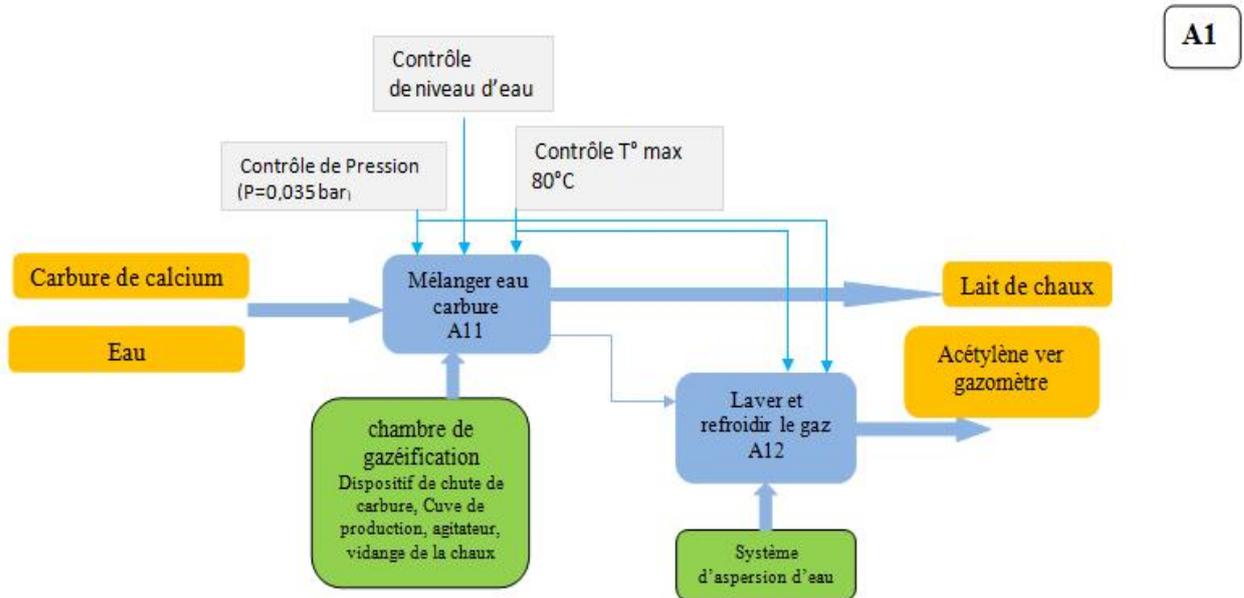
- Niveau A-0, il représente la fonction principale, les éléments d'entrée et de sortie, le système assurant l'activité et les données de contrôle:



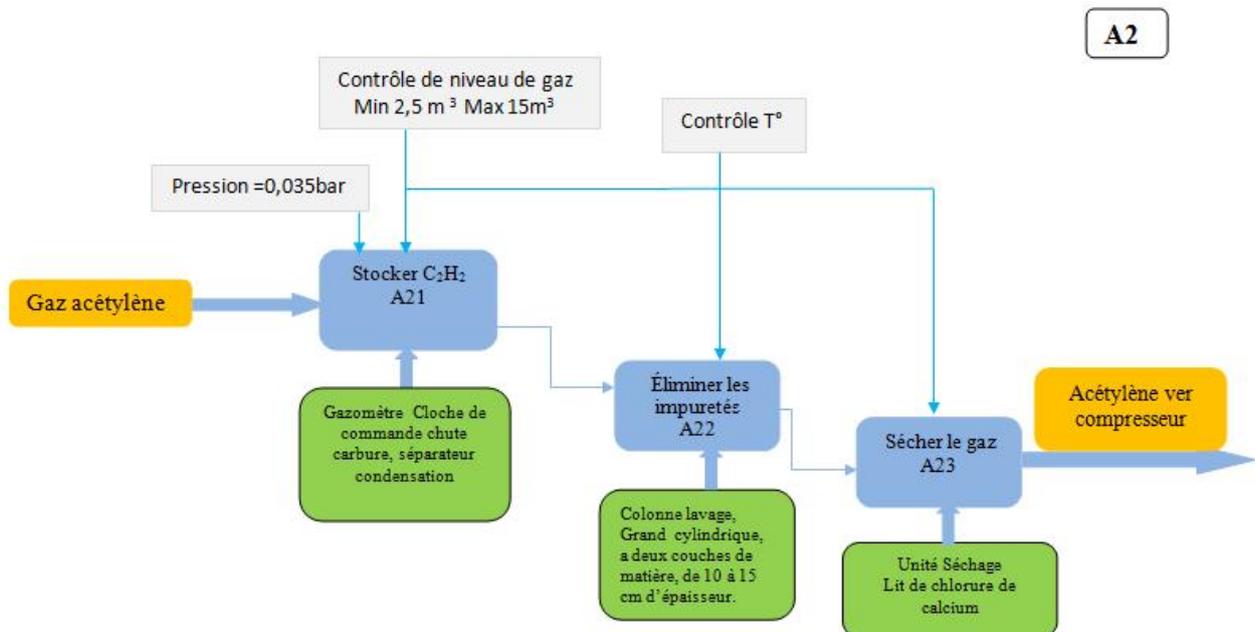
- La fonction principale se divise en cinq sous- fonctions, ce qui nous donne cinq sous-boites (A1 ; A2 ; A3 ; A4 et A5):



- La fonction de gazeification est l'enchaînement des deux sous- fonctions (A11 et A12) :

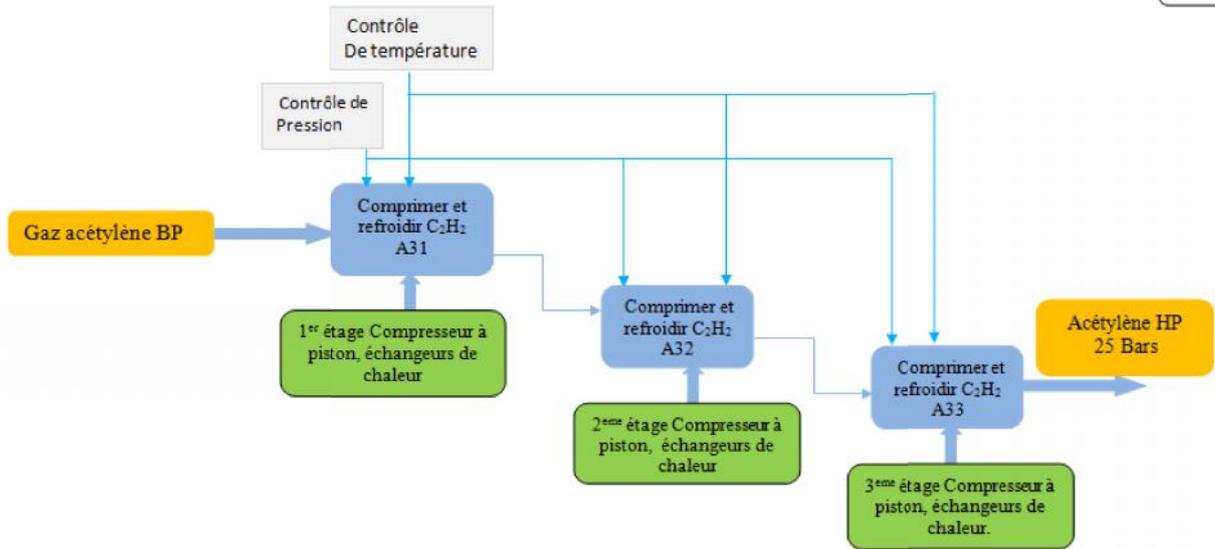


- L'Épuration gaz est assuré selon les trois fonctions (A21 ; A22 et A23) :



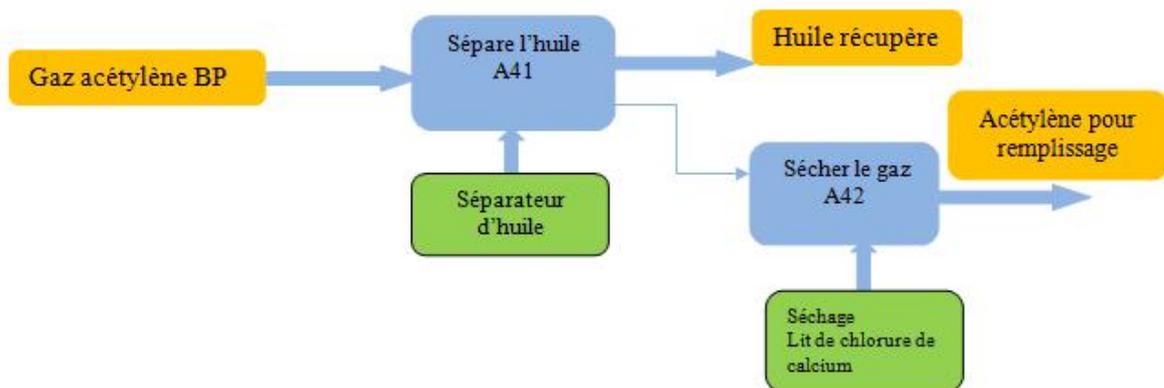
- La compression degaz est assurée selon les trois fonctions (A31 ;A32 et A33) :

A3



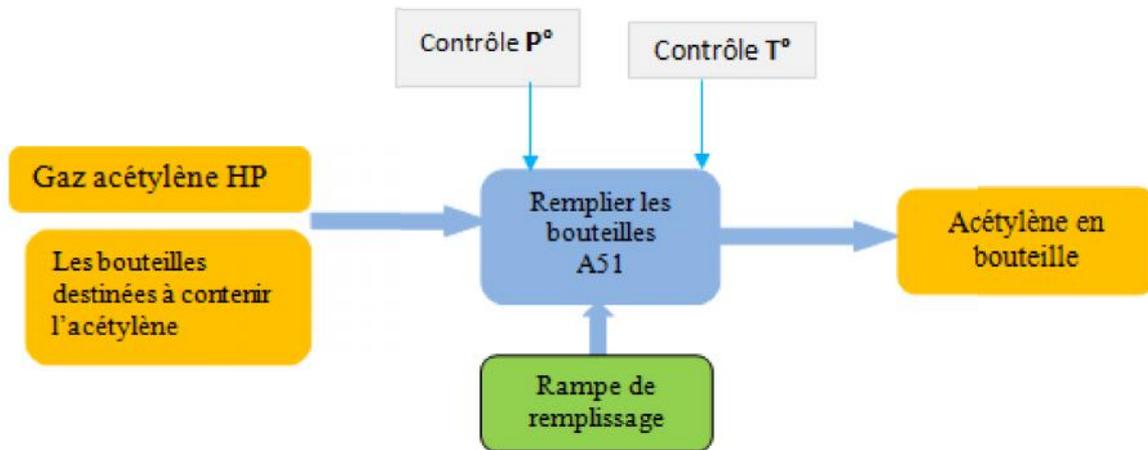
- L'épuration degaz est assurée selon les deux fonctions (A41 et A42) :

A4



- Le remplissage des bouteilles est assuré selon la fonction (A51) :

A5



N°	SS	ED	SD	ENS	Causes	Conséquences	Niveau de risque			Mesures de prévention	P	Mesures de protection	G'	C'
							P	G	C					
1	Stockage du carbure de calcium	Carbure De calcium	Incompatibilité Des produits Carbure+eau ou humidité	1. Formation d'acétylène Atmosphère explosive	Infiltration des eaux	Incendie Explosion	2	2	2.2	Contrôle de l'étanchéité de local Stockage de carbure dans des futs métallique bien fermée Local cadenassé Équipements éclectique Antidéflagrant local sec, clairs et ventiler	1	Moyens d'extinction Adéquat  EPI	1	1.1
2	Benne de chargement	carbure de calcium	Perte de confinement de la benne de chargement	1. Déversement de carbure de calcium sur l'aire de chargement d'acétylène si présence d'eau	Erreur de manipulation – renversement d'un fût de carbure de calcium -Choc – Fatigue- vieillissement, corrosion du palan Explosion externe (effet domino)	incendie localisé si l'acétylène dégagé est compris entre la LII et la LSI et contact avec une énergie d'activation suffisante	4	1	4.1	Programme d'inspection et de maintenance Personnel formé et habilité Consignes et modes opératoires Équipement implanté dans un local où la circulation des engins est interdite zone ATEX	3	Consigne de récupérer tout le carbure de calcium épandu accidentellement au sol- Zone de chargement ventilée naturellement	1	3.1
3	Générateur	acétylène	Perte de confinement du réacteur	1. dispersion atmosphérique d'acétylène	Fatigue- vieillissement- corrosion- Mauvaise conduite du procédé- Choc avec la benne de chargement- Travaux de maintenance par des personnes non qualifiées- Explosion externe (effet domino)	Pollution atmosphérique	3	1	3.1	Programme d'inspection et de maintenance Personnel formé et habilité Consignes et modes opératoires Système de permis de travail et de permis de feu	2	Local où se trouve le réacteur isolé des autres unités par des parois coupe feu de degré 2 heures Bâtiment de production d'acétylène isolé des autres bâtiments Accès limité aux opérateurs LIND GAS Local ventilé naturellement	1	2.1
				2. Feu flash si contact retardé avec une source d'activation suffisante		effets thermiques	3	4	3.4		2		3	2.3
				3. VCE si contact retardé avec une source d'activation		effets thermiques, surpression et projectiles	3	4	3.4		2		3	2.3
			Perte d'intégrité physique du réacteur	4. Explosion interne du réacteur	Défaut du système d'inertage – présence d'oxygène dans le réacteur au moment de la réaction - Défaut de l'intercepteur hydraulique (retour d'acétylène depuis le gazomètre au niveau du réacteur)	– projectiles, effets thermiques du à la surpression	2	5	2.5	Programme d'inspection et de maintenance Personnel formé et habilité Consignes et modes opératoires LINDE GAS	1	Local où se trouve le réacteur isolé des autres unités par des parois coupe feu de degré 2 heures Bâtiment de production d'acétylène isolé des autres bâtiments Accès limité aux opérateurs LIND GAS Local ventilé naturellement	4	1.4

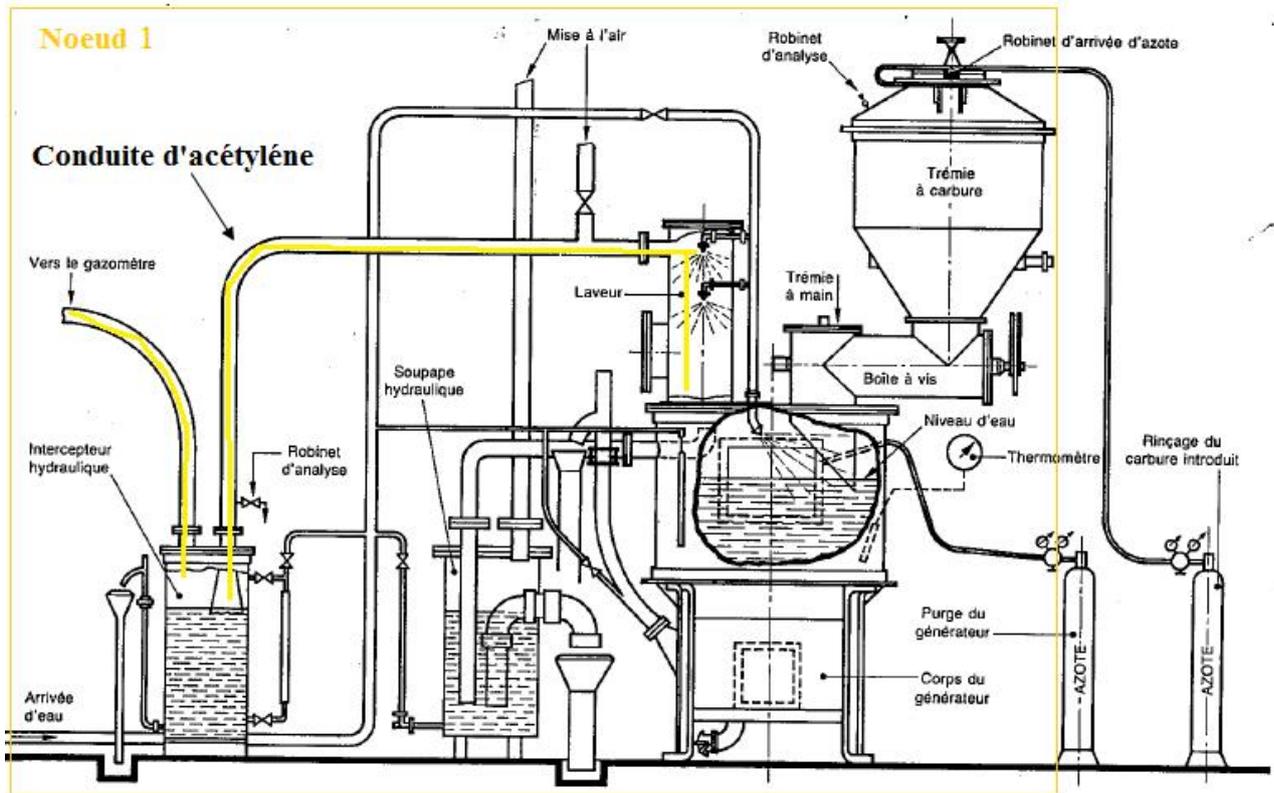
				- Mauvaise conduite de l'équipement - Incendie externe - Entrée d'air										
4	canalisation, la soupape intercepteur hydraulique	acétylène	Perte de confinement d'une canalisation, de la soupape ou de l'intercepteur hydraulique	1. dispersion atmosphérique d'acétylène 2. Feu flash si contact retardé avec une source d'activation suffisante 3. VCE si contact retardé avec une source d'activation suffisante et confinement	Choc - Fatigue, vieillissement, corrosion, vibration - travaux de maintenance générant des points chauds ou des contraintes mécaniques	Pollution atmosphérique	2	1	2.1	Programme d'inspection et de maintenance canalisations Implantation dans des lieux protégés des chocs et des vibrations - aucune canalisation pouvant transporter de l'acétylène n'est implantée en dehors du bâtiment de production Système de permis de travail et de permis de feu Consignes de sécurité Accès limité aux opérateurs Locaux ventilés naturellement	1	1	1.1	
						Effet thermique	2	5	2.5		1	4	1.4	
						effet surpression et projectiles	2	5	2.5		1	4	1.4	
5	gazomètre	acétylène	Perte d'intégrité physique du gazomètre	1. Explosion interne du gazomètre	Défaut du système d'inertage ou de purge - présence d'oxygène et d'acétylène - Travaux de maintenance générant des points chauds - Mauvaise conduite de l'équipement (entrée d'air)	projectiles et surpression	3	5	3.5	Personnel formé et habilité Consignes et modes opératoires LIND GAS Système de permis de travail et de permis de feu	2	4	2.5	
						Pollution atmosphérique	4	1	4.1		3	1	3.1	
			Perte de confinement du gazomètre	2. dispersion atmosphérique d'acétylène 3. Feu flash si contact retardé avec une source d'activation suffisante 4. VCE si contact retardé	Fatigue- vieillissement- corrosion- Mauvaise conduite du procédé- Choc - Travaux de maintenance par des personnes non qualifiées- Explosion externe (effet domino)	effets thermiques	4	5	4.5	Programme d'inspection et de maintenance Personnel formé et habilité Consignes et modes opératoires Système de permis de travail et de permis de feu	3	4	3.4	
						effets thermiques,	4	5	4.5		3	4	3.4	

			avec une source d'activation suffisante et confinement		surpression et projectiles									
6	l'épurateur BP, sécheur BP, compresseur, déshuileur HP ou sécheur HP	acétylène	Perte de confinement de l'épurateur BP, du sécheur BP, du compresseur, du déshuileur HP ou du sécheur HP	1.dispersion atmosphérique d'acétylène 2.Feu flash si contact retardé avec une source d'activation suffisante 3.VCE si contact retardé avec une source d'activation suffisante et confinement	Fatigue-vieillessement-corrosion-Mauvaise conduite du procédé- Choc - Travaux de maintenance par des personnes non qualifiées-Explosion externe (effet domino)	Pollution atmosphérique	4	1	4.1	Personnel formé et habilité Consignes et modes opératoires LIND GAS Système de permis de travail et de permis de feu Programme d'inspection et de maintenance Personnel formé et habilité Consignes et modes opératoires Système de permis de travail et de permis de feu	3	Bâtiment de production d'acétylène isolé des autres bâtiments Locaux du bâtiment isolés entre eux par des parois coupe feu de degré 2 heures	1	3.1
						effets thermiques	4	5	4.5		3		4	3.4
						effets thermiques, surpression et projectiles	4	5	4.5		3		4	3.4
7	Rampe de remplissage	acétylène	Perte de confinement des rampes de remplissage	1.dispersion atmosphérique d'acétylène 2.Feu flash si contact retardé avec une source d'activation suffisante 3.VCE si contact retardé avec une source d'activation suffisante et confinement	Fatigue, vieillissement, corrosion - Mauvaise conduite de l'équipement - Intervention de maintenance générant des points chauds - Choc - Incendie - Explosion externe (effet domino)	Pollution atmosphérique	3	1	3.1	Programme d'inspection et de maintenancécanalisations Implantation dans des lieux protégés des chocs et des vibrations - aucune canalisation pouvant transporter de l'acétylène n'est implantée en dehors du bâtiment de production Système de permis de travail et de permis de feu Consignes de sécurité Accès limité aux opérateurs Locaux ventilés naturellement Système d'extinction automatique de type sprinkler	2	Local où se trouve les rampes de remplissage isolé des autres unités par des parois coupe feu de degré 2 heures Bâtiment de production d'acétylène isolé des autres bâtiments Accès limité aux opérateurs	1	2.1
						effets thermiques	3	5	3.5		2		4	2.4
						effets thermiques, surpression et projectiles	3	5	3.5		2		4	2.4
			acétylène	Perte de confinement d'une bouteille d'acétylène	4.Jet d'acétylène diphasique : formation d'aérosol (pas de formation de nappe) – VCE en cas de contact retardé avec une source de chaleur 5.Jet enflammé	Chute d'une bouteille - mauvaise manipulation manuelle ou non respect des consignes et MO. Bouteilles d'origine défectueuses - Erreur humaine ou malveillance - Explosion externe (effet domino)	effets thermiques, surpression et projectiles Effets dominos : perte de confinement d'autres bouteilles par suppression	5	5	5.5	portes métalliques de protection Opérations réalisées par des opérateurs formés et habilités Déplacement manuel des bouteilles Absence d'irrégularités au sol (à la construction + maintenance) conditions de sécurité générales et spécifiques Vérification de la conformité des bouteilles (contrôle visuel des opérateurs) avant la mise en charge Flexible sur rampe de remplissage équipée de limiteur de débit en cas d'ouverture à l'atmosphère Epreuves réglementaires des appareils à pression	4	Evacuation du site dès la détection d'une fuite avec mise en sécurité des installations voisines Parois coupe feu de degré 2 heures entre le remplissage de bouteilles d'acétylène et les autres unités du bâtiment Bâtiment de production d'acétylène isolé des autres installations du site	4
effets	5	5	5.5	4	4	4.4								

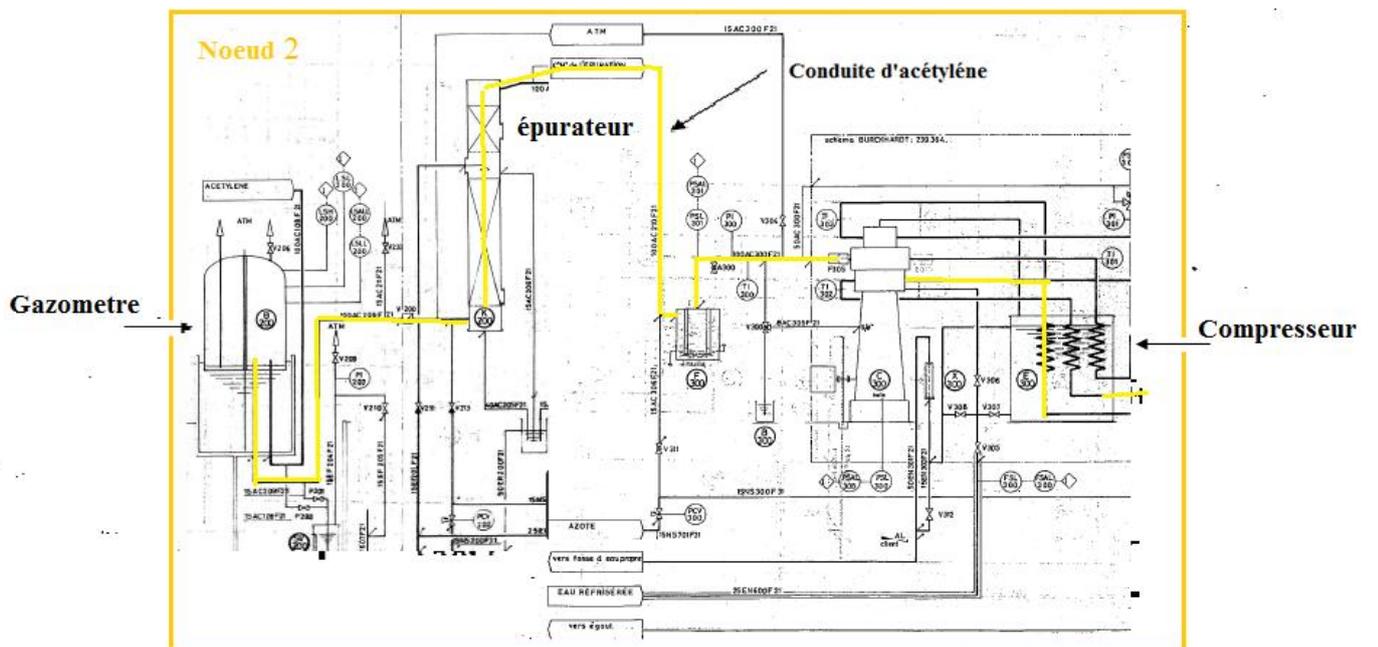
				au niveau de la fuite en cas d'incendie à proximité ou source de chaleur		thermiques							Système d'extinction automatique de typesprinkler		
				6.Flash fire		effets thermiques	5	5	5.5			4		4	4.4
			Perte d'intégrité physique d'une bouteille	7.BLEVE d'une ou de plusieurs bouteilles d'acétylène	Incendie externe -. Foudre - Explosion externe (effet domino)	(surpression, flux thermique, projection d'éclats- Effets dominos : endommagement (fuite) ou BLEVE froid des bouteilles voisines	5	5	5.5	Opérations réalisées par du personnel habilité et sensibilisation périodique Interdiction de fumer sur et à proximité des zones de production et de stockage Absence de matières combustibles dans l'aire de stockage Autorisation de travail et Permis de feu (procédures travaux par points chauds) Conception et protection des bâtiments et du dépôt contre les effets de la foudre conformes aux normes en vigueur (structure métalliques conductrices, maillage des masses et équipotentialité, Bâtiment ouvert sur ces façades	4	Mur coupe feu de degré 2 heures entre le stockage et bâtiment adjacent Limitation du personnel opérant dans le dépôt Intervention sur départ de feu interne ou externe avec extincteurs et RIA renfort éventuel par les moyens de secours externes (SP) Système d'extinction automatique de type sprinkler	4	4.4	
				8.Perte de confinement d'une ou de plusieurs bouteilles - Effets dominos			Feu torche Flash fire (boule de feu) Effets dans d'autres unités (surpression, flux thermique, projectiles)	5	5		5.5		4	4.4	
			Perte de confinement de plusieurs bouteilles d'acétylène simultanément	9.Feu torche impactant	Explosion externe (effet domino)	Effets thermiques	4	5	4.5		4		4	4.4	
				10.Flash fier (boule de feu)			Effets dominos dans d'autres unités (surpression, flux thermique, projectiles)	4	5	4.5			Système d'extinction automatique de type Sprinkler	4	4.4
8	redoseur d'acétone	Acéto	Perte de confinement du redoseur d'acétone	1.Épandage d'acétone au niveau du sol	Fatigue, vieillissement, corrosion - Mauvaise conduite de l'équipement - Choc - Explosion externe (effet domino)	formation d'une nappe dans la cuvette de rétention	4	1	4.1	Personnel formé et habilité Consignes et modes opératoire Programme d'inspection et de maintenance	3	Intervention sur départ de feu interne ou externe avec extincteurs et RIA renfort éventuel par les moyens de secours externes (SP) Système d'extinction automatique de type Sprinkler	1	3.1	
				2.Feu de cuvette en cas de contact avec une énergie d'activation suffisante			Effet thermique	4	5		4.5		3	4	3.4
9	Mise en stock et	acétylène	Perte de confinement	1.Jet d'acétylène	Chute d'une bouteille -	surpression, flux thermique,	4	4	4.4	Opérations réalisées par des opérateurs formés et habilités	4	Evacuation du site dès la détection d'une fuite	4	4.4	

retrait des bouteilles d'acétylène		d'une bouteille d'acétylène	diphasique : formation d'aérosol (pas de formation de nappe) – VCE en cas de contact retardé avec une source de chaleur	mauvaise manipulation manuelle ou non respect des consignes et MO. Bouteilles d'origine défectueuses - Erreur humaine ou malveillance - Explosion externe (effet domino)	projectiles				Déplacement manuel des bouteilles Supervision du responsable de l'unité de stockage : conditions de sécurité générales et spécifiques Vérification de la conformité des bouteilles e Epreuves réglementaires des appareils à pression	sur le stockage des bouteilles avec mise en sécurité des installations voisines Parois entre le stockage de bouteille d'acétylène et le magasin de bouteilles			
			2.Jet enflammé au niveau de la fuite en cas d'incendie à proximité ou source de chaleur		flux thermique – BLEVE (effet domino)	4	5	4.5			4	4	4.4
	Bouteille acétylène	Perte d'intégrité physique de la bouteille	3.BLEVE d'une ou de plusieurs bouteille	Incendie externe - Travaux (points chauds, feu nu, arc électrique, ...) ET conséquences SD précédent	(surpression, flux thermique, projection d'éclats- Effets dominos : endommagement (fuite) ou BLEVE froid des bouteilles voisines	5	5	5.5	Opérations réalisées par du personnel habilité et sensibilisation périodique Interdiction de fumer sur et à proximité des zones de production et de stockage Absence de matières combustibles dans l'aire de stockage débroussaillage régulier Intervention sur départ de feu interne ou externe Autorisation de travail et Permis de feu Conception et protection des bâtiments et du dépôt contre les effets de la foudre conformes aux normes en vigueur	Limitation du personnel opérant dans le dépôt	4	4	4.4
			4.Perte de confinement d'une ou de plusieurs bouteilles		Effets domino	5	5	5.5			4	4	4.4
	acétylène	Perte de confinement de plusieurs bouteilles simultanément	5.Feu torche impactant	BLEVE d'une ou de plusieurs bouteilles (surpression, flux thermique, projection d'éclats- Effets dominos : endommagement (fuite) ou BLEVE froid des bouteilles voisines	flux thermique,	4	4	4.4					4.4
			6.Flash fire (boule de feu)		(surpression, flux thermique, projectiles)	4	4	4.4					4.4
			7.Effets dominos dans d'autres unités		(surpression, flux thermique, projectiles)	4	4	4.4					4.4

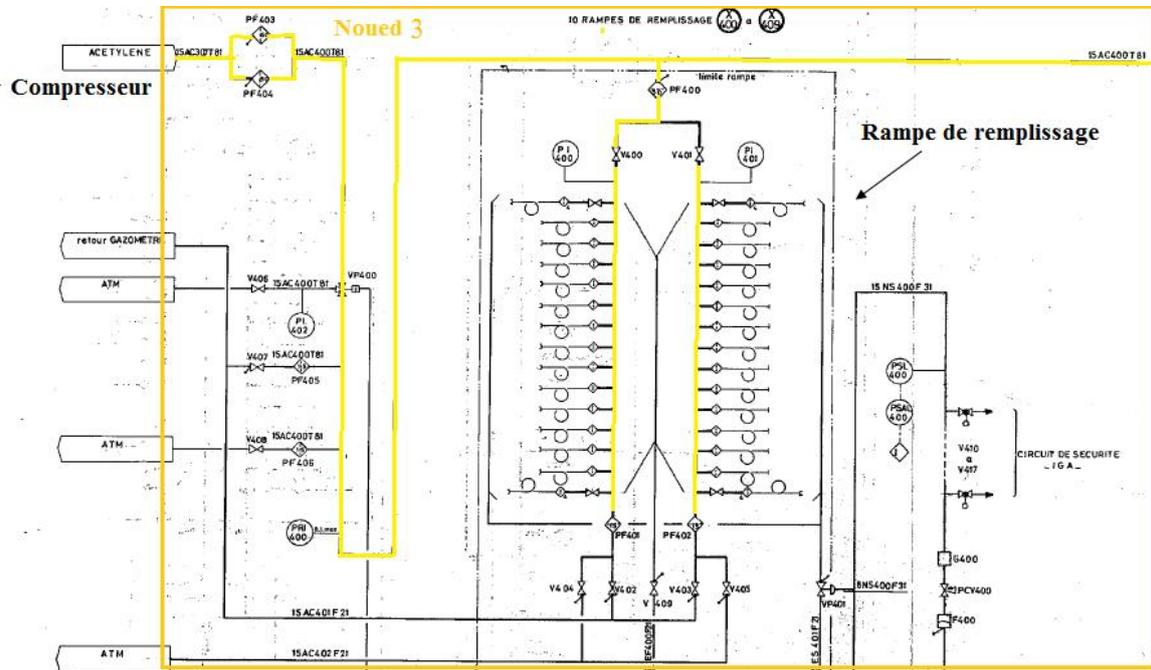
Nœud 1 ; Sous système Générateur :



Nœud 2 ; Sous système stockage et lavage d'acétylène:



Nœuds 3 ; Sous système Conditionnement C2H2 :



Annexe 4 : TABLEAUHAZOP

Sous système : GénérateurNœud : fabrication d'acétylène									
Item	Déviati on	Causes	Conséquences	Barrières de sécurité	F	G	E	C	Recom mandati ons
1	Pas de pression d'azote dans la benne lors du chargement	-Cadres vide -Fuite sur le circuit -Détendeur défectueux -Étranglements tuyauterie	-Risque incendie -Destruction générateur -Blessures	-Pressostat PAL 960 contrôle manque d'azotecadres avec alarme sonore -02 cadres d'azote -Pressostat PSAL 961 contrôle manque d'azote benne générateur avec alarme sonore -Check-list d'inspection chargement CaC2 -Formation et évaluation des opérateurs C2H2	3	3	D	3.3	
2	Pas de pression d'azote dans la trémie lors du charg	-Chute de pression azote -Cadres vide -Fuite sur le circuit -Détendeur défectueux -Étranglements tuyauterie	-Risque d'explosion -Fatalité -Destruction installation -Échappement d'acétylène	-Pressostat PSAL 962 contrôle manque d'azote générateur -02 Cadres d'azote -Manomètre -Check-list d'inspection chargement CaC2 -Formation et évaluation de tous les opérateurs C2H2 -Contrôle périodique des ECME	2	5	D	2.5	
3	Moins de débit d'eau dans la cuve de réaction	-Niveau bas eau dans le bassin -Fuite/colmatage tuyauterie -Défaillance de la pompe en service -Bouchage du filtre F120 -Bouchage des pulvérisateurs	-Augmentation anormale de la T° du générateur -Solidification du Lait de chaux -Déclenchement de la soupape hydraulique de sécurité	-Contrôleur visuel de niveau d'eau dans le générateur -Pressostat PSL 401 eau générateur avec alarme sonore -Indicateurs de pression filtres amont/aval pour le contrôle de la pression différentielle -Deuxième pompe en redondance -Planning d'entretien préventif	2	5	D	2.5	
4	Plus de température dans la cuve de réaction	-Diminution du débit d'eau -Augmentation de la T° ambiante -Colmatage du panier roulant -Présence importante de résidus solides	-Polymérisation avec dégagement d'hydrogène -Risque d'explosion -Déclenchement de la soupape hydraulique	-Thermomètre 'TI601' avec alarme sonore -Thermostat 'TSAH601' qui arrête la réaction à 85°C -Entretien périodique du générateur -Relevé des paramètres de Fct	2	5	D	2.5	
5	Plus de pression de C2H2 dans la cuve de réaction (>35mbar)	-Diminution du débit d'eau -Augmentation de la T° du générateur -Colmatage des anneaux PAL -Présence importante de résidus solides	-Augmentation de la T° dans le générateur -Déclenchement de la soupape hydraulique de sécurité et débordement du lait de chaux au générateur	-Soupape hydraulique 'SV' (35 mbar) -Indicateur de pression à colonne d'eau -Vanne de dépressurisation 'V100' -Entretien périodique du générateur -Relevé des paramètres de Fct	3	1	D	3.1	
Sous système : stockage et lavageNœud : gazomètre, épurateur, compresseur									
Item	Déviati on	Causes	Conséquences	Barrières de sécurité	F	G	E	C	Recom mandat ions

Annexe 4 : TABLEAU HAZOP

1	Plus de pression de C2H2 dans le gazomètre (>35mbar)	-Switch HS -Vanne azote Fuyarde -Colmatage des anneaux PAL de la colonne de lavage/laveur salle épuration -Mauvaise aspiration du compresseur 1er étage	-Déclenchement de la soupape hydraulique au niveau de la fosse/gazomètre -Débordement du bassin d'eau du gazomètre -Arrêt du générateur par 'LSAHH 901'	-Soupape hydraulique générateur -Bassin d'eau du gazomètre -Vanne de purge du gazomètre -Pressostat LSAHH 901 niveau haut -Soupape hydraulique au niveau du laveur /salle d'épuration -Contrôle périodique des ECME -Entretien périodique des Switch	2	1	D	2.1
2	Moins de pression de C2H2 dans le gazomètre (<10mbar)	-Absence d'alimentation en carburé au générateur -Manque d'eau au niveau du générateur -Mauvais fonctionnement du générateur -Colmatage des anneaux PAL du générateur -Perforation du tuyau d'alimentation gazomètre -Switch HS	-Arrêt du compresseur par défaut basse pression aspiration 'LSALL 901' -Arrêt de la production	-02 Switchs -Pressostat LSALL 901 niveau bas -Indicateur de pression à colonne d'eau -Procédure : PGH.PGP.12 (production C2H2) -Manuel d'utilisation et d'entretien -Formation et évaluation de tous les opérateurs C2H2	3	1	D	3.1
3	Moins d'eau dans la colonne de lavage	-Niveau bas d'eau dans le bassin -Défaillance de la pompe en service 'P10' ou 'P11' -Bouchage du filtre 'F100' -Bouchage de la tuyauterie/pulvérisateur	-Passage de C2H2 chargé d'impuretés -Bouchage tubulures réfrigérant -Arrêt du générateur	-Entretien préventif des pulvérisateurs/vannes/pompes -Pressostat 'PSAL 401' avec alarme sonore -Manomètre 'PI 402' -Switch gazomètre	3	1	D	3.1
4	Moins de pression à l'aspiration du compresseur	-Pression <10 mbar au niveau du gazomètre -Bouchage à la colonne de lavage 'K 200' -Bouchage au niveau du réfrigérant 'E 200' -Colmatage des filtres 'F300' ou 'F 305'	-Arrêt du compresseur -Arrêt de la production	-Manomètre 'PI222' -Pressostat 'PSAL 231' basse pression -Switch 'LSALL 901' du gazomètre -Entretien préventif -Contrôle périodique des ECME	3	1	D	3.1
5	Moins de pression au refoulement sortie compresseur 3ème étage	-Absence de pression à l'entrée -Défaillance d'un clapet de refoulement et d'aspiration -Soupape de sécurité HP laissée ouverte -Vanne IGA en position mise à l'atmosphère -Fuite au niveau du circuit HP -Diminution de la T°	-Risque d'explosion suite à l'accumulation du gaz C2H2 -Fatalité -Destruction de l'installation	-Entretien préventif régulier -Soupapes de sécurité à chaque étage -Suivi régulier du tarage des soupapes -Indicateurs de pression à chaque étage -Formation et évaluation de tous les opérateurs C2H2 -Contrôle périodique des ECME	1	5	D	1.5

Annexe 4 : TABLEAUHAZOP

6	Plus de pression aurefoulement du compresseur >25bar	-Bouchage des arrêts d'explosion 50m3/15m3 -Aspiration d'un mélange C2H2-N2 par le compresseur (Vanne gazomètre Fuyarde) -Bouchage au niveau du sècheur/déshuileur -Défaillance de la vanne IGA	-Arrêt du compresseur -Déclenchement de la soupape 3ème étage compresseur 'SV 3' avec alarme sonore -Risque d'éclatement de la tuyauterie -Fatalité	-03 Soupapes de sécurité -Pressostat 'PSAH 431' à la sortie du compresseur avec alarme sonore -Suivi régulier du tarage des soupapes -Contrôle périodique des ECME -Arrêt manuel armoire électrique -Indicateurs de pression à chaque étage -Formation et évaluation de tous les opérateurs C2H2 -Planning de maintenance préventive -Relevé périodique des paramètres de production	2	5	D	2.5	
7	Moins de T° à la sortie du compresseur	-Chute de la T° ambiante -Excès de réfrigération de l'eau de refroidissement -Mauvaise compression	-Liquéfaction du gaz C2H2 à T°<10°C et P>25 bar (voir courbe P/T°C2H2) -Risque d'explosion	-Thermostat 'TSAL' sortie compresseur réglée à 12°C avec alarme sonore -Pressostat différentiel 'PSAL 231' 0,005 bar avec alarme sonore -Thermostat du groupe réfrigérant -Contrôle périodique des ECME -Planning de maintenance préventive -Relevé périodique des paramètres de production	1	5	D	1.5	
8	Pas de purge de C2H2 au niveau du sècheur/déshuileur	-Omission ou erreur humaine -Non respect de la procédure PGH.PGP 12	-Infiltration d'huile au niveau des rampes de Cdt -Augmentation de pression (bouchons d'huile dans les arrêts d'explosion) -Risque d'endommagement de la bouteille	-Procédure PGH.PGP 12 -Formation et évaluation de tous les opérateurs C2H2 -Contrôle périodique réglementaire des APG -Test décennal hydrostatique -Indicateur de pression 'PI 304' -Pancarte 'Purge obligatoire'	2	2	D	2.2	

Annexe 4 : TABLEAU HAZOP

Sous système : Conditionnement C2H2 Nœud : rampe de remplissage									
Item	Déviati on	Causes	Conséquences	Barrières de sécurité	F	G	E	C	Recomm andations
1	Plus de T° dans la bouteille C2H2 (échauffement anormal)	-Défaillance du système de refroidissement bouteilles (arrosage) -Augmentation de la T° ambiante (vague de chaleur) -Apport extérieur de chaleur -Nombre de bouteilles en charge insuffisant pour le débit de compression -Rampe(s) laissée(s) fermée(s) -Présence de poches d'air à l'intérieur de la bouteille	-Risques d'explosion des bouteilles -Risque de destruction du bâtiment -Fatalité	-Système d'arrosage des bouteilles -Arrêts d'explosion -Vérification de la bouteille avant remplissage -Système de déluge automatique -Procédure PGH.PGP 12 -Procédure 'Visite bouteilles C2H2' PGH.PGP 04 -Formation et évaluation de tous les opérateurs C2H2 -Rebut systématique des bouteilles présentant des défauts conformément à la PGH.PGP 03 -Planning de maintenance préventive (système d'arrosage...)	2	5	D	2.5	
2	Moins d'eau d'arrosage des bouteilles sur la rampe	-Bouchage des pulvérisateurs d'eau -Défaillance de la pompe -Insuffisance d'eau dans le bassin	-Échauffement de la bouteille -Risques d'explosion des bouteilles -Risque de destruction du bâtiment -Fatalité	-Nettoyage périodique des pulvérisateurs -Entretien de la pompe (planning de maintenance périodique) -Nettoyage du bassin -Système de déluge	2	5	D	2.5	
3	Plus de concentration de C2H2 dans l'atelier de conditionnement de C2H2	-Fuite au niveau des étriers, flexibles -Mauvais serrage des raccords -Usure des joints d'étanchéité -Vanne laissée ouverte -Robinet de bouteille fuyard (pointeau) -Fuite sur la conduite de mise à l'air	-Risque incendie/explosion -Risque de destruction du bâtiment -Risque d'asphyxie	-Ventilation naturelle de l'atelier (portes ouvertes) -Contrôle quotidien des fuites par l'eau savonneuse -Procédure 'Visite bouteilles C2H2' PG -Formation et évaluation de tous les opérateurs C2H2 H.PGP 04 -Accès restreint et interdiction de toute source de chaleur dans l'atelier avec -affichage des consignes et sensibilisation -Vanne d'isolement pour chaque rampe -Entretien préventif de l'installation	3	5	D	3.5	
4	Moins d'acétone dans la bouteille	-Absence ou mauvais contrôle de la bouteille (non respect de la PGH.PGP 04 Visite bouteille) -Infiltration d'eau dans la cuve d'acétone -Robinet fuyard ou laissé ouvert après acétonnage -Pesée erronée -Erreur de lecture de la tare -Matière poreuse détériorée	-Mauvaise dissolution de l'acétylène -Décomposition du gaz C2H2 -Échauffement de la bouteille et risque d'explosion -Fatalité	-Procédure 'Visite bouteilles C2H2' PGH.PGP 04 -Formation et évaluation de tous les opérateurs C2H2 -Contrôle de métrologie légale des balances -Contrôle des robinets bouteilles -Planning de maintenance préventive	3	5	D	3.5	