



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de sécurité industrielle et environnement
MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité industrielle
Spécialité : sécurité industrielle et environnement

Thème

**Etude d'une stratégie de mitigation des gazes
échappées d'une installation**

Présenté et soutenu publiquement par :

Benameur Sara

et

Krim Kamilia Khouloud

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
AOUMEUR Nabila	MCB	IMSI	Président
SERAT Fatima Zohra	MCB	IMSI	Encadrante
MOULESSEHOUL Atika	MCB.	IMSI	Examineur
GUETARNI Mohamed Islam	MCB	IMSI	Coo-encadrant

Année 2022/2023

Remerciement

Alḥamdulillah, CHOUKROLILLAH c'est grâce à Dieu le tout Puissant que ce travail a pu être achevé.

Nous exprimons ma plus profonde gratitude à mon encadreur Madame « Serat Fatima Zohra » pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, pour son aide inestimable et son soutien permanent, afin de finaliser ce mémoire, ainsi le Co-encadreur Monsieur « GUTARNI Mohamed Islam » et nous les remercions pour la qualité de leur savoir qui nous ont transmis.

Nous remercions également Madame « Babahoum Fatima Zohra » chef service protection environnement au sein de la société Sonatrach région In Amenas de son aide précieuse et sa gentillesse.

Nous adressons également nos remerciements aux enseignants qui nous ont fait l'honneur de participer, aux jurys de ce mémoire.

Enfin nous remercions toute personne ayant de près ou de loin contribué à l'élaboration de ce modeste travail et l'ensemble des enseignants qui ont assuré notre formation durant toutes ces années d'étude

Dédicace

A ma chère grand- mère autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et ton affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait.

A mes chers parents, pour leur soutien et leur courage,

A mes frères,

A mes amies, en particulier Amina Amarni pour son aide

À tous les êtres chers dont leur soutien m'a été indispensable et qui attendent avec impatience ma réussite,

Krim Kamilia Khouloud

Dédicace

A ma mère et mon père pour les sacrifices qu'elle avait consenti pour mon instruction et mon bien-être.

A ma chère binôme «Krim Kamilia Kouloud » pour son entente et sa patience.

A mon mon frère « BENAMEUR ali », qu'aucune dédicace ne saurait exprimer mes remerciements pour tout ce qu'elle a fait pour moi.

A des meilleures copines de chambre « KADRRI marwa, BOUNAB sanaa » avec qui j'ai partagé des moments inoubliables pour son aide et son empathie.

A mes amies «AMARNI amina, BAHLOUL hadjer » en souvenir de notre sincère et profonde amitié et les moments agréables que nous avons passés ensemble.

A tous les membres du club « MASTER-MINDS » que je considère comme ma deuxième famille.

A tous les amis et collègues de l'IMSI et tous ceux qui m'estime et pense à moi.

Benameur Sara

Résumé

Au niveau des complexes pétroliers les scénarios catastrophiques sont considérées comme un risque majeur qui menace l'industrie. Les fuites dans les installations industrielles sont considérées parmi les scénarios catastrophiques. La libération accidentelle de gaz toxique et/ou inflammable constitue des scénarios d'accidents majeurs pouvant entraîner des distances d'impact industriel et environnemental importantes.

L'objectif de ce travail est de réaliser une analyse des risques industriels par la méthode HAZOP sur le refoulement du compresseur au sein du l'unité RGTE (récupération des gaz torche, EDJELEH, In Amenas) .Ainsi qu'une modélisation des conséquences de plusieurs scénarios en utilisant le logiciel de simulation PHAST 8.0. Ce qui nous a permis de définir l'impact des conditions de stockage sur l'intensité des scénarios qui peuvent survenus dans le refoulement du compresseur suite à une fuite ou une rupture de cet équipement.

Dans notre étude une quantification des risques et identification des mesures d'atténuation nécessaires en matière de prévention des accidents et de protection des personnes, des installations et de l'environnement et formuler des recommandations pour prévenir et gérer la situation et élaborer des procédures d'urgence en cas de fuite.

Mots clés : HAZOP, PHAST.

Abstract

In oil and gas industry sites, catastrophic scenarios are considered a major risk that threatens the industry. Leaks in industrial installations are considered among the catastrophic scenarios. The accidental release of toxic and/or flammable gas constitutes major accident scenarios that can lead to significant industrial and environmental impact distances.

The objective of this work is to carry out an analysis of industrial risks by the HAZOP method on the discharge of the compressor within the RGTE unit (torch gas recovery, EDJELEH, In Amenas). As well as ,a modeling of the consequences of multiple scenarios using PHAST 8.0 simulation software. This allowed us to define the impact of storage conditions on the intensity of the scenarios that may have occurred in the discharge of the compressor following a leak or rupture of this equipment.

In our study, a quantification of the risks and identification of the necessary mitigation measures in terms of accident prevention and protection of people, installations and the environment and formulate recommendations to prevent and manage the situation and develop procedures for emergency in the event of a leak.

Keywords: HAZOP, PHAST.

Liste d'abréviation

ADD : Arbre de défaillance

ADE : Arbre des événements

ALOHA : Areal Locations of Hazardous Atmospheres

AMDE : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets AMDEC

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et leurs Criticité

APR : Arbre préliminaire de risque

BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion

ESD : Système d'arrêt d'urgence

FID : Détecteurs d'ionisation de flamme

GNL : Gaz naturel liquéfié

HAZOP: Hazard operability

ISO: International standardization organization

LDAR : Programmes de détection et réparation des fuites

LSE : La limite supérieure d'explosivité

LIE : La limite inférieure d'explosivité

PHAST: Process Hazard Analysis Software Tool

QRA : Quantitative Risk assesment

RGTE : Unité de récupération des gaz torchés.

TDLAS : Système d'absorption laser à diode réglable

UVCE: Unconfined Vapour cloud Explosion

Liste des figures

Figure I. 1: Diagramme d'acceptabilité de risque (courbe de Farmer)	5
Figure I. 2: Les action permettent de maitriser les risques d'accident.....	11
Figure I. 3: Processus de gestion de risque.....	12
Figure I. 4: Hiérarchie des mesures de contrôle	16
Figure I.5: Exemple de arbre de défaillance.....	22
Figure I. 6: Exemple de arbre d'événement	27
Figure I. 7: Exemple de schéma de nœud de papillon.....	28
Figure II. 1: Triangle de feu.....	37
Figure II. 2 : Hexagone d'explosion	38
Figure II. 3: L'origine de formation d'un BLEVE	40
Figure II. 4: Phénomène UVCE	41
Figure II. 5: Phénomène de BOI OVER.....	42
Figure II. 6:Feu torche	43
Figure II. 7: Feu de nappe.....	44
Figure III. 1 : Position géographique In-Amenas	55
Figure III. 2: Base de vie INAS.....	55
Figure III. 3: Base industriel.....	56
Figure III. 4: Organigramme de INAS	56
Figure III. 5: Champ pétroliers INAS.....	57
Figure III. 6: Centre de stockage TG.....	58
Figure III. 7: Vu général de procédé de l'unité	60
Figure III. 8: Vu général de site.....	60
Figure III. 9: Les défèrent procédé de l'unité	61
Figure III. 10: Central de séparation Cs5	62
Figure III. 11: Vu d'un séparateur TEST	63
Figure III. 12: Section de compression.....	64
Figure III. 13: Compresseur centrifuge à quatre étage	65
Figure IV. 1: Graphe nombre de conséquences en fonction de la gravité et de la probabilité	82
Figure IV. 2: Localisation de scénario	84
Figure IV. 3: La rose de vent de région EDJELEH.....	85
Figure IV. 4: Dispersion de nuage de gaz direction du vent vers le sud	88
Figure IV. 5: Concentration de nuage de gaz vs Distance.....	88
Figure IV. 6: Hauteur de nuage de gaz par rapport le sol.....	88
Figure IV. 7: Zones touchées par le nuage de gazeux	89
Figure IV. 8: Les effets de l'explosion.....	89

Figure IV. 9: Effet d'explosion immédiate.....	89
Figure IV. 10: Les zones touchées par les ondes de pression engendrées par l'explosion ..	90
Figure IV. 11: Flash fire suite à une rupture.....	90
Figure IV. 12: Effet du jet fire	91
Figure IV. 13: Radiation thermique engendré par jet fire	91
Figure IV. 14: Dispersion de nuage de gaz direction du vent vers le sud	92
Figure IV. 15: Concentration de nuage de gaz vs Distance.....	92
Figure IV. 16: Hauteur de nuage de gaz par rapport le sol (petite fuite).....	92
Figure IV. 17: Distance du nuage de gaz.....	93
Figure IV. 18: Les effets de l'explosion.....	93
Figure IV. 19: Les zones touchées par les ondes de pression engendrées par l'explosion ..	93
Figure IV. 20: Effet d'explosion immédiate.....	94
Figure IV. 21: Flash fire suite à une petite fuite.....	94
Figure IV. 22: Effet du jet fire	95
Figure IV. 23: Zone touchée par les radiations thermiques engendré par le feu torche	95
Figure IV. 24: Radiation thermique engendré par jet fire	96
Figure IV. 25: Dispersion de nuage de gaz direction du vent vers le sud	96
Figure IV. 26: Concentration de nuage de gaz vs Distance.....	97
Figure IV. 27: Hauteur de nuage de gaz par rapport le sol.....	97
Figure IV. 28: Distance du nuage de gaz.....	97
Figure IV. 29: Les effets de l'explosion.....	98
Figure IV. 30: Les zones touchées par les ondes de pression engendrées par l'explosion ..	98
Figure IV. 31: Effet de l'explosion immédiate.....	98
Figure IV. 32: Flash fire suite à une grande fuite.....	99
Figure IV. 33: Effet du jet fire	99
Figure IV. 34: Radiation thermique engendré par jet fire	100
Figure IV. 35: Zone touchée par les radiations thermiques engendré par le feu torche	100
Figure IV. 36: Effet de fire ball	101
Figure IV. 37: Distance des effets de fire ball.....	101

Liste des Tableaux

Tableau I.1: La matrice de risque	15
Tableau I. 2: Critère de choix des méthodes d'analyse de risque	19
Tableau I. 3: Exemple de la démarche "APR"	21
Tableau I. 4: Exemple de tableau AMDEC	24
Tableau I. 5: Exemple tableau HAZOP	39
Tableau II. 1: Décrets exécutifs et présidentiel relatifs à la protection de l'environnement et l'hydrocarbure	45
Tableau IV. 1: Le poids des équipement de refoulement du compresseur	68
Tableau IV. 2: Tableau matrice de sonatrach.....	70
tableau IV. 3: Niveau de risque.....	70
Tableau IV. 4: Analyse HAZOP sue refoulement du compresseur	72
Tableau IV. 5: Evolution des conditions météorologiques durant l'année	85
Tableau IV. 6: Les paramétré d'entrée.....	85
Tableau IV. 7: Caractéristiques physiques et chimiques des gazes.....	86
Tableau IV. 8: Population interne de l'unité RGTE.....	87

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Liste d'abréviation	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction général.....	1
Chapitre I : Généralité sur la gestion des risques	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Notions Fondamentales.....	4
I.2.1 Danger	4
I.2.2 Risque.....	4
I.2.3 Exposition.....	5
I.2.4 Facture des risques	6
I.2.5 Type de risque	6
I.2.6 Impact environnemental.....	6
I.3 Concept de la pollution	7
I.3.1 Nature de pollution	7
I.4 Définition de risque industriel	7
I.4.1 Facteurs de risque industriel.....	8
I.5 Notion de prévention	8
I.5.1 Niveaux de prévention	9
I.6 Notion de protection	9
I.6.1 Deux types de moyenne de protection	9
I.7 Notion de sécurité	10
I.7.1 Fonction de sécurité	10
I.8 Gestion des risque	11
I.8.1 Processus de gestion de risque	11
I.8.1.1 Analyse des risques.....	12
I.8.1.1.1 Identification des risques	12

I.8.1.1.2	Analyse des risques.....	12
I.8.1.1.3	Estimation de risque.....	13
I.8.1.2	Evaluation du risque	13
I.8.1.3	Acceptabilité du risqué	14
I.8.1.4	Réduction de risque	15
I.8.1.5	Surveiller les risques	17
I.9	Méthodes et outils d'analyse et d'évaluation des risques	17
I.9.1	Critères de classement des méthodes de l'analyse de risque	17
I.10	Exemples des méthodes d'évaluation des risques	20
I.10.1	Analyse préliminaire de risque APR	20
I.10.2	Arbre de défaillance.....	22
I.10.3	Analyse de mode de défaillance et de leur effet et de leur (criticité) AMDE(C).....	23
I.10.4	HAZOP (HAZard and OPerability study).....	25
I.10.5	Arbre d'événement (AAE)	26
I.10.6	Nœud Papillon	28
I.11	Exemples des outils d'analyse des risques	29
I.11.1	Évaluation Quantitative des Risques (QRA).....	29
I.11.2	CAMEO – ALOHA (Areal Location Of Hazardous Atmosphere).....	30
I.11.3	Logiciel DNV PHAST	32
I.12	Conclusion	32
Chapitre II : phénomène dangereux		
II.1	Introduction	35
II.2	Concepts et définitions.....	35
II.3	Phénomène dangereux	36
II.4	Incendie	36
II.4.1	Définition	36
II.4.2	Les élément de triangle de feu.....	37
II.4.2.1	Combustible	37
II.4.2.2	Comburant	37
II.4.2.3	Source d'énergie (énergie d'activation)	37
II.5	Explosion	38
II.5.1	Définition	38

II.5.2	Conditions d'une explosion	38
II.5.3	Conséquences d'une explosion.....	39
II.6	Types de phénomènes dangereux	39
II.6.1	Phénomènes instantanés	39
II.6.1.1	BLEVE	39
II.6.1.1.1	Description de phénomène	39
II.6.1.1.2	Origine du BLEVE	40
II.6.1.1.3	Conséquences dévastatrices d'un BLEVE	40
II.6.1.2	UVCE.....	40
II.6.1.2.1	Définition	40
II.6.1.2.2	Origine	41
II.6.1.2.3	Effets de l'UVCE	41
II.6.1.3	BOIL OVER	41
II.6.1.3.1	Définition	41
II.6.1.3.2	Origine.....	42
II.6.1.3.3	Effets du boil-over	42
II.6.2	Phénomènes continus	42
II.6.2.1	Feu de torche.....	43
II.6.2.1.1	Définition.....	43
II.6.2.1.2	Origine de feu de torche	43
II.6.2.1.3	Effets de feu de torche	43
II.6.2.2	Feu de nappe	43
II.6.2.2.1	Définition.....	43
II.6.2.2.2	Origines du feu de nappe	44
II.6.2.2.3	Effets du feu de nappe	44
II.7	Effet domino	44
II.8	Réglementations Algérienne relatifs aux hydrocarbures et la protection de l'environnement	45
II.9	Réglementations Algérienne relatives à l'environnement	50
II.9.1	Politiques environnementales en Algérie	50
II.10	International	51
II.10.1	Protocole de Kyoto	51
II.11	Conclusion	51

Chapitre III: présentation de l'unité RGTE

III.1	Introduction.....	54
III.2	Présentation de la SONATRACH.....	54
III.3	Présentations de la région In Amenas	54
III.3.1	Historique	54
III.3.2	Situation géographique	55
III.3.3	Organigramme de INAS.....	56
III.3.4	Les champs pétrolifères IN-AMENAS	56
III.3.4.1	Secteur EST.....	57
III.3.5	Secteur OUEST	58
III.4	Présentation De L'unité « RGTE ».....	59
III.5	Procédé de l'unité RGTE	60
III.5.1	Centres De Séparation	62
III.5.2	Notion De Test Puits	62
III.5.3	La section soufflante.....	63
III.5.4	Section de compression	63
III.5.5	Unité de déshydratation	65
III.5.6	Risques liés à l'unité RGTE	65
III.5.7	Systèmes de sécurité mise en place dans (RGTE).....	65

Chapitre IV: Evaluation des risques au tour de refoulement du compresseur

IV.1	Introduction.....	68
IV.2	Effet-Influence de perte de confinement.....	68
IV.3	Choix des méthodes	69
IV.4	Analyse des risques au niveau du refoulement du compresseur par la méthode du HAZOP	69
IV.4.1	Choix de la matrice de risque	69
IV.4.1.1	La matrice de risque	70
IV.4.1.2	Niveaux de risques	70
IV.4.2	Elaboration des tableaux HAZOP	71
IV.4.3	Interprétations et résultats	82
IV.4.4	Synthèse des résultats HAZOP	83
IV.5	Modélisation des scénarios catastrophiques au niveau de refoulement du compresseur	83
IV.5.1	Données de la modélisation.....	83

IV.5.1.1 Localisation de la zone à étudier	83
IV.5.1.2 Données météorologique	84
IV.5.1.3 Données sur la canalisation.....	85
IV.5.1.4 Caractéristique de substance étudiée	86
IV.5.1.5 Population dans le site RGTE.....	87
IV.6 Modélisation des scénarios catastrophiques au niveau compresseur.....	87
IV.6.1 Scénario 1 : Rupture au niveau de refoulement du compresseur.....	87
IV.6.1.1 Résultat obtenue pour scénario 1	88
IV.6.1.1.1 Dispersion :.....	88
IV.6.1.1.2 Explosion (VCE) :	89
IV.6.1.1.3 Flash fire	90
IV.6.1.1.4 Jet inflammé (Jet fire)	91
IV.6.2 Scénario 2 : petite fuite au niveau de refoulement du compresseur	91
IV.6.2.1 Résultat obtenue pour scénario 2	92
IV.6.2.1.1 Dispersion	92
IV.6.2.1.2 Explosion (VCE)	93
IV.6.2.1.3 Flash fire	94
IV.6.2.1.4 Jet inflammé (Jet fire)	95
IV.6.3 Scénario 3 : grande fuite au niveau de refoulement du compresseur	96
IV.6.3.1 Résultat obtenue pour scénario 3	96
IV.6.3.1.1 Dispersion	96
IV.6.3.1.2 Explosion (VCE)	98
IV.6.3.1.3 Flash fire	99
IV.6.3.1.4 Jet inflammé (Jet fire).....	99
IV.6.3.1.5 Boule de feu(fire ball).....	101
IV.6.3 Synthèse de la simulation.....	101
IV.7 Recommandation.....	102
IV.7.1 Les mesure à prendre	103
IV.7.1.1 Pour l’environnement.....	103
IV.7.1.2 Pour l’homme.....	103
IV.8 Les méthode technologique et programme proposé pour détecter et repérer les fuit	103
IV.8.1 Programmes de détection et réparation des fuites (LDAR)	103

IV.8.2	Avantages du programme LDAR	104
IV.8.3	Les principaux éléments d'un programme LDAR	104
IV.8.4	L'imagerie optique des gaz :	104
IV.8.5	Système d'absorption laser à diode réglable TDLAS.....	105
IV.8.6	Détecteurs d'ionisation de flamme FID.....	105
IV.8.7	Système d'arrêt d'urgence ESD.....	105
IV.8.7.1	Niveaux de Sécurité	106
IV.9	La prévention en cas de fuite dans le pipeline	107
IV.10	Conclusion	107
	Conclusion général.....	109
	Bibliographie	110
	Annexes	121

Introduction Générale

Introduction générale

Au cours des dernières décennies, le monde a connu des progrès technologiques qui ont modifié profondément les exigences en termes de sûreté de fonctionnement des systèmes qui sont devenus de plus en plus complexe. Les systèmes industriels ont connu une augmentation notable du nombre des accidents majeurs et notamment dans Le secteur des hydrocarbures en raison de la nature inflammable et volatile des produits pétroliers et gaziers. Les risques associés à ce domaine comprennent les explosions, les incendies, les fuites, la pollution environnementale et les risques pour la santé des travailleurs. La gestion de ces risques constitue une priorité majeure pour les entreprises opérant dans le secteur des hydrocarbures.

Les fuites dans les installations industrielles représentent un problème majeur en termes de sécurité et d'environnement. Elles peuvent avoir des conséquences graves, allant de la pollution de l'air et de l'eau à des risques pour la santé humaine. Les fuites peuvent survenir dans différents types d'installations industrielles, telles que les usines chimiques, les raffineries, les centrales électriques et les sites de traitement des déchets. Comprendre les causes et les conséquences de ces fuites est essentiel pour prendre des mesures préventives efficaces et mettre en place des protocoles d'intervention appropriés. Dans cette introduction, nous allons explorer les différents aspects liés aux fuites dans les installations industrielles, y compris les risques associés, les méthodes de détection et les mesures de prévention.

Afin de contribuer à la réduction des impacts industrielles et environnemental notre mémoire repose sur l'étude les impacts des gazes échappé d'une installation industrielle dont l'objectif de proposer des méthodes et /ou des recommandations de mitigation de ces incidents.

Le travail est composé de quatre chapitres comme suivant :

Le premier chapitre se concentre sur les notions de base de la gestion des risques, tels que l'identification des dangers, l'évaluation des conséquences et des probabilités d'occurrence, ainsi que la hiérarchisation des risques. Nous aborderons également les différentes approches et outils d'analyse des risques, notamment l'analyse des modes de défaillance, des effets et de leur criticité (AMDEC), l'arbre des causes, la méthode des scénarios, et plus particulièrement, la méthode HAZOP (HAZard and OPerability study).

Le deuxième chapitre présent une synthèse générale sur les phénomènes dangereuses , ces origine, ces conséquences, aussi ces effets sur l'homme et l'environnement avec la présentation de ses caractéristiques, tels que les explosions, les incendies, BLEVE, feu torché ainsi que le cadre réglementaire.

Le troisième chapitre est une présentation du l'unité de récupération des gaz torché EDJELIH RGTE.

Le quatrième chapitre met en évidence notre partie pratique par l'application de la méthode HAZOP pour étudier et analyser les risques et la détermination des scénarios

catastrophiques et l'utilisation du logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) est une application des outils informatiques de modélisation sur notre cas d'étude qui concerne l'accident majeur et dont nous avons exploité les résultats, suivis les recommandations.

Enfin nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I : Généralité sur la gestion des risques

I.1 Introduction

La gestion des risques technologiques est une préoccupation majeure pour les entreprises industrielles qui sont confrontées à des dangers potentiels tels que les explosions, les incendies, les déversements de produits dangereux, etc. Ces risques peuvent avoir des conséquences catastrophiques pour les employés, l'installation et l'environnement. Il est donc impératif pour les entreprises de mettre en place des mesures de prévention et de gestion efficaces pour réduire ces risques à un niveau acceptable, et pour assurer la sécurité des personnes et des biens.

Pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion des risques technologiques, il est nécessaire de disposer d'outils et de méthodes d'analyse de risques. Ces outils permettent d'identifier les scénarios d'accidents potentiels, d'évaluer leur probabilité et leur impact, de hiérarchiser les risques, et de proposer des mesures de prévention et de gestion adaptées.

D'où l'intérêt de ce chapitre et de mettre en évidence les notions des risques, de prévention pour réduire l'effet de risque et nous avons réalisé une étude théorique sur la gestion et la maîtrise des risques dans un but de recenser les risques, de façon claire et structurée et amène également l'entreprise à mettre en œuvre un plan destiné à prévenir les sinistres ou à en réduire l'incidence. Enfin nous avons parlé sur les méthodes et les outils pour analyser et évaluer ces risques.

I.2 Notions Fondamentales

I.2.1 Danger:

Un danger est toute source potentielle de dommage, de préjudice ou d'effet nocif à l'égard d'une chose ou d'une personne (ex : des effets sur la santé), pour les organisations (ex : pertes de biens ou d'équipement) ou l'impact sur l'environnement. [1]

I.2.2 Risque:

Le risque comprend les effets de toutes les formes d'incertitude. Le risque est souvent décrit en termes d'événements potentiels, de leurs conséquences et de leur probabilité.[1] Un événement peut avoir des causes multiples et entraîne des conséquences multiples. Et les sources de risque peuvent inclure la variabilité inhérente ou les incertitudes liées à une série de facteurs. Notamment le comportement humain et les structures organisationnelles ou les influences sociales, pour lesquels il peut être difficile de prédire un événement particulier qui pourrait avoir des conséquences négatives sur l'environnement.[2]

Autrement dit un risque est la probabilité qu'une personne subisse un préjudice ou des effets nocifs pour sa santé, en cas d'exposition à un danger[1]. En conséquence, un risque se caractérise selon deux paramètres :

- Sa gravité : l'ampleur des dommages potentiels.
- Sa probabilité d'occurrence : à quel point il est probable de subir le dommage.[3]

Le risque résulte donc de la combinaison d'un danger dû à la propriété ou à la capacité intrinsèque d'un agent dangereux (équipement, substance, déchet) ou d'une situation dangereuse (contexte de travail), difficilement modifiable, et de l'exposition à ce danger qui peut-être maîtrisable.

Les risques peuvent être classés en 3 catégories :

- Les risques intolérables.
- Les risques qui doivent être limités autant que possible.
- Les risques acceptables sont que la probabilité ou la sévérité du risque est négligeable en comparaison a d'autres risques.

La sévérité des risques est classée en 4 catégories: catastrophiques, dangereux, marginaux, négligeables.[4]

Tous les risques peuvent être classés en fonction de leur fréquence d'apparition et de leur gravité, ainsi que montre les travaux de l'anglais Farmer (1967). Et donc le risque peut être latent (il n'est pas encore manifeste), apparent (il se manifeste) ou disparu (il ne peut plus se manifester).[5]

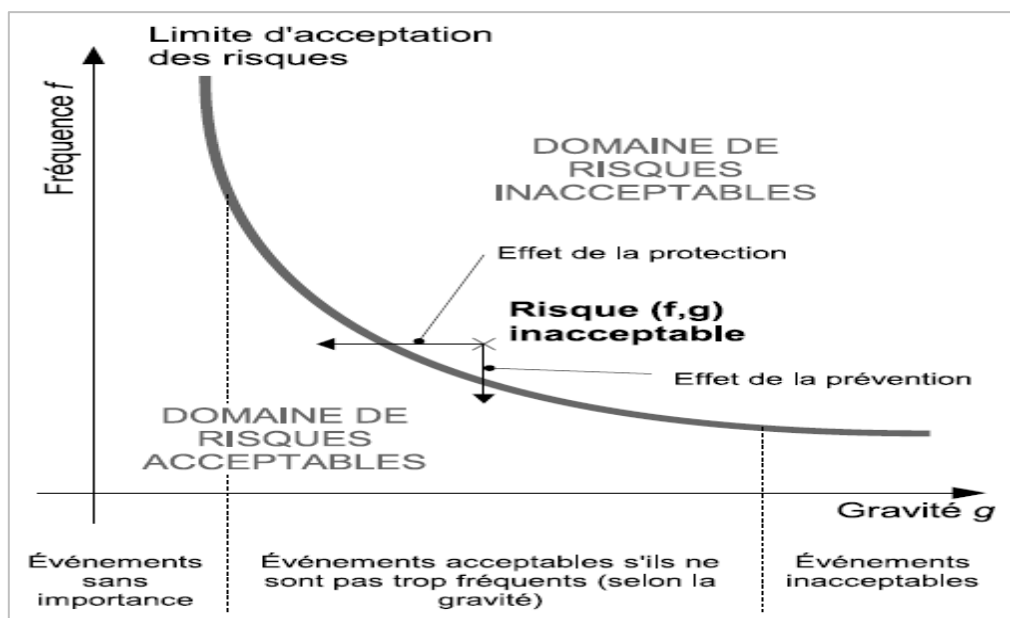


Figure I. 1: diagramme d'acceptabilité de risque (courbe de Farmer)[1]

I.2.3 Exposition:

Dans le présent contexte, quand on parle d'exposition, il s'agit du contact entre le danger et une personne, pouvant entraîner un dommage. Sans exposition, pas de possibilité de dommage. Le risque est donc la probabilité que quelqu'un soit atteint par un

danger.

I.2.4 Facture des risques:

Les facteurs de risques sont des éléments qui peuvent augmenter ou diminuer la probabilité de survenue d'un accident ou la gravité d'un événement. Les facteurs de risques complètent l'équation:

$$\text{RISQUE} = \text{DANGER} \times \text{EXPOSITION}[6]$$

Les facteurs qui influent sur le degré ou la probabilité du risque sont les suivants :

- la nature de l'exposition : dans quelle mesure une personne est exposée à une matière ou une condition dangereuse (ex : plusieurs fois par jour, une fois par année).
- le mode d'exposition (ex : inhalation de vapeurs, contact cutané).
- la gravité de l'effet. Par exemple, une substance peut causer un cancer de la peau et une autre, une irritation cutanée. Le cancer est un effet bien plus grave que l'irritation.[1]

I.2.5 Type de risque:

Les différents types de risque sont regroupés en 5 grandes familles:

Les risques naturels : avalanche, feu de forêt, inondation, mouvement de terrain, cyclone, tempête, séisme et éruption volcanique...

Les risques technologiques : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaire, biologique, rupture de barrage et celles dues aux exploitations minières et souterraines, transport de matières dangereuses..., ils sont associés à la prévention des pollutions et des risques sanitaires.

Les risques de transports collectifs (personnes, matières dangereuses) sont un cas particulier des risques technologiques, car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se produit l'accident.

Les risques de la vie quotidienne (accidents domestiques, accidents de la route ...).

Les risques liés aux conflits.[7]

I.2.6 Impact environnemental

Le concept d'impact environnemental désigne l'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement (négatif ou positif) engendré par un projet, un processus, un procédé, un organisme, ou des produits, de sa conception à sa « fin de vie ».

L'évaluation d'un impact environnemental est quantifiée grâce à la mesure d'indicateurs de flux et d'indicateurs d'impact potentiel.[8]

I.3 Concept de la pollution:

La pollution est la dégradation de l'environnement par des substances (naturelles, chimiques ou radioactives) ou des déchets (ménagers ou industriels) ou des nuisances diverses (sonores, lumineuses, thermiques, biologiques, etc.). Bien qu'elle puisse avoir une origine entièrement naturelle (éruption volcanique, par exemple). Ce phénomène peut avoir un impact très important sur la santé, les écosystèmes et la biodiversité.[9]

I.3.1 Nature de pollution :

Selon le type de polluant, il existe plusieurs manières de classer la pollution. Selon le type de polluant, on peut classer la pollution en trois catégories : pollution physique, pollution chimique et pollution biologique

Pollution physique : On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique, il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variées dans le milieu (sol, air et l'eau).

Pollution chimique : La pollution chimique résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans l'environnement, par exemple : les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et autres sels, ainsi que des ions métalliques. Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses.

Pollution biologique : Un grand nombre de micro-organismes peut multiplier dans le milieu (sol, air et l'eau) qui sert l'habitat naturel ou comme une simple moyenne de transport pour ces microorganismes. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites et les champignons, on parle ainsi de la pollution bactérienne, viral ou parasitaire.[10]

I.4 Définition de risque industriel :

Le risque industriel est défini comme un évènement accidentel se produisant sur un site industriel mettant en jeu des produits ou des procédés dangereux comme des activités de l'industrie chimique , fabrication de produits pour l'agroalimentaire (engrais, etc.), pour l'industrie pharmaceutique ou encore pour la consommation courante (eau de javel, etc.), et de l'industrie pétrochimique entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les riverains, les biens et l'environnement.[11]

Les risques industriels sont un peu plus larges car ils s'étendent au-delà des sites industriels et incluent d'autres activités humaines telles que la manutention, le transport et le stockage de matières dangereuses pour la santé et l'environnement.[12]

Ces risques industriels sont qualifiés de « risques majeurs » quand ils sont caractérisés par une probabilité faible et une gravité importante .Ses principales manifestations sont :

- l'incendie dû à l'ignition de combustible par une flamme ou un point chaud (risque d'intoxication, d'asphyxie et de brûlures).
- l'explosion due au mélange combustible / comburant (air) avec libération brutale de gaz (risque de décès, de brûlure, de traumatisme direct par l'onde de choc...).
- la pollution et la dispersion de substances toxiques, dans l'air, l'eau ou le sol, de produits dangereux avec une toxicité pour l'homme par inhalation, ingestion ou contact.

I.4.1 Facteurs de risque industriel

Les activités industrielles et les risques émergents par l'industrie ayant des conséquences importantes sur la biodiversité, les ressources naturelles et les équilibres écologiques. Les facteurs des risques industriels peuvent être classés en plusieurs catégories, notamment :

Les facteurs liés à la nature des activités industrielles : Ces facteurs sont associés aux activités industrielles elles-mêmes. Telles que la production, la manipulation, le stockage et le transport de produits dangereux. Les risques associés à ces activités dépendent de la nature des produits manipulés et des procédés utilisés.

Les facteurs liés à la conception et à la construction des installations industrielles : Sont liés à la manière dont les installations industrielles sont conçues et construites. Ils peuvent inclure des problèmes de conception, de construction, de maintenance ou de surveillance.

Les facteurs liés à la gestion des installations industrielles : Ces facteurs sont liés à la manière dont les installations sont gérées. Ils peuvent inclure des problèmes de gestion des opérations, de maintenance, de formation des employés, de surveillance et d'inspection.

Les facteurs liés à l'environnement : Ces facteurs sont liés à l'environnement dans lequel l'installation industrielle est située. Ils peuvent inclure des facteurs tels que le climat, la géologie, la topographie et la proximité d'autres installations industrielles ou d'infrastructures critiques. [12]

I.5 Notion de prévention

Action visant à diminuer la fréquence du risque. C'est une attitude ou ensemble de mesures à prendre qui consiste à limiter le risque professionnel, visant à prévenir ce risque en annulant ou en diminuant la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux. La prévention doit anticiper les facteurs qui peuvent conduire à des accidents, quand ils se produisent.[13]

Et donc la prévention des risques professionnels recouvre l'ensemble des dispositions à mettre en œuvre pour préserver la santé et la sécurité des salariés, améliorer les conditions de travail et le bien-être des travailleurs. En d'autres termes, il s'agit d'empêcher les accidents,

les incidents et les situations dangereuses de se produire, ou de les réduire au minimum possible.[14]

La prévention des risques professionnels est un enjeu majeur pour l'entreprise. Elle nécessite un engagement et une volonté politique forte au sein même de l'établissement. La démarche est guidée par :

- Les 9 principes généraux de prévention du code du travail qui introduisent une même démarche de prévention applicable à tous les risques et permettent de guider l'action (comme par exemple l'élimination des risques à la source, la protection collective ou l'adaptation du travail à l'homme).
- Des valeurs essentielles (respect des personnes, transparence dans la mise en œuvre de la démarche de prévention et dialogue social).
- Des bonnes pratiques de prévention.[15]

I.5.1 Niveaux de prévention

la prévention primaire : ensemble des actions visant à éviter l'apparition des risques ou les réduire dès le départ. Cela peut être réalisé en utilisant des technologies et des processus de production plus sûrs, comme des systèmes de sécurité et de contrôle de qualité, en éliminant les substances ou les matériaux dangereux.

la prévention secondaire : ensemble des actions visant à diminuer la portée des risques, lorsque ceux-ci sont avérés. Cela peut être réalisé en mettant en place des systèmes de détection et d'alerte précoce, des procédures d'urgence, des plans de contingence, ainsi que des équipements de protection individuelle.

la prévention tertiaire : ensemble des actions visant à diminuer les conséquences des risques lorsqu'un ou plusieurs incidents ont déjà eu lieu. Cela peut être réalisé en fournissant des soins médicaux.[16]

I.6 Notion de protection :

Action visant à diminuer la gravité du risque, la protection regroupe l'ensemble des mesures et des dispositions visant à limiter l'étendue ou/et la gravité des conséquences d'un phénomène dangereux, sans modifier la probabilité d'occurrence (par exemple, les équipements de protection individuelle).[13]

Les mesures de protection sont mises en place lorsque les mesures de prévention portant sur l'élimination ou la réduction du risque ne sont pas suffisantes.

I.6.1 Deux types de mesure de protection :

Équipement de protection individuelle : Dispositif ou moyen destiné à être porté ou tenu par une personne pour la protéger d'un ou plusieurs risques pouvant mettre en danger sa

santé ou sa sécurité .On parle alors de casque, de masque, de gants, de combinaison ou encore de chaussures de sécurité.[17]

Equipements de protection collective : Désignent l'ensemble des dispositifs qui contribuent à améliorer la sécurité des salariés, mais pas seulement. Ils sont également utilisés pour protéger les locaux également exposés aux risques .Ils se présentent sous de nombreuses formes et vont être installés directement au sein des locaux. On parle alors de la protection par éloignement (balisage, déviation...), La protection par obstacle (rambarde de sécurité...), La protection par atténuation d'une nuisance (aspiration de poussière, ventilation...).[18]

I.7 Notion de sécurité :

Considérer comme une situation ou un état, l'état d'absence et de danger. Il est révélateur que ce terme soit défini comme un manque, comme si la normale était la présence de danger.[13]

La sécurité est souvent définie par son contraire :c'est l'absence d'aléas, de risques, d'accidents ou de catastrophes.

Selon [Desroches et al., 2003], la sécurité concerne la non occurrence d'événements pouvant diminuer ou porter atteinte à l'intégrité du système . Pendant toute la durée de l'activité du système, celle-ci soit réussie, dégradée ou échouée.

Et suivant le guide ISO/CEI 73 [ISO, 2002] élaboré par l'ISO (organisation internationale de normalisation) sur la terminologie du management du risque, la sécurité est l'absence de risque inacceptable, de blessure ou d'atteinte à la santé des personnes, directement ou indirectement, résultant d'un dommage matériel ou à l'environnement.[19]

La sécurité industrielle consiste à maîtrise voire minimiser les risques au sein de l'industrie, et à garantir la sécurité des biens et des personnes, étant donné qu'il s'avère que les activités industrielles présentent des dangers inhérents devant être contrôlés.[20]

I.7.1 Fonction de sécurité :

Les fonctions de sécurité sont définies comme les principes ou actions à remplir en vue de maintenir un niveau acceptable de sécurité. Ces fonctions de sécurité sont traduites par un verbe d'action suivi d'une intention à accomplir. Cinq verbes d'action permettent ainsi de couvrir l'ensemble des fonctions qu'il convient d'assurer pour maîtriser les risques[21].

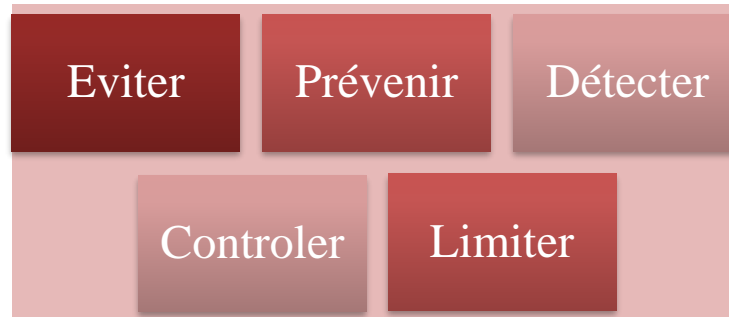


Figure I. 2: Les action permettent de maitriser les risques d'accident [21]

I.8 Gestion des risque :

La gestion du risque est une démarche systématique visant à établir la meilleure façon de procéder dans des circonstances incertaines par la détermination, l'évaluation, la compréhension, le règlement et la communication des questions liées aux risques. Elle fait partie intégrante des mécanismes d'une saine gestion. Il ne s'agit pas nécessairement d'éviter le risque en cas de menaces éventuelles. La gestion du risque permet plutôt aux organisations de prendre des décisions éclairées. Grâce à une compréhension de leurs risques, réagir de manière préventive au changement en atténuant les menaces et en tirant profit des possibilités que l'incertitude présente pour les objectifs d'une organisation.

La saine gestion des risques permet au gouvernement d'être plus efficace, concentré sur les résultats et plus performant. De plus, une capacité manifeste et accrue d'évaluer, de communiquer et de réagir aux risques suscite la confiance à la fois au sein du gouvernement et auprès du public.[22]

D'un point de vue général, La gestion des risques est le processus d'identification, d'évaluation et de d'atténuation de l'impact des risques. En d'autres termes, il s'agit d'un moyen pour les organisations d'identifier les dangers et les menaces potentiels de prendre des mesures pour éliminer ou réduire la probabilité de leur occurrence.[23]

I.8.1 Processus de gestion de risque

Le processus de gestion des risques identifie les événements ou les conditions qui présentent des risques et les gère à tous les niveaux de l'organisation. Il est basé sur une terminologie commune et permet aux organisations de coordonner les activités au niveau de l'unité fonctionnelle. Le processus doit être suffisamment adaptable pour être mis en œuvre à différents niveaux des départements ou des institutions et à travers les programmes, les sous-activités et les projets.[22]

Les deux premières étapes de l'évaluation des risques sont désignées souvent collectivement sous le nom de l'analyse des risques. Une décision peut être prise si les mesures ramènent le risque à un niveau acceptable. Il est également essentiel de vérifier que les mesures réduisant le risque sont efficaces. Et les risques inacceptables reviennent à la première étape, et réévalués dans ce processus.

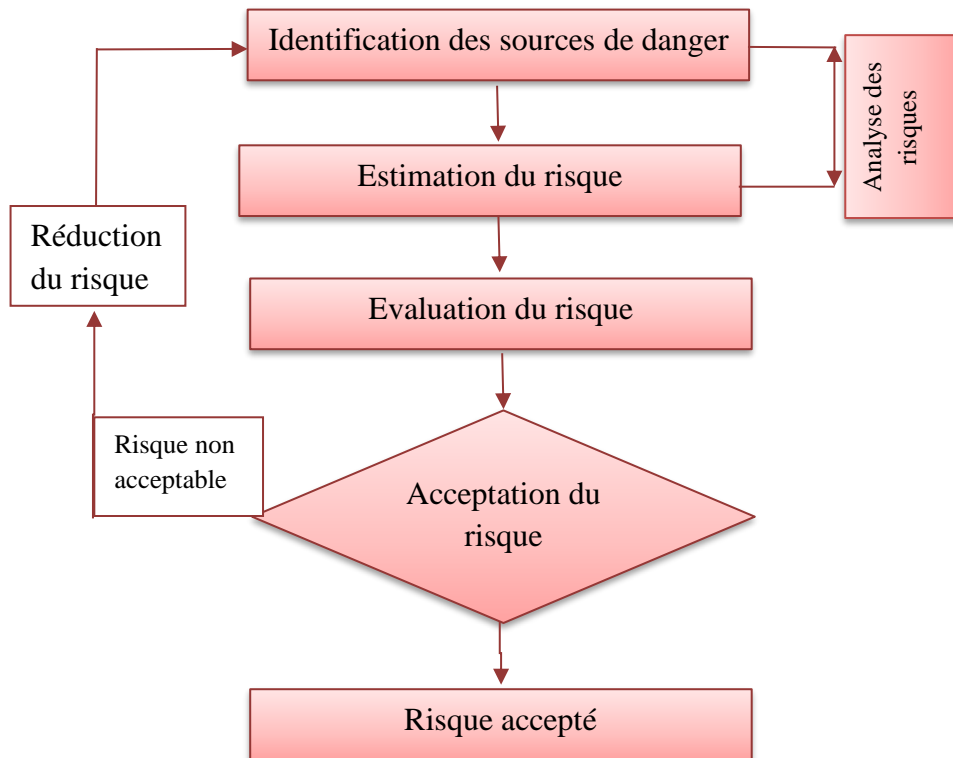


Figure I. 3: Processus de gestion de risque[2]

I.8.1.1 Analyse des risques:

L'analyse des risques consiste à comprendre et à étudier profondément les risques. La(figure I.3) montre que l'analyse des risques se compose de trois phases principales l'identification des dangers, analyse des risques réels et l'estimation.

I.8.1.1.1 Identification des risques

À l'étape de l'identification, les risques sont relevés puis clairement définis. Cette démarche vise tout risque susceptible d'avoir une incidence marquée sur l'atteinte des objectifs à divers niveaux de l'organisation. Selon les paramètres du processus d'identification des risques, elle peut être réalisée à l'aide de diverses techniques : telles que des entrevues, des examens de documents, des analyses de données et des évaluations de scénarios.[22]

I.8.1.1.2 Analyse des risques

Analyse de risque est un processus de recherche, de reconnaissance et d'enregistrement de scénario d'accidents. Elle est définie comme l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque. Elle consiste à déterminer la probabilité qu'un événement à risque pouvant se produire à chaque événement.

L'analyse des risques vise dans un premier temps à identifier les sources de dangers et les situations associées pouvant entraîner des dommages corporels, environnementaux ou

matériels. Dans un second temps, l'analyse des risques permet de visualiser les barrières de sécurité existantes pour prévenir l'apparition de situations dangereuses (barrières préventives) ou pour en limiter les conséquences (barrières de protection).

Après cette identification, les risques doivent être évalués et hiérarchisés afin de pouvoir ensuite les comparer à des niveaux de risque acceptables.[24]

Autrement dit, pour effectuer une analyse de risque, il faut d'abord identifier les menaces potentielles auxquelles elle est confrontée, puis estimer leurs impacts probables si elles devaient se produire, et enfin estimer la probabilité que ces menaces se concrétisent.[25]

La définition et la détermination des risques se composent des activités suivantes :

La définition des scénarios d'accidents : Concerne un groupe d'accidents présentant une similarité du point de vue de la chaîne des événements conduisant à l'accident. La méthode d'analyse utilisée pour grouper les accidents sous forme de scénarios est basée sur une segmentation de leur progression.

L'identification de la cause et de conséquence : Comme la libération d'énergie indésirable, est nécessaire pour estimer la probabilité et la gravité d'une éventuelle libération, rupture, etc. Afin que les mesures préventives nécessaires puissent être prises. La connaissance des causes permet de déterminer les mesures de prévention.

L'estimation de la probabilité et de la gravité de ces scénarios : Prépare la partie suivante de l'évaluation des risques. La méthode de détermination choisie pour déterminer et exprimer la probabilité et la gravité dont la manière de réaliser l'évaluation du risque.[26]

I.8.1.1.3 Estimation de risque

Elle consiste en une estimation de l'ensemble des conséquences potentielles qui pourraient résulter d'un événement, d'une situation ou d'une circonstance, et des probabilités associées, afin de mesurer le niveau de risque. L'estimation du risque s'effectue généralement en fonction des grandeurs bien connues (probabilité d'occurrence et gravité des conséquences). Cela est particulièrement vrai en cas de dommages accidentels. Cependant, pour les processus chroniques, l'évaluation des risques peut inclure d'autres variables (durée d'exposition, dose d'exposition, etc.).[27]

I.8.1.2 Evaluation du risque

La question d'évaluer le risque est essentielle mêlant à la fois sociologie, mathématiques, calcul de probabilité et traitement des informations. Pour l'appréhender il est nécessaire d'une part, d'avoir une estimation qualitative du risque. D'autre part, là où les risques ne cessent d'évoluer et de se transformer, il convient d'avoir une approche dynamique du risque. Première étape de gestion constituer l'ensemble des processus

permettant d'identifier ces derniers et déterminer les moyens appropriés pour les réduire ou au moins les maîtriser.[28]

Le terme évaluation des risques est utilisé pour décrire l'ensemble du processus ou de la méthode qui permet :

- De cerner les dangers et les facteurs de risque qui pourraient causer un préjudice (identification des dangers).
- D'analyser et d'examiner le risque associé au danger (analyse du risque et examen du risque).
- De déterminer des moyens appropriés pour éliminer le danger ou pour maîtriser le risque lorsque le danger ne peut pas être éliminé (maîtrise du risque).

Une évaluation des risques comprend un examen approfondi du lieu de travail pour identifier les éléments, les situations et les processus qui peuvent causer des dommages, en particulier aux personnes. Une fois qu'un risque est identifié, la probabilité et la gravité du risque doivent être analysées et évaluées. Il est alors nécessaire de déterminer les mesures à prendre pour éviter que le danger ne se produise.

L'objectif du processus d'évaluation des risques est d'examiner les dangers puis de les éliminer ou si nécessaire, de réduire le niveau de risque en ajoutant des mesures de contrôle. En conséquence les lieux de travail deviendront plus sûrs et plus sains.

Le but est de tenter de répondre aux questions suivantes :

1. Que peut-il arriver et dans quelles circonstances?
 2. Quelles sont les conséquences possibles?
 3. Quelle est la probabilité que les conséquences se produisent?
 4. Est-ce que le risque est maîtrisé efficacement, ou faut-il prendre d'autres mesures?
- [29]

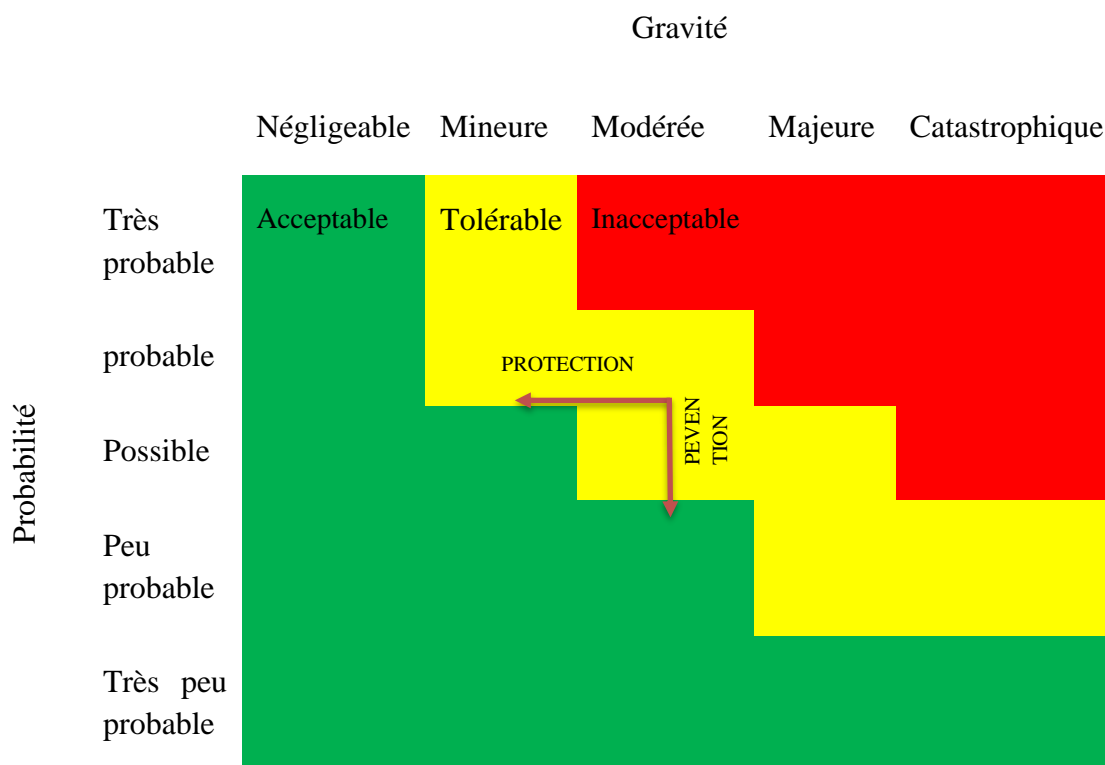
I.8.1.3 Acceptabilité du risqué

L'acceptabilité du risque correspond au niveau de tolérance face au risque qui est estimé grâce aux approches scientifiques et sociales. L'agrément se fonde entre autres sur des données scientifiques et les valeurs éthiques associées. Il tient également compte du niveau de risque estimé et de l'importance relative entre les résultats positifs et négatifs associés au risque.[30]

L'acceptabilité du risque découle de ces deux paramètres. Les niveaux de risque quantifiés sont placés dans une matrice d'évaluation ou la non-acceptation du risque est évaluée selon des critères d'acceptation. Si les risques sont jugés acceptables le processus de gestion est terminé et les risques considérés font l'objet d'un suivi. Sinon le procédé passe à l'étape de réduction.[31]

Une matrice des risques est un outil d'analyse qui permet d'évaluer en amont la probabilité et la gravité des risques liés à un projet. Une fois ces deux éléments évalués, on peut alors représenter chaque risque de manière visuelle dans la matrice afin d'en calculer les éventuelles répercussions. Ces résultats permettent de hiérarchiser les risques facilement et à les gérer efficacement.[32]

Tableau I.1: La matrice de risque [1]



I.8.1.4 Réduction de risque

La réduction des risques est un processus qui consiste à minimiser la probabilité et l'impact des risques potentiels. Le risque est inhérent à toute entreprise, mais il peut être géré et réduit afin de protéger la stabilité financière et opérationnelle d'une organisation. La réduction des risques consiste à identifier les risques potentiels, à analyser leur impact potentiel et à prendre des mesures proactives pour minimiser leur occurrence ou leur impact.

L'atténuation des risques peut prendre de nombreuses formes, de la mise en œuvre de protocoles de sécurité, barrière de sécurité et etc. En outre, une réduction efficace des risques nécessite une compréhension approfondie des risques potentiels auxquels une organisation est confrontée, ainsi que l'élaboration et la mise en œuvre de stratégies visant à atténuer ces risques.[33]

Les mesures d'atténuation (maîtrise du risque) sont les efforts déployés afin d'éliminer ou de réduire les conséquences et les risques liés aux dangers. Ces efforts se traduisent par des mesures prises de manière proactive avant une situation d'urgence ou une catastrophe. lorsque l'on parle de maîtrise du risque, on se réfère souvent à la hiérarchie des mesures de contrôle.

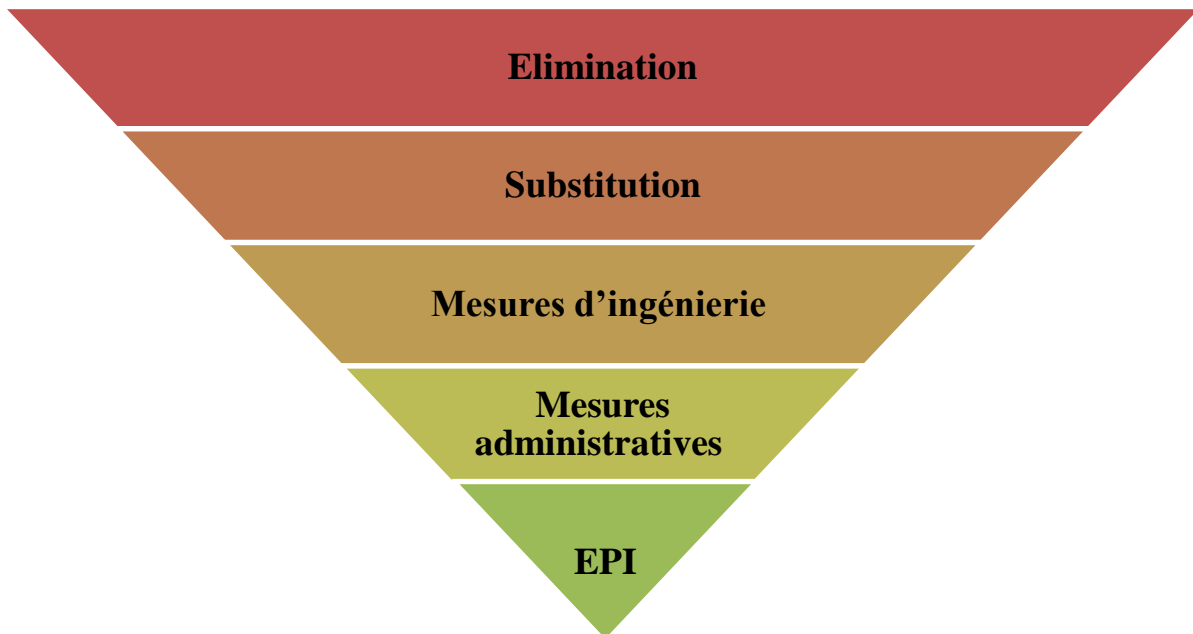


Figure I. 4: Hiérarchie des mesures de contrôle[3]

Elimination

L'élimination consiste à retirer le danger du milieu de travail. C'est la manière la plus efficace de contrôler un risque, puisque le danger n'est plus là.

Substitution

Substitution remplace une chose par une autre. Dans ce cas, remplacer un danger par un autre danger moins important. Par exemple : remplacer une tâche par une méthode moins risquée pour obtenir le même résultat, ou choisir un moteur électrique plutôt qu'un moteur diesel pour éviter les émissions.

Mesures d'ingénierie

Mesures d'ingénierie est une mesure de contrôle physique qui élimine le danger à sa source, pour que le travailleur évite son contact. Ces mesures peuvent être intégrées à la conception des installations, des équipements ou des procédés afin de réduire au maximum les risques. Elles constituent un moyen très efficace de contrôler l'exposition des travailleurs au danger pour peu qu'elles soient conçues, appliquées et maintenues adéquatement. Par exemple installer des barrières autour des pièces mobiles d'une machine et installer une

Ventilation pour éliminer ou réduire les produits en suspension dans l'air, utiliser des dispositifs mécaniques de levage pour soulever et déplacer les objets au lieu du levage manuel.

Mesures administratives

Les mesures administratives comprennent l'élaboration de procédures pour s'assurer que les tâches sont exécutées d'une manière qui minimise les risques. Cela peut inclure l'élaboration ou la modification de politiques, comme la réalisation des formations pour les employés sur la manière de travailler en toute sécurité. La création ou l'amélioration de pratiques et de procédures comme la limitation du temps d'exposition à une activité dangereuse, telle que le travail dans un environnement bruyant, et/ou l'utilisation de panneaux pour avertir les personnes d'un danger et à restreindre l'accès à une zone de travail

Équipement de protection individuelle

Lorsque toutes les étapes précédentes sont jugées insuffisantes pour réduire le risque à un niveau gérable, l'étape suivante consiste à fournir des EPI aux employés. Comme les lunettes de sécurité, casques, vêtements ignifugés, protège-oreilles et chaussure de sécurité. [34]

I.8.1.5 Surveiller les risques

Il est capital de choisir les indicateurs qui permettent de surveiller les risques connus et de détecter les émergents.

I.9 Méthodes et outils d'analyse et d'évaluation des risques

Les méthodes d'analyse de risque ont pour objectif principal de permettre aux organisations de mieux comprendre et de gérer les risques auxquels elles sont confrontées. Dans cette partie décrit brièvement les principales méthodes utilisées dans le processus d'analyse des risques. Et selon quels critères elles sont classées.

I.9.1 Critères de classement des méthodes de l'analyse de risque

Il existe différents classements des méthodes d'analyse de risques, nous retiendrons ici trois de ces classements :

Critère1 « mode de raisonnement » :où l'on distingue des méthodes dites inductives et déductives.

Les **méthodes inductives** de diagnostic correspondent à une approche "montante": des causes vers les conséquences où l'on identifie toutes les combinaisons d'événements élémentaires possibles qui peuvent entraîner la réalisation d'un événement unique indésirable .(la défaillance). exemple la méthode Arbre d'évènements.

Pour les **méthodes déductives**, la démarche est inversée puisque l'on part de l'événement indésirable, (la défaillance), et l'on recherche ensuite par une approche « descendante » toutes les causes possibles, c'est-à-dire les conséquences vers les causes. Comme exemple la méthode Arbre de Défaillances.

Notons enfin l'existence des **méthodes mixtes** (à la fois inductive et déductive) qui pour des raisons d'exhaustivités combinent les deux modes de raisonnement précédents Comme par exemple : la méthode Nœud Papillon.

Critère 2 = « type de systèmes » : où l'on distingue des méthodes statiques et dynamiques .

Une **méthode dynamique** permet de prendre en compte l'évolution de la configuration des composants du système au cours du temps, alors qu'une méthode statique étudie un système à différents instants de son cycle de vie, c'est-à-dire pour différents états possibles, sans pour autant s'intéresser aux transitions entre ces états.

Critère 3 « type d'analyse » : où l'on distingue des méthodes dites qualitatives, semi - quantitatives et quantitatives. Suivant ce critère, les méthodes se distinguent par leur degré de précision

L'**analyse qualitative** du risque est une approche qui pour la partie appréciation du risque utilise des mots -guides pour qualifier le risque , cette approche ne s'appuie pas explicitement sur des données chiffrées, mais elle se réfère à des observations pertinentes sur l'état du système. L'analyse qualitative définit les conséquences, la probabilité et le niveau de risque par des termes comme «élevé», «moyen» et «faible» et peut combiner la conséquence et la probabilité pour évaluer le niveau de risque qui en découle en fonction de critères qualitatifs.

Les méthodes d'analyse qualitatives des risques sont d'usage répandu dans les cas suivants

- Indisponibilité de données pour les dimensions des risques (gravité et probabilité).
- Evaluation initiale d'une situation pour déterminer si elle nécessite un examen plus détaillé.
- Les risques supposés ne semblent pas justifier un examen plus détaillé.

L'**analyse quantitative** consiste à caractériser numériquement le système à analyser, en déterminant la probabilité d'occurrence d'une défaillance ainsi que les conséquences d'un évènement ou d'une situation donnée pour produire le niveau de risque.

L'**analyse semi –quantitative** utilise des échelles d'évaluation numérique (des scores) de probabilité et de conséquence et les combinent pour obtenir un niveau de risque grâce à une formule, les formules du risque connaissent une variabilité et des divergences très importantes. Les échelles peuvent être linéaires ou logarithmiques ou peuvent faire l'objet d'autres relations.[27]

Tableau I. 2: critère de choix des méthodes d'analyse de risque [2]

Méthode	Description	Application	Approche Inductive Déductive	Approche Qualitative Quantitative
APR	méthode d'identification et d'évaluation des risques au stade initial de la conception d'un système	identifier les risques	Inductive	Qualitative
AMDEC	Etude des modes de défaillance possibles de chaque composant d'un système et des causes et effets de ces défaillances. L'AMDEC peut être suivie d'une analyse de criticité qui définit l'importance de chaque mode de défaillance (AMDEC).	identifier les risques	Inductive	Quantitative / semi-quantitative./ quantitative
HAZOP	Examen structuré et systématique d'un processus ou d'un fonctionnement planifié ou existant permettant d'identifier et d'évaluer les problèmes pouvant représenter un risque pour le personnel ou les équipements, ou pouvant empêcher un fonctionnement efficace.	identifier et analyser les risques	Inductive	Qualitative
Nœud de papillon	Moyen schématique permettant de décrire un cheminement, des sources du risque à ses résultats, et de revoir les moyens de maîtrise.	analyser le risque analyser les moyens de maîtrise décrire le risque	Déductive Inductive	qualitative /semi-quantitative
Arbre de défaillance	Analyse des causes d'un événement précis à l'aide de la logique booléenne pour décrire une combinaison de pannes. Variations	analyser la vraisemblance	Déductive	Qualitative Quantitative

	possibles: arbre de réussite dans lequel l'événement de tête est souhaité ou arbre des causes utilisé pour étudier les événements passés	analyser les causes		
Arbre d'événement	Modélisation des résultats possibles d'un événement initiateur donné et du statut des moyens de maîtrise de manière à analyser la fréquence ou la probabilité des différents résultats possibles	analyser les conséquences et les moyens de maîtrise	Inductive	Semi-Quantitative Qualitative
QRA	Méthode dont l'objectif est d'évaluer la probabilité de dommages causés par un accident potentiel	Evaluation de risque	Inductive	Quantitative

I.10 Exemples des méthodes d'évaluation des risques

I.10.1 Analyse préliminaire de risque APR

Une analyse préliminaire de risque (APR) est une technique dérivée des exigences du « U.S. Military Safety Program MIL-STD882D ». Utilisée depuis dans de nombreuses autres industries. L'analyse Préliminaire des Risques (APR) est une méthode d'usage très général couramment utilisée pour l'identification des risques dans l'étape de la conception d'une installation. En conséquence, cette méthode ne nécessite généralement pas une connaissance approfondie et détaillée de l'installation étudiée. En ce sens, elle est particulièrement utile dans les situations suivantes :

- Au stade de la conception d'une installation, elle fournit une première analyse de sécurité se traduisant par des éléments constituant une ébauche des futures consignes d'exploitation et de sécurité. Elle permet également de choisir les équipements les mieux adaptés.
- Pour les installations complexes existantes, l'APR représente une étape préliminaire, permettant de mettre en lumière des éléments ou des situations nécessitant une attention particulière, pour cela elle peut être complétée par une méthode de type AMDEC ou arbre des défaillances par exemple.

Une analyse de risque préliminaire doit d'abord identifier les éléments dangereux de l'installation. Ces éléments dangereux sont le plus souvent associés à:

- Des substances ou préparations dangereuses (matières premières, produits finis, d'utilités,..).

- Des équipements dangereux comme des stockages, zones de réception expédition, réacteurs, fournitures d'utilités (chaudière...).
- Des opérations dangereuses associées au procédé.

A partir de ces éléments dangereux, l'APR a pour but d'identifier, pour un élément dangereux, une ou plusieurs situations de dangers. C'est une situation qui, si elle n'est pas maîtrisée, peut conduire à l'exposition de cibles à un ou plusieurs phénomènes dangereux.

L'utilisation d'un tableau de synthèse constitue un support pratique pour mener la réflexion et résumer les résultats de l'analyse. Pour autant, l'analyse des risques ne se limite pas à remplir coûte que coûte un tableau. Par ailleurs, ce tableau doit parfois être adapté en fonction des objectifs fixés par le groupe de travail préalablement à l'analyse

Tableau I. 3: Exemple de la démarche "APR"[3]

Fonction ou système :					Date :	
1	2	3	4	5	6	7
Produit ou équipement	Situation De Danger	cause	conséquence	Sécurités existantes	Propositions D'amélioration	Observations

Objectif de APR

- Prendre en compte le facteur sécurité dès la phase recherche et conception d'une installation.
- Envisager a priori tous les risques inhérents aux produits, procédés, équipements, implantation.
- Prescrire les actions correctives.
- Répertorier les risques nécessitant une analyse complémentaire plus fine.

Avantages et limites

Elle permet un examen relativement rapide des situations dangereuses sur des installations, Il semble être assez rentable en termes de temps passé et ne nécessite pas un niveau de description du système étudié très détaillé.

En revanche, l'APR ne permet pas de caractériser finement l'enchaînement des événements susceptibles de provoquer un accident grave dans le cas des systèmes complexes. Comme son nom l'indique, il s'agit à la base d'une méthode préliminaire d'analyse qui permet d'identifier des points critiques faisant l'objet d'études plus détaillées.

Toutefois, son utilisation seule peut être jugée suffisante dans le cas d'installations simples. [35]

I.10.2 Arbre de défaillance

Un arbre de défaillance c'est une méthode déductive, représentée de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui peuvent conduire à une défaillance. Construire un arbre revient à répondre à la question « comment telle défaillance peut-elle arriver? ». Cette recherche des combinaisons de causes pouvant provoquer une défaillance se poursuit par une recherche des coupes minimales (ensembles d'événements de base, ou de conditions, nécessaires et suffisants à produire la défaillance) puis une évaluation de la vraisemblance de la survenue de la défaillance à partir de la combinaison des vraisemblances que les événements élémentaires se produisent. [36]

La méthode de l'arbre de défaillance comprend une partie qualitative, qui correspond à la construction de l'arbre et la recherche des coupes minimales, et une partie quantitative qui permet de déterminer les probabilités d'occurrence au niveau des événements élémentaires, des coupes minimales et au niveau de la défaillance.

L'arbre de défaillances est une représentation graphique de type arbre généalogique (la filiation d'une famille). Il représente une démarche d'analyse d'événement. La construction de l'arbre de défaillances repose sur l'étude des événements entraînant un événement redouté et faisant des liens entre les différents événements identifiés grâce à des portes logiques (de type « ET » et « OU » par exemple).

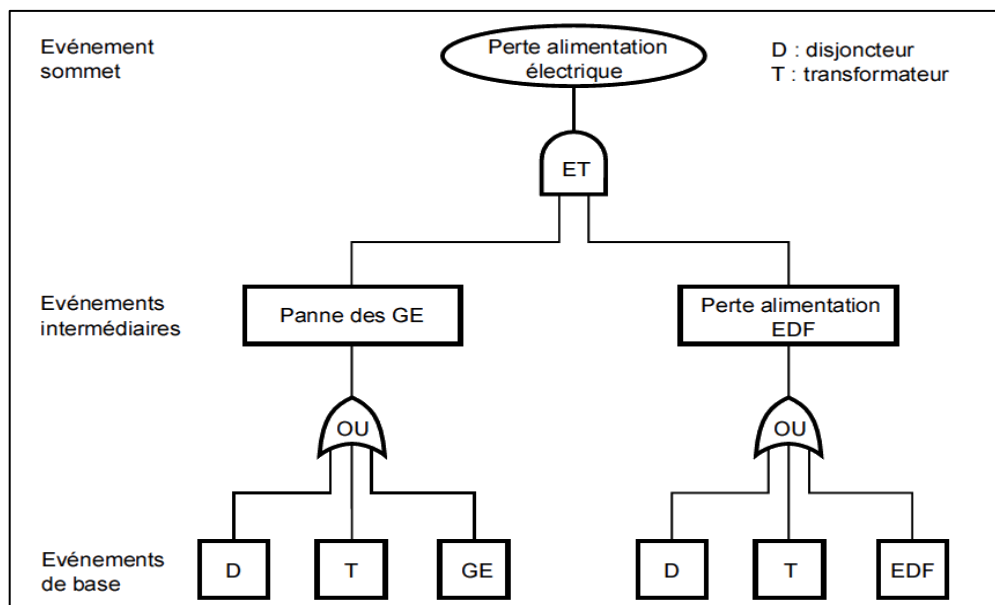


Figure I.5: Exemple de arbre de défaillance [4]

Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente. La construction de l'arbre arrêtee lorsque les événements élémentaires :

- Sont indépendants entre eux .
- Leur probabilité peut être estimée.
- Il est décidé de ne pas les décomposer en combinaison d'événements plus simples. [37]

Intérêt et limite

Le principal avantage de cette méthode vous permet de visualiser l'ensemble des combinaisons d'événements élémentaires conduisant à une défaillance, c'est-à-dire qu'elle permet d'avoir une vision globale et logique du fonctionnement et des dysfonctionnements d'un système. La connaissance des coupes minimales permet d'identifier, en phase de conception, les composants d'un système à améliorer pour qu'un événement ne se produise pas, fiabiliser ces systèmes revient donc à essayer de supprimer les coupes minimales.

Les principales limites de cette méthode sont les suivantes :

- Les événements intermédiaires doivent être indépendants les uns des autres pour que le calcul des probabilités d'occurrence soit correct.
- L'arbre des défaillances ne rend pas compte de l'aspect temporel des scénarios d'événements conduisant à la défaillance.
- Cette méthode est binaire, un événement peut soit se produire, soit ne pas se produire. [36]

I.10.3 Analyse de mode de défaillance et de leur effet et de leur (criticité) AMDE(C)

L'AMDE et l'AMDEC sont si connues et utilisées qu'elles sont pratiquement devenues le symbole de la sûreté de fonctionnement. L'AMDEC est une évolution de l'AMDE, où l'évaluation de la criticité a été ajoutée pour améliorer la pertinence de l'analyse de risque.

L'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est une méthodologie inductive, qualitative qui vise à identifier les modes potentiels de défaillances avant qu'elles ne surviennent, avec l'intention de les éliminer ou de minimiser les risques associés. Cet outil est utilisé pendant la phase de conception, mais il peut également être utilisé pendant les étapes de préconception et de réingénierie des processus pour une amélioration continue de la qualité. [38]

Le principe de la méthode AMDEC consiste à identifier toutes les causes potentielles de chaque mode de défaillance. Ensuite, il est nécessaire d'évaluer la criticité des modes de défaillance. L'indice de criticité (C) est obtenu par le produit des trois notes :

$$\text{Criticité} = \text{Gravité} \times \text{Occurrence} \times \text{Détection}$$

- La Gravité (G) ou sévérité de l'effet du défaut ou de la défaillance
- L'Occurrence (O) ou fréquence d'apparition de la cause.
- La Détection (D) : probabilité de non détection de la cause. [39]

AMDEC consiste à :

- Identifier les dysfonctionnements potentiels (modes de défaillance) .
- Rechercher les origines des dysfonctionnements (causes de défaillances).
- Identifier les conséquences de dysfonctionnement provoqués par chaque mode de défaillance des composants d'un système sur les diverses fonctions de ce système.
- Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance sur le fonctionnement normal du système et en évaluer l'impact sur la fiabilité, la sécurité du système considéré.
- Hiérarchiser les modes de défaillances connus suivant la facilité que l'on a détectée et les traiter.
- Etablir d'un tableau d'AMDEC pour chaque phase de vie du système à condition de pouvoir disposer des informations nécessaires. [40]

Tableau I. 4: Exemple de tableau AMDEC [3]

composant	Mode de défaillance de	Cause de défaillance de	Conséquence de défaillance			détECTION	Probabilité	gravité	Criticité	recommandation	remarque
			local	système	installation						

Les objectifs d'une analyse AMDEC sont:

- Identifier les défaillances qui peuvent avoir des effets non désirés sur les opérations du système.
- Permettre des améliorations à la fiabilité du système ou à la sécurité.
- Permettre l'amélioration de la maintenabilité du système (les composantes à risques ou non conformes).

En particulier, AMDEC:

- Assigne la criticité en fonction de la sévérité de l'effet et de la probabilité d'occurrence de la défaillance.
- Assigne un index de probabilité à chaque mode d'échec, et un index de sévérité à chaque effet produit par cet échec.

Limite et avantage de la méthode AMDEC

- Elles peuvent s'appliquer très largement aux aspects humains et techniques liés aux systèmes, au matériel, aux logiciels et aux procédures.
- Elles permettent d'identifier les modes de défaillance, leurs causes et leurs effets sur le système, et de les présenter dans un format lisible.
- Elles permettent d'éviter des modifications coûteuses de l'équipement en service en identifiant les problèmes au début du processus de conception.
- Elles fournissent des informations aux programmes de maintenance et de surveillance en mettant en évidence les fonctions essentielles à surveiller.

Les limites incluent ce qui suit :

- Dans le cas de systèmes particulièrement complexes comptant un grand nombre de composants, l'AMDEC peut être très difficile à mener et particulièrement fastidieuse compte tenu du volume important d'informations à traiter. Cette difficulté est décuplée lorsque le système considéré comporte de nombreux états de fonctionnement.
- L'AMDEC peut uniquement être utilisée pour identifier les modes de défaillance unique, et non les combinaisons de modes de défaillance.
- Si les études ne sont pas convenablement contrôlées et mises au point, elles peuvent prendre du temps et être onéreuses.[36]

I.10.4 HAZOP (HAZard and OPerability study)

La méthode HAZard and OPerability (HAZOP) est un outil formalisé, systémique et semi-empirique développé et utilisé pour analyser les risques associés aux opérations des installations industrielles chimiques, pharmaceutiques, pétrolières et gazières, et nucléaires. [38]

La méthode de type HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermo - hydrauliques pour lesquels il est primordial de maîtriser des paramètres comme la pression, la température, le débit. L'HAZOP prend en compte les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres au fonctionnement de l'installation. De ce fait, elle est centrée sur l'installation à la différence de l'AMDEC qui est centré sur les composants. Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne ou maille), la génération (conceptuelle) des dérivés est effectuée de manière systématique par la conjonction : de mots clés comme par exemple « Plus de » ; « Moins de » ; « Trop de » La combinaison de ces paramètres avec les mots clé permet donc de générer des dérives de ces paramètres. Par exemple (« Plus de » et « Température » = « Température trop haute ») , aussi la méthode HAZOP consiste à déterminer les causes et les conséquences potentielles de chacune de ces dérives et à identifier les moyens existants permettant de détecter cette dérive, d'en prévenir l'occurrence ou d'en limiter les effets. Afin de faciliter l'enregistrement des informations, les résultats de cette analyse sont généralement classés dans un tableau. [41]

Tableau I.5: exemple tableau HAZOP[4]

Equipment	Mot clé	Paramètre	Cause	Conséquence	Evaluation			Sécurité existantes	Proposition d'amélioration	Observation
					Probabilité	Gravité	Criticité			

Avantage et limite

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

En revanche, il est parfois difficile d'affecter un mot clé à une portion bien délimitée du système à étudier. Cela complique singulièrement l'identification exhaustive des causes potentielles d'une dérive.

- Elle peut prendre beaucoup de temps et donc être onéreuse.
- Elle nécessite un niveau élevé de documentation ou de spécification de système/processus et de mode opératoire.
- L'attention peut porter exclusivement sur la recherche de solutions plutôt que sur les raisons qui motivent une action (ceci peut être limité par une approche progressive).
- La discussion peut porter essentiellement sur des détails de conception et non sur des questions plus larges ou externes.
- Le succès de la recherche HAZOP dépend fortement des compétences et de l'expérience du responsable de la recherche ainsi que des connaissances et de l'interaction des membres de l'équipe.[2]

I.10.5 Arbre d'événement (AAE)

L'arbre des événements représente graphiquement les conséquences possibles d'un accident résultant d'un événement initiateur (une défaillance spécifique d'un équipement ou une erreur humaine). Une analyse par arbre d'événements (AAE) prend en compte la réaction des systèmes de sécurité et des opérateurs à l'événement initiateur lors de

l'évaluation des conséquences possibles de l'accident. Les résultats de l'AAE sont des séquences accidentelles; c'est-à-dire un ensemble de défaillances ou d'erreurs qui entraînent des accidents. Ces résultats décrivent les conséquences potentielles en termes de séquence d'événements (succès ou défaillance des fonctions de sécurité) qui font suite à un événement initiateur. Une analyse par arbre d'événements est bien adaptée pour étudier des procédés complexes avec multiples barrières de protection ou procédures d'urgence en place pour réagir à un événement initiateur spécifique.

L'analyse par arbre des défaillances, vise à déterminer dans une démarche déductive, les causes d'un événement indésirable. L'arbre d'événements permet :

- De rechercher toutes les causes et les combinaisons de causes conduisant à l'événement de tête.
- De vérifier les hypothèses faites au cours d'autres analyses à propos de l'indépendance des systèmes .
- D'identifier le(les) facteur(s) qui a(ont) les conséquences les plus néfastes sur une caractéristique de fiabilité ainsi que les modifications nécessaires pour améliorer cette caractéristique.
- D'identifier les événements communs ou les défaillances. [42]

L'AAE peut être utilisée de manière qualitative pour aider à analyser les scénarios et les séquences d'événements possibles après un événement initiateur .

L'AAE quantitative peut être utilisée pour étudier l'acceptabilité des moyens de maîtrise et l'importance relative pour le niveau de risque global.[2]

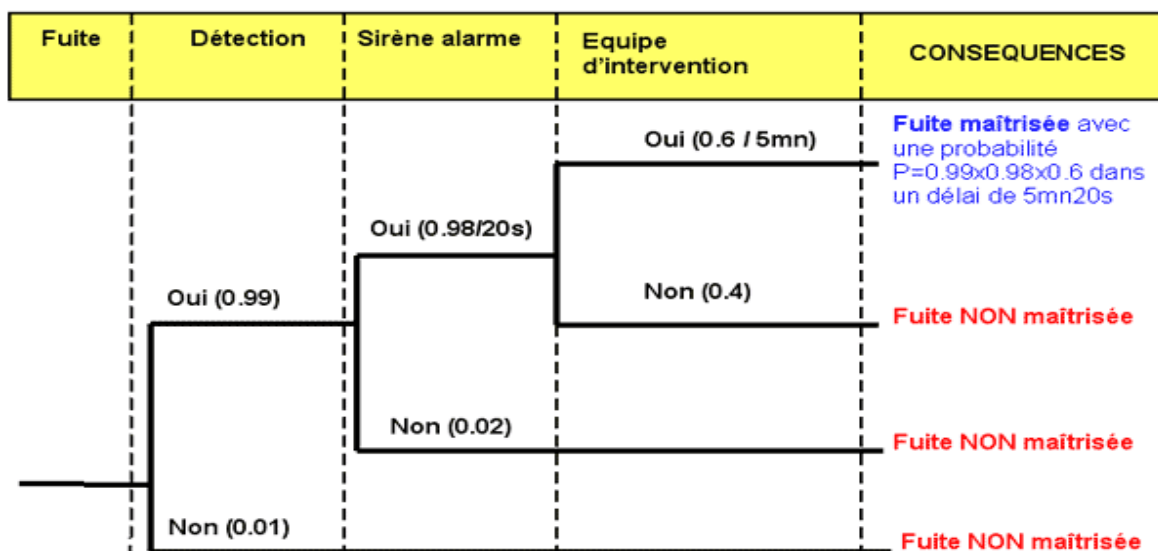


Figure I. 6: Exemple de arbre d'événement [5]

Les arbres d'événement sont construits horizontalement, à partir de l'événement initial. Le développement de l'arbre se fait alors chronologiquement, en étudiant le comportement de chaque élément. Les arbres d'événement permettent de déterminer l'enchaînement des

événements ainsi que le résultat final : succès ou échec. Les arbres d'événements sont donc en général binaires, les événements étant supposés soit arrivé, soit non.

Avantage et limite

Cette méthode est basée sur une démarche naturelle très facile à s'approprier. Elle permet la recherche de tous les enchaînements d'événements (événements qui doivent être binaires : fonctionnement / panne). La qualité des conclusions dépend de la qualité et de l'exhaustivité de la liste des éléments et comportements potentiels du système pris en compte. Elle permet d'estimer l'influence d'un facteur en faisant varier sa probabilité de réalisation. Elle permet de suivre le déroulement d'un scénario accidentel et d'évaluer l'influence des barrières mis en œuvre sur la fréquence des conséquences, et permet de connaître le nombre d'événements intermédiaires indispensable pour conduire à l'événement redouté (coupe minimale). [36]

I.10.6 Nœud Papillon

La méthode appelée « nœud papillon » en raison de sa représentation schématique est une approche d'analyse et de gestion probabiliste des risques, elle est de type arborescente largement utilisée dans différents secteurs industriels. Cette approche qui combine un arbre de défaillances à un arbre d'événements autour d'un événement redouté central, permet de visualiser concrètement les scénarios d'accidents. Cette approche va notamment mettre en avant les combinaisons séquentielles d'événements en chaîne et permet de vérifier les barrières de prévention et de protection en place.[42]

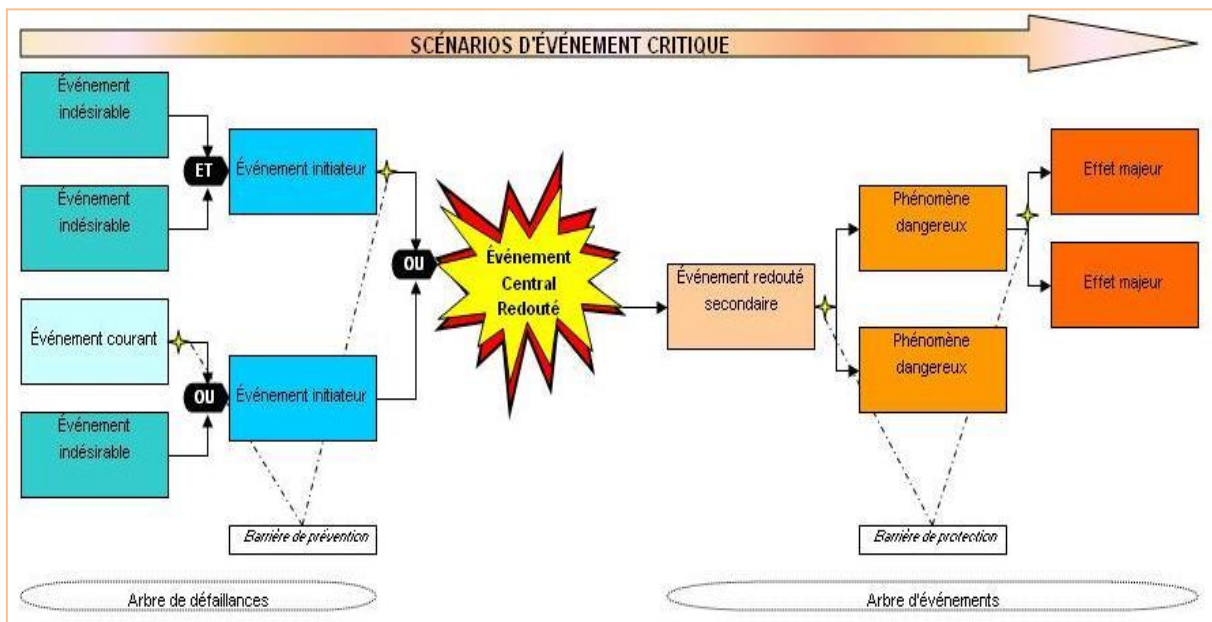


Figure I. 7: Exemple de schéma de nœud de papillon [6]

La quantification d'un nœud papillon, dont l'objectif est d'estimer les probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux, nécessite dans un premier temps d'évaluer celles de l'événement redouté. Puis, il s'agit d'affecter des probabilités de défaillance aux barrières

de mitigation/protection figurant dans l'arbre d'événements, afin d'en déduire les probabilités des phénomènes dangereux.[43]

Le schéma est la représentation graphique de l'analyse de risque menée où chaque chemin correspond à un scénario. Il a pour avantage d'être visuel et synthétique, ce qui le rend compréhensible par tous les niveaux de l'entreprise. De ce fait, le « nœud papillon » peut servir d'outil de communication. Sa lecture se fait chronologiquement, de gauche à droite, des causes, vers les effets.[42]

Avantage et limite

- La méthode du nœud papillon est utilisée pour la maîtrise des risques. Elle permet une visualisation concrète des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des éléments vulnérables identifiés.
- Elle est simple à comprendre et donne une représentation graphique claire d'un événement et de ses causes et conséquences.
- Son utilisation ne nécessite pas un niveau élevé d'expertise. [44]
- En revanche, cette méthode nécessite la mobilisation de ressources importantes et peut être particulièrement coûteuse en temps. De plus, la représentation schématique pour les systèmes complexes peut devenir encombrante et lourde à mettre en œuvre.[2]
- Cette méthode est cependant complexe et longue à mettre en œuvre et sera privilégiée pour les événements particulièrement critiques pour lesquels le niveau de risque est élevé et requiert une maîtrise des risques importants.[44]

I.11 Exemples des outils d'analyse des risques

I.11.1 Évaluation Quantitative des Risques (QRA)

L'évaluation quantitative des risques en anglais Quantitative Risk Assessment (QRA) est une méthode visant à évaluer la probabilité de dommages causés par un accident potentiel. La méthode a été développée à l'origine dans le domaine des transports et dans le nucléaire a été progressivement adaptée à l'industrie des procédés. La particularité des méthodes de QRA tient dans la façon d'exprimer et de représenter les résultats de l'analyse de risques. Il est à noter que (QRA) ne prend donc souvent en compte que les effets létaux sur les personnes. Ces résultats sont généralement représentés sous forme de courbe fréquence/gravité (ou courbe F/N) pour le risque sociétal ou de courbes iso-risque pour le risque individuel.[45]

Autrement dit QRA C'est une forme d'analyse détaillée qui essaye de traduire le mieux possible par le calcul, le risque pour un individu ou pour un groupe, en fonction de son exposition et de la gravité des conséquences. Les QRA sont des analyses de risques qui permettent de se prononcer sur l'acceptabilité du risque, en intégrant la contribution de tous les événements dangereux.[46]

Avantages de la méthode QRA

Elle permet d'identifier les :

- Les risques auxquels vous pouvez être confronté à chaque phase de la création de votre projet.
- Les pertes économiques.
- Les scénarios accidentels et leurs conséquences.
- Les dommages causés à la fonctionnalité de base du système.
- Les effets des incertitudes et des hypothèses.
- Stratégies de contrôle.
- Mesures à adopter pour réduire les niveaux de risque afin de réduire leurs effets négatifs et d'augmenter ainsi les résultats.
- Estimation de la probabilité d'atteindre les objectifs.
- Les mesures d'urgence qui doivent être communiquées pour atteindre le niveau de confort souhaité. [47]

Limites de la méthode QRA

QRA est basé sur un modèle mathématique dérivé de la logique binaire ,résultanten une seule estimation du risque .Cette valeur est basée sur le principe du « pire cas » et souvent très conservatrice. Cependant, les diverses hypothèses sur les taux de défaillance et la variabilité des paramètres physiques et les modèles mathématiques utilisés sont souvent intrinsèque, certains et subjectifs. Ainsi, dans une QRA, chaque étape qu'elle soit qualitative (identification des scénarios d'accidents potentiels) ou quantitative (estimation des probabilités et des conséquences) est une source potentielle d'incertitudes. Difficile à prendre en compte le facteur humain ou la qualité des opérations de production Elle est très consommatrice de temps, difficile à planifier dans un projet.[31]

I.11.2 CAMEO – ALOHA (Areal Location Of Hazardous Atmosphere)

Est un logiciel qui prédit les zones dangereuses à partir de rejets de produits chimiques dangereux sous forme de nuages de gaz toxiques, d'incendies et d'explosions . Le logiciel est ergonomique et gratuit, ce qui le rend particulièrement apprécié dans les opérations de secours il est composé de :

- Module CAMEO avec bases de données chimiques et toxicologiques .
- Le module ALOHA de modélisation des zones de transmission en situation d'urgence comprend une bibliothèque de 700 produits chimiques.
- Du programme MARPLOT, qui permet de superposer des zones dangereuses à l'aide de plans d'étages et de photographies aériennes .

L'objectif de cette application est de modéliser les zones affectées par les nuages pour faciliter la gestion des risques sanitaires dus au rejet de gaz toxiques dans l'atmosphère. Par exemple, les autorités peuvent évacuer les résidents vivant dans la zone pour limiter le

nombre de victimes. La modélisation de la zone de danger par ALOHA suit une démarche gaussienne pour les gaz neutres (gaz passifs ayant la même densité que l'air) et un modèle « gaz dense » pour les gaz plus lourds que l'air. Ces approches nécessitent une source d'émission ponctuelle avec un champ de vent uniforme, une turbulence homogène et un terrain homogène plat. Les avantages des modèles gaussiens : peu de données d'entrée sont nécessaires, l'obtention de la modélisation se fait rapidement et ils sont capables de modéliser une zone de danger à quelques centaines de mètres et à quelques dizaines de kilomètres. Cependant les principales limites de ces modèles gaussiens sont leur caractère approximatif et empirique.

Présentation des variables

Afin d'obtenir la meilleure modélisation possible de la zone de danger, le logiciel ALOHA nécessite certains paramètres d'entrée comme la localisation de l'accident, la substance chimique mise en cause, les caractéristiques de la zone et du gazoduc ainsi que les conditions de rejet et les conditions atmosphériques.

Les Entrées :

- Localisation du site : coordonnées GPS (longitude, latitude, altitude).
- Produit chimique étudié (base de données).
- Conditions atmosphériques : vitesse, direction du vent et hauteur à laquelle est faite la mesure, température de l'air, humidité relative de l'air, classe de stabilité, inversion de température, couverture nuageuse.
- Caractéristiques du rejet : rugosité du sol, état du rejet (produit enflammé ou non), pression et température en entrée de la canalisation.
- Caractéristiques du gazoduc : diamètre intérieur, longueur, type de surface intérieure.[48]

Résultats

Les résultats obtenus sont affichés sous forme de graphiques montrant le pourcentage d'écart par rapport au scénario de référence sur la longueur et la largeur de la zone, pour chaque paramètre testé.

Avantage et limite

ALOHA permet de modéliser des zones de danger suite à des émissions de substances chimiques issues de : Flaques en ébullition ou non ; Réservoirs sous pression de gaz ou de liquide, des réservoirs de liquides non pressurisés, de réservoirs contenant des gaz liquéfiés, des conduites de gaz sous pression.

Il existe cependant quelques limites à l'utilisation de cette application puisqu'elle ne prend pas en compte la dispersion des particules, l'élévation des gaz chauds ou légers,

les mélanges de substances . La présence de sous-produits issus du feu ou de réactions chimiques . Le rendu de la modélisation dans la troisième dimension. [49]

I.11.3 Logiciel DNV PHAST

PHAST (Safeti Process Hazard Analysis Software) est un logiciel qui a été développé et mis à jour par DNV pour évaluer les conséquences des fuites de gaz, des incendies, des explosions, de la toxicité et des autres dangers technologiques reliés à diverses industries. Le logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) est un outil d'analyse des risques d'une installation industrielle. PHAST simule l'évolution d'un rejet accidentel d'un produit toxique ou inflammable, depuis la fuite initiale jusqu'à la dispersion atmosphérique en champ lointain.

Modélisation par le logiciel PHAST

La modélisation des effets d'un phénomène accidentel comprend trois composantes : à savoir terme source , propagation dans l'environnement et l'effet sur les « cibles ».

La dispersion atmosphérique d'un produit rejeté accidentellement dépend essentiellement :

- Des caractéristiques de la source d'émission (énergie cinétique, direction du rejet, densité du produit rejeté, durée de la fuite, conditions de la fuite...).
- Des conditions météorologiques comme la vitesse du vent, la stabilité de l'atmosphère, la température ambiante.
- Des conditions de relief et de la présence d'obstacles.

Le logiciel, commercialisé par DNV Software, est largement utilisé dans l'industrie pour l'estimation des conséquences d'accidents. Il permet de modéliser les phénomènes suivants :

- Feu de chalumeau (jet fire).
- Feu de flaque (nappe).
- Feu nuage (feu flash).
- Boule de feu (BLEVE).

Modélisation des Effets Toxiques

PHAST aussi modélise les effets toxiques :

- Distance à la concentration toxique
- Distance à la Dose toxique

Résultats de modélisation par PHAST

Généralement les résultats sont présentés sous forme graphique et numérique. Certains résultats peuvent être présentés sur fond cartographique (zones d'effet).

Avantage de logiciel PHAST

- Déterminer le niveau de risque .
- Modélisation des conséquences des incidents .
- Améliore la compréhension des dangers potentiels par les ingénieurs.
- Il fournit des résultats fiables avec très bonne précision .
- Les mises à jour régulières du logiciel incorporent les expériences et l'expertise récentes dans l'industrie.
- Il permet d'obtenir une réponse rapide en cas d'incidents à risques .[50]

I.12 Conclusion

Il est crucial pour toute entreprise ou organisation de faire une stratégie de maîtrise des risques associés à leur activité technologique et de mettre en place des méthodologies efficaces de gestion des risques pour minimiser leur impact potentiel afin de protéger leur sites industriels, la santé de leurs salariés et l'environnement .Vue l'impact des nombreux risques qu'ils peuvent survenir.

Dans ce chapitre nous avons fait un tour sur les notions de base de sécurité, ainsi qu'un aperçu sur le processus de gestion des risques à l'échelle industrielle avec les différentes méthodes et outils disponibles pour analyser les risques.

Dans le chapitre suivant, nous présentons un apport théorique sur les différents phénomènes qui peuvent survenir dans une installation industrielle.

Chapitre II : phénomène dangereux

II.1 Introduction :

L'industrie du pétrole et du gaz compte parmi les plus lucratives dans les pays d'Afrique subsaharienne. Facteur important de croissance économique dans la région, elle a contribué à la réduction de la pauvreté, au transfert de technologie et à la compétitivité. Mais cette industrie est aussi considérée comme activité à risque majeur, dangereuse, et parfois connaît des problèmes sur la santé des salariés, les installations et l'environnement.

Malgré tous les efforts déployés pour éviter les accidents, des nombreux accidents se produisent dans le monde et causent des dégâts sur les plans, humains, matériels et environnemental. Ce chapitre est pour le but de présenter les phénomènes dangereux qui peuvent survenir dans les installations industrielles ces origines et ces conséquences et une revue sur le cadre législatif qui contrôle l'industrie pétrochimique et l'environnement.

II.2 Concepts et définitions:

Point d'éclair : température minimale à laquelle les conditions d'essai spécifiques, un liquide dégage suffisamment de gaz ou de vapeur combustible pour s'enflammer momentanément par l'application d'une source d'inflammation efficace.

Énergie d'allumage minimale : énergie minimale suffisante pour provoquer l'inflammation de l'atmosphère explosive la plus facilement inflammable dans des conditions d'essai spécifiées.

Le domaine d'explosivité : c'est le domaine de concentrations d'un combustible dans l'air compris entre la limite inférieure d'explosivité et la limite supérieure d'explosivité, à l'intérieur duquel son inflammation est possible.

La limite inférieure d'explosivité (LIE) : est la concentration minimale du combustible en volume dans le mélange au-dessus de laquelle la réaction de combustion se propage.

La limite supérieure d'explosivité (LSE) : est la concentration maximale du combustible en volume dans le mélange en dessous de laquelle la réaction de combustion se propage.

L'énergie d'activation ou d'inflammation: c'est l'énergie minimale à fournir pour initier la combustion en présence d'un comburant donné. Elle dépend en particulier du combustible et de son état physique.

La température d'auto inflammation: pour les liquides et les gaz, c'est la température minimale à laquelle un mélange, en proportion convenable, s'enflamme spontanément sans autre source d'inflammation que la chaleur ambiante. Pour les solides divisés, on parle de température minimale d'inflammation.[51]

Atmosphère explosive : mélange d'air, dans des conditions atmosphériques, avec des substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur, de poussières, de fibres ou de particules en suspension dans l'air dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé. [50]

Déflagration : la flamme produite par l'explosion se propage à une vitesse inférieure à la vitesse du son, de l'ordre de quelques mètres par seconde.

Détonation : la flamme produite par la combustion se propage à une vitesse supérieure à la vitesse du son, de l'ordre de plusieurs kilomètres par seconde.[52]

Limites de détonation : Pour qu'il y ait détonation, il faut que la composition du mélange gazeux soit comprise entre les limites de détonation. La zone de détonation se situe de part et d'autre de la concentration stœchiométrique du combustible dans le mélange gazeux, à l'intérieur de la zone d'inflammabilité.[53]

II.3 Phénomène dangereux

Les phénomènes dangereux se réfèrent à des événements, processus ou situations présentant un risque significatif pour la sécurité, la santé ou les biens des personnes. Ces phénomènes peuvent survenir naturellement ou être causés par des activités humaines.

Par définition sont une libération d'énergie ou de substance produisant des effets susceptibles d'infliger un dommage à des cibles (ou éléments vulnérables) vivantes ou matérielles, sans préjuger l'existence de ces dernières. [54]

Ces phénomènes dangereux peuvent avoir des conséquences graves, allant de pertes humaines et de blessures à des dommages matériels importants et des impacts environnementaux. Il est important de prendre des mesures préventives, d'adopter des mesures de préparation et d'intervention adéquates pour minimiser les risques et les impacts associés à ces phénomènes dangereux.[52]

Classement des effets des phénomènes dangereux :

- Effets thermiques, associés à la combustion ou à l'explosion d'un produit inflammable.
- Effets mécaniques associés à la surpression résultant d'une onde de choc provoquée par une explosion.
- Effets de projection qui sont des effets indirects dus à la formation et la mise en mouvement, par l'onde de choc d'une explosion, de débris et de fragments.
- Effets toxiques de l'inhalation d'une substance chimiques toxiques suite à une fuite d'installation.

II.4 Incendie :

II.4.1 Définition :

Un incendie est un feu violent non maîtrisé ni dans le temps ni dans l'espace. Le feu est une réaction de combustion basée sur la réaction de deux corps.

Cependant, cette réaction ne se produit que dans des conditions bien définies, notamment à des températures variables d'un corps à l'autre. Cette réaction est exothermique.

La combustion, ou incendie, ne se produit que lorsque trois éléments se rejoignent : le combustible, le comburant et la source d'énergie (chaleur, surpression). Ce principe de base est souvent représenté sous la forme du "triangle de feu".[55]

II.4.2 Les éléments de triangle de feu

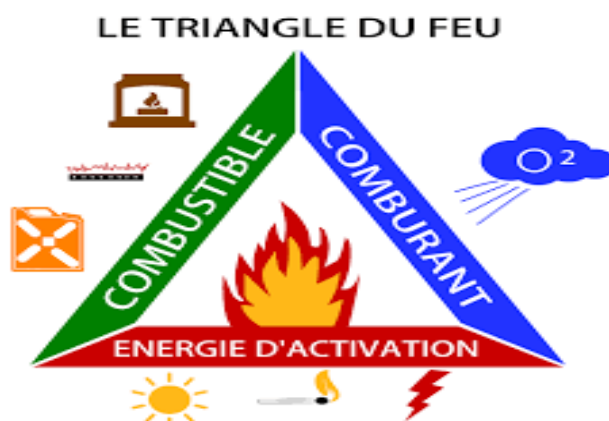


Figure II. 1: Triangle de feu [7]

II.4.2.1 Combustible

Tous les corps susceptibles de subir une réaction chimique d'oxydation complète ou partielle. De nombreux corps ont cette propriété mais tous ne brûlent pas si facilement et aussi vite les uns que les autres, cela tient à leur nature (exemple : le charbon ou le bois sont des combustibles solides, L'essence ou le bioéthanol sont des combustibles liquides), à leur état de division. [56]

II.4.2.2 Comburant

En réalité, il n'y a qu'un seul comburant c'est l'oxygène. Cependant, cet oxygène peut être à l'état pur, mélangé à d'autres gaz, ou résulter de la décomposition de certains produits chimiques.

Dans la plupart des cas, l'oxygène qui alimente la combustion se trouve dans l'air mélangé avec de l'azote et à d'autres gaz inertes. L'air contient 21 % d'oxygène et 78 % d'azote en volume, ce qui est une composition moyenne. La teneur en oxygène peut être inférieure dans certains cas. Il faut savoir que l'air ne peut être considéré comme comburant que s'il contient suffisamment d'oxygène. [57]

II.4.2.3 Source d'énergie (énergie d'activation) :

La simple présence de combustible et de comburant, comme l'évoque le triangle du feu, est insuffisante pour provoquer le phénomène de combustion. Alimentation appelée «L'énergie d'activation» est nécessaire pour "provoquer" ce phénomène, et elle est maintenue par la chaleur (beaucoup plus que l'énergie d'activation requise) libérée par cette réaction exothermique. [58]

II.5 Explosion :

II.5.1 Définition :

Réaction soudaine d'oxydation ou de décomposition produisant une augmentation de température, de pression, ou des deux simultanément. On distingue deux grandes familles d'explosion : physique (éclatement pneumatique, changement d'état physique de la matière) et chimique (combustion, réactions de décomposition de substance).[52]

Il ne peut y avoir explosion qu'après formation d'une atmosphère explosive (ATEX). Celle-ci résulte d'un mélange d'air et de substances combustibles dans des proportions permettant l'explosion en cas de présence d'une source d'inflammation d'énergie suffisante. Par analogie avec le triangle du feu, les conditions pour qu'une explosion d'ATEX ait lieu, peuvent être représentées par un hexagone.



Figure II. 2 : Hexagone d'explosion [8]

II.5.2 Conditions d'une explosion :

Une explosion peut survenir sous plusieurs conditions :

- Présence d'un combustible.
- État particulier du combustible, qui doit être sous forme de gaz, de brouillard ou de poussières en suspension dans l'air.
- Présence d'un comburant (en général l'oxygène de l'air).
- Présence d'une source d'inflammation.
- Obtention d'un domaine d'explosivité (domaine de concentrations du combustible dans l'air à l'intérieur duquel les explosions sont possibles).
- Confinement suffisant (en absence de confinement, on obtient un phénomène de combustion rapide avec des flammes importantes mais, généralement, sans effet de

pression notable). Le confinement n'est pas une condition indispensable mais représente un facteur aggravant du phénomène d'explosion et des risques associés.

II.5.3 Conséquences d'une explosion

La réaction de combustion à l'état explosif est très rapide. Elle provoque une augmentation brutale de la pression (provoquant un effet de souffle) accompagnée de flammes. Cette surpression brutale a des effets dévastateurs aussi bien sur les humains (rupture du tympan, lésions graves aux oreilles ou aux poumons, mort instantanée) que sur les bâtiments (bris de vitres, effondrement des murs, dégradation des structures et des installations...).

La zone de flamme peut envahir un volume dix fois supérieur à celui de l'atmosphère explosive initiale. Elle est à l'origine de brûlures pour les personnes et peut rapidement initier un départ d'incendie.[59]

II.6 Types de phénomènes dangereux :

Dans le domaine des hydrocarbures, deux types de phénomènes dangereux peuvent être distingués : Phénomènes instantanés, Phénomènes continus.

II.6.1 Phénomènes instantanés

C'est un phénomène qui se produit en un instant soudainement, susceptible de produire un effet thermique comme :

- BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)
- UVCE (Unconfined Vapor cloud Explosion)
- BOIL OVER

II.6.1.1 BLEVE :

II.6.1.1.1 Description de phénomène :

Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, ou *Vaporisation explosive d'un liquide porté à ébullition*. Peut-être défini comme la vaporisation violente à caractère explosives Suite à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température d'ébullition à la pression atmosphérique. Suite d'un dégagement de vapeur par un liquide en ébullition (vaporisation non contrôlée). Le gaz cherche à s'échapper rapidement du réservoir, mais n'y parvient pas, ce qui conduit au phénomène d'ébullition-explosion. Ce phénomène particulièrement dangereux dépasse ordinairement les effets d'une déflagration. L'augmentation brutale de la pression à l'intérieur du réservoir peut être causée soit par l'exposition du réservoir à une source de chaleur externe, comme un incendie (BLEVE à chaud), soit par une défaillance du réservoir (BLEVE à froid). [60]

II.6.1.1.2 Origine du BLEVE :

- L'exposition du réservoir à une source de chaleur.
- Une soupape de sécurité défectueuse empêchant le surplus de pression de sortir.
- Une fragilisation de la structure du réservoir : suite à l'apparition de corrosion ou bien d'une déformation causée par un choc. [61]

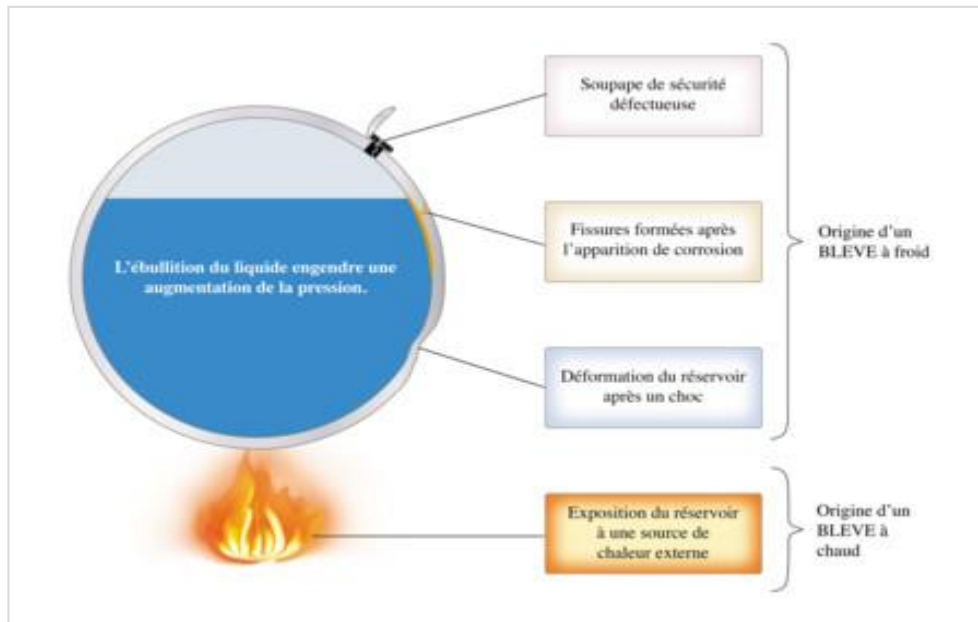


Figure II. 3: L'origine de formation d'un BLEVE [9]

II.6.1.1.3 Conséquences dévastatrices d'un BLEVE

- Une boule de feu : qui consume ou endommage ce qui se trouve à l'intérieur.
- Un rayonnement thermique sur le voisinage immédiat de la boule de feu. Ainsi les émittances de ce front de flamme peuvent atteindre des valeurs de plusieurs centaines de kW/m^2 .
- Une Onde de pression choc (détonation) : Le BLEVE est une explosion, il va donc générer une onde de choc (détonation), un important déplacement d'air qui va affecter l'environnement proche du réservoir.
- Projection de débris : Des débris sont propulsés majoritairement vers les extrémités du réservoir. Cette projection est donc imprévisible et peu parfois atteindre des proportions énormes, à plus d'un kilomètre de diamètre de la source.
- Propagation d'un nuage gazeux.

II.6.1.2 UVCE

II.6.1.2.1 Définition :

Unconfined Vapour Cloud Explosion, soit littéralement "explosion d'un nuage de vapeurs non confiné". Il s'agit d'un phénomène qui implique l'inflammation accidentelle d'un nuage ou panache de vapeurs combustibles mélangées avec l'oxygène de l'air dans un

environnement non confiné. Après allumage, le front de flamme se propage dans le nuage ou panache, produisant non seulement des effets thermiques mais aussi des ondes de surpressions, mais aussi des ondes de surpressions aériennes et éventuellement des effets mécaniques.[62]

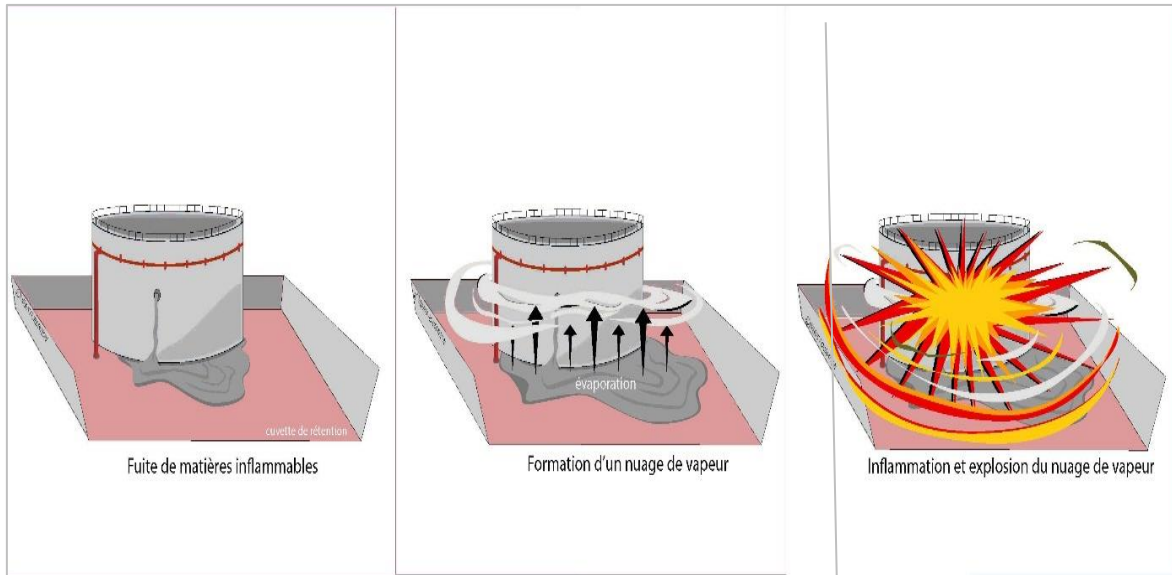


Figure II. 4: Phénomène UVCE [10]

II.6.1.2.2 Origine :

- Suite à une fuite de gaz combustible
- Évaporation d'une flaque de liquide inflammable.

II.6.1.2.3 Effets de l'UVCE :

- Une boule de feu qui consume ou endommage tout ce qui se trouve à l'intérieur.
- Rayonnement thermique à proximité immédiate de la boule de feu.[63]

II.6.1.3 BOIL OVER

II.6.1.3.1 Définition :

Un boil-over est un phénomène de moussage brutal impliquant des réservoirs atmosphériques et résultant de la transformation en vapeur, d'eau liquide (fond d'eau, eau

libre, émulsion) contenue dans un réservoir en feu. Ce phénomène est à l'origine de projection violentes de liquide enflammé et de la formation de boules de feu.[64]

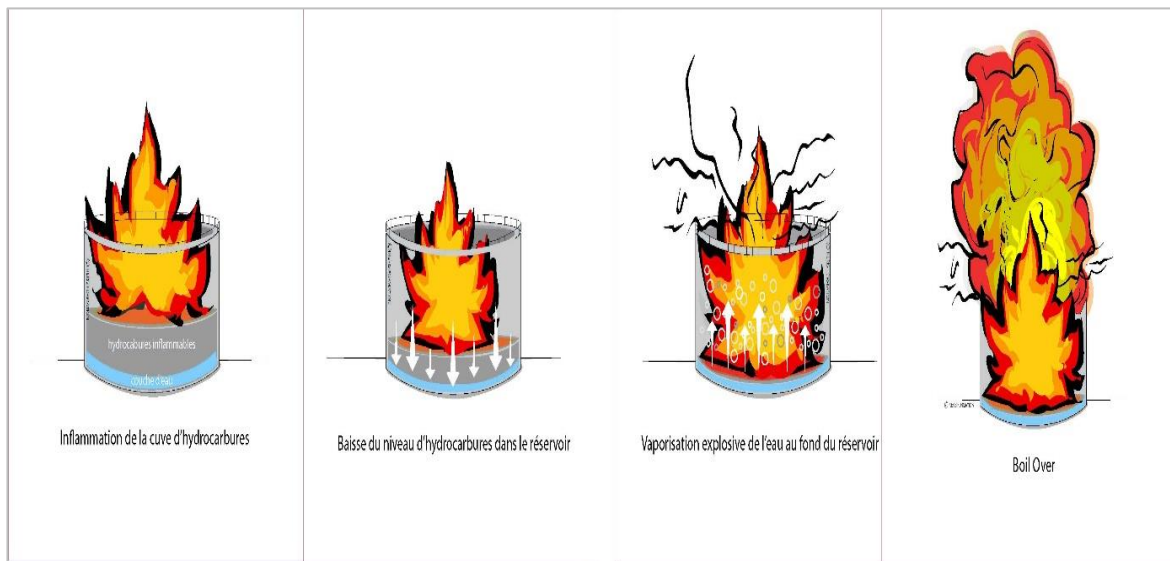


Figure II. 5: Phénomène de BOI OVER [11]

II.6.1.3.2 Origine :

- La présence d'eau transformée en vapeur.
- La création d'une onde de chaleur (ou, en d'autres termes d'une zone chaude) qui entre en contact avec le fond d'eau situé sous la masse de l'hydrocarbure.
- Un hydrocarbure suffisamment visqueux pour que la vapeur créée par le contact de la zone chaude et du fond d'eau ne puisse pas traverser l'hydrocarbure facilement depuis le bas du réservoir.
- Incendie prolongé en partie supérieure.[64]

II.6.1.3.3 Effets du boil-over

- Une explosion .
- Une éjection de liquide en émulsion et en feu.
- Une boule de feu avec ses retombées (effets thermiques).[63]

II.6.2 Phénomènes continus

Contrairement aux phénomènes instantanés, certains phénomènes continus sont caractérisés par des durées allant de quelques minutes à quelques heures. On peut citer notamment :

- Feu de torche.
- Feu de nappe.

II.6.2.1 Feu de torche

II.6.2.1.1 Définition

Dans les milieux industriels, les feux de torche ou bien Le jet Fire sont également appelés feu chalumeau survenir suite à des fuites accidentelles de fluides inflammables ou à des évacuations intentionnelles de sous-produits par l'intermédiaire de torchères. [65]



Figure II. 6: Feu torche [12]

II.6.2.1.2 Origine de feu de torche :

Les phénomènes de feu de torche sont provoqués par des rejets des fluides combustibles, en général à l'état gazeux ou diphasique qui s'enflamme:

- Spontanément, la température est suffisamment élevée.
- En raison de la présence de point chaud ou bien d'une étincelle.
- Par effet électrostatique.

II.6.2.1.3 Effets de feu de torche :

Parmi les conséquences les plus graves associées aux feux de torche qui se sont produits accidentellement : les pertes humaines (travailleurs, chauffeurs , équipements, etc.) et matériels (effet domino) entraînent généralement des pannes du système de production sur une période plus ou moins importante.[64]

II.6.2.2 Feu de nappe

II.6.2.2.1 Définition

Le terme « Feu de nappe », ou « Pool-Fire », décrit une flamme au-dessus d'une nappe de liquide inflammable qui atteint une température supérieure à son point d'éclair et provenant d'un point chaud (étincelles, flammes...).

Concomitamment à la présence d'air atmosphérique, un feu de nappe se produit lorsqu'une nappe de liquide inflammable et une source d'inflammation sont combinées.

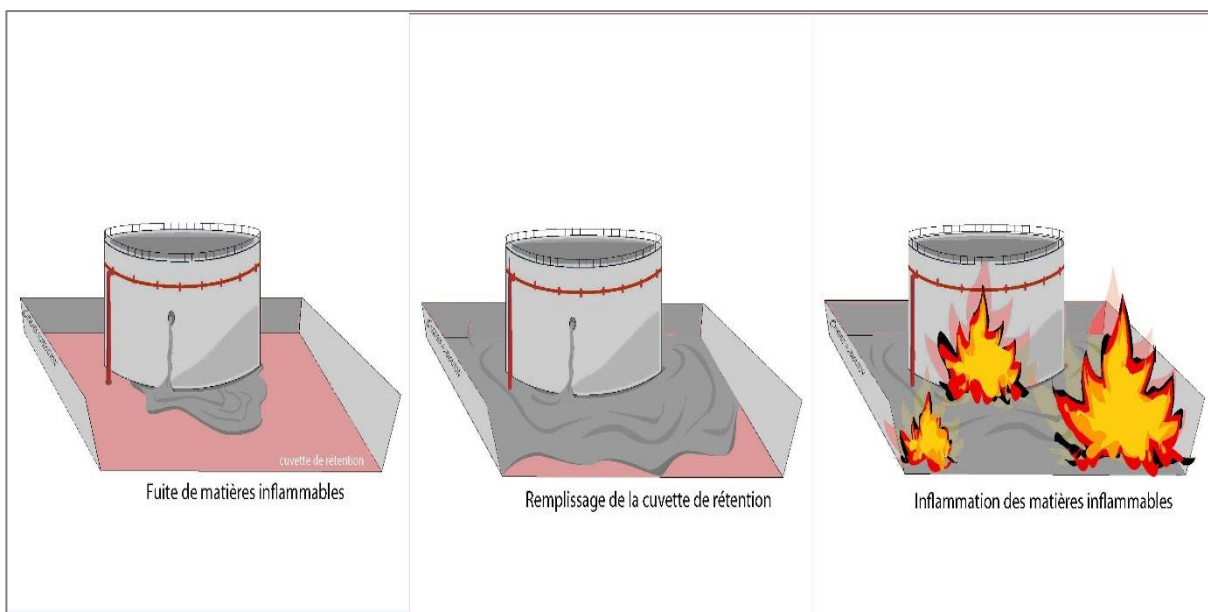


Figure II. 7: Feu de nappe [10]

II.6.2.2.2 Origines du feu de nappe

La nappe de liquide inflammable est souvent le résultat d'une fuite plus ou moins importante. Notez que le point chaud, s'il est maintenu assez longtemps, peut initier l'incendie d'un liquide dont la température est inférieure au point éclair : le point chaud en lui-même peut amener localement le liquide à une température supérieure à son point éclair, provoquant un incendie qui peut se propager à travers toute la nappe.[66]

II.6.2.2.3 Effets du feu de nappe

L'impact d'un feu de nappe dépend de la taille de la surface en feu, du produit qui se consume et de la durée de l'incendie. Le feu de nappe est un accident relativement courant, mais s'ils sont correctement gérés, l'impact sur les hommes est faible. Les principales conséquences maintes fois observées sont la contamination des eaux de surface et celle des sols et même des eaux souterraines.[48]

II.7 Effet domino

L'effet domino est un concept qui décrit la propagation en cascade d'événements ou de conséquences résultant d'un incident initial. L'idée sous-jacente est que lorsque quelque chose se produit et affecte un élément ou un système, cela peut déclencher une série d'événements interconnectés qui se succèdent les uns aux autres, amplifiant ainsi l'impact global.

Dans le contexte des phénomènes dangereux, l'effet domino peut se manifester de différentes manières :

- **Chaîne d'accidents** : Un accident initial peut entraîner une série d'autres accidents ou incidents. Par exemple, une défaillance dans une installation industrielle peut provoquer une explosion, qui à son tour peut endommager les équipements avoisinant, entraînant d'autres incidents et augmente ainsi les dommages matériels et les risques pour la sécurité.
- **Propagation des effets** : Les phénomènes dangereux peuvent se propager géographiquement ou se propager à d'autres systèmes. Par exemple, un incendie dans une usine peut se propager à des bâtiments adjacents, à des réservoirs de stockage de liquides inflammables ou à des zones environnantes, entraînant ainsi une extension des dommages et des risques.
- **Conséquences en cascade** : Un incident initial peut déclencher une série de conséquences en cascade, affectant différents domaines ou secteurs. Par exemple, une catastrophe naturelle telle qu'un ouragan peut causer des inondations, des coupures d'électricité, des pénuries de nourriture, des dommages aux infrastructures critiques et des problèmes de santé publique, créant ainsi une série de problèmes interdépendants.

Il est important de comprendre et de prendre en compte l'effet domino lors de la planification de la prévention des phénomènes dangereux, de la gestion des situations d'urgence et de la réduction des risques. En identifiant les chaînes potentielles d'événements et en renforçant la résilience des systèmes, il est possible de réduire l'impact global des phénomènes dangereux et d'améliorer la capacité de réponse et de récupération. [67]

II.8 Réglementations Algérienne relatifs aux hydrocarbures et la protection de l'environnement : [68]

Tableau II. 5: Décrets exécutifs et présidentiel relatifs à la protection de l'environnement et l'hydrocarbure [5]

N°	LA DATE	TITRE ET QUELQUES ARTICLES
<i>Textes relatifs à la protection de l'environnement</i>		
Décret exécutif n° 06-198	31 mai 2006	définissant la réglementation applicable aux Etablissements classées pour la protection de l'environnement.
loi algérienne n° 03-10 du	19 juillet 2003	relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

Décret exécutif n° 07-144	19 mai 2007	fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
décret exécutif n° 08-312	14 août 2021	fixant les conditions d'approbation des études d'impact sur l'environnement .
Textes relatifs aux hydrocarbures		
Décret n°88-35	16 Février 1988	Fixant La nature des canalisations et ouvrages annexes relatifs à la production et au transport d'hydrocarbures ainsi que les procédures applicables à leur réalisation.
Décret n° 87-157	21 juillet 1987	Relatif à la classification des zones de recherche et d'exploitation des hydrocarbures.
Décret n° 87-158	21 juillet 1987	Relatif aux modalités d'identification et de contrôle des sociétés étrangères candidates à l'association pour la prospection, la recherche et l'exploitation des hydrocarbures liquides.
Décret n° 87-159	21 juillet 1987	Relatif à l'intervention des sociétés étrangères dans les activités de prospection, de recherche et d'exploitation d'hydrocarbures liquides.
Décret n° 88-34	16 février 1988	Relatif aux conditions d'octroi de renonciation et de retrait des titres miniers pour la prospection, la recherche et l'exploitation des hydrocarbures.
Décret présidentiel n° 90-185	23 juin 1990	Portant ratification du protocole d'accord relatif à la création d'une société Algéro-Marocaine d'étude du Gazoduc Maghreb-Europe entre le Gouvernement de la République algérienne démocratique et populaire et le Gouvernement du Royaume du Maroc, signé à Fès le 8 février 1989.
Arrêté interministériel	6 octobre 1992	Portant tarification du transport par canalisation des hydrocarbures.

Décret exécutif n° 94-43	30 janvier 1994	Fixant les règles de conservation des gisements d'hydrocarbure et de protection des aquifères associés.
Décret exécutif n° 05-476	20 décembre 2005	Déclarant Hassi-RMel zone à risques majeurs.
Loi n° 05-07	28 Avril 2005	Relative aux hydrocarbures.
Décret présidentiel n° 06-102	28 février 2006	Portant Ratification de l'accord de coopération dans le domaine de l'Energie et des Mines entre le Gouvernement de la République Algérienne Démocratique et Populaire et le Gouvernement de la République du Pérou, signé à Lima le 18 Mai 2005.
Ordonnance n° 06-10	29 Juillet 2006	Modifiant et complétant la loi n° 05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005 relative aux hydrocarbures.
Décret exécutif n° 06-440.	02 Décembre 2006	Fixant la procédure, les conditions d'application et la méthodologie de calcul de la taxe sur les profits exceptionnels (TPE).
Décret exécutif n°08-312	5 mai 2007	Fixant les conditions d'approbation des études d'impact sur l'environnement pour les activités relevant de domaine des hydrocarbures.
Décret exécutif n° 08-312	5 octobre 2008	Fixant les conditions d'approbation des études d'impact sur l'environnement pour les activités relevant du domaine des hydrocarbures.
Décret exécutif n° 08-333	26 Octobre 2008	Fixant la tarification de transport par canalisation des hydrocarbures.

Loi n° 13-01	20 Février 2013	Modifiant et complétant la loi n° 05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005 relative aux hydrocarbures.
Loi n° 14-10	30 Décembre 2014	Portant loi de finances pour 2015.
Décret exécutif n° 15-57	08 Février 2015	Fixant les conditions et les modalités d'exercice des activités de stockage et/ou de distribution des produits pétroliers.
Décret exécutif n° 15-09	14 janvier 2015	Fixant les modalités d'approbation des Etudes de dangers spécifiques au secteur des hydrocarbures et leur contenu.
Arrêté du 12 Chaâbane 1436	30 mai 2015	Déterminant les canalisations d'hydrocarbures gazeux relevant du secteur des hydrocarbures et les installations faisant partie du réseau de transport du gaz desservant exclusivement le marché national.
Décret exécutif n° 15-76	3 Joumada El Oula 1436 correspondant au 22 février 2015	Fixant les procédures de contrôle et de suivi de la construction et des opérations, applicables aux activités de transport par canalisation des hydrocarbures.
Ordonnance n° 15-01	23 Juillet 2015	Portant loi de finances complémentaire pour 2015.
Décret exécutif n° 15-205	du 27 Juillet 2015	Fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n°302-143 intitulé "Fonds de gestion des opérations d'investissements publics inscrites au titre du programme d'appui à la croissance économique 2015-2019" .
Décret exécutif n° 15-319	13 Décembre 2015	Fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-131 intitulé "Fonds national pour la maîtrise de l'énergie et

		pour les énergies renouvelables et de la cogénération".
Loi n° 15-18	30 Décembre 2015	Portant loi de finances pour 2016.
Décret exécutif n° 16-123	06 Avril 2016	Décret exécutif n° 16-123 du 06 Avril 2016 Portant déclaration d'utilité publique l'opération relative à la réalisation des postes de sectionnement de la canalisation multi-produits et ses ouvrages annexes, pour le transport de produits pétroliers, reliant la raffinerie de Skikda aux dépôts de carburants d'El Khroub (wilaya de Constantine) et El Eulma (wilaya de Sétif).
Décret exécutif n° 16-121	06 Avril 2016	Modifiant et complétant le décret exécutif n°15-319 du Aouel Rabie El Aouel 1437 correspondant au 13 décembre 2015 fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-131 intitulé "Fonds national pour la maîtrise de l'énergie et pour les énergies renouvelables et de la cogénération".
Loi n° 16-14	28 Décembre 2016	Modifié la Loi n° 15-18 Portant loi de finances pour 2017.
Loi n° 17-11	27 Décembre 2017	Portant loi de finances pour 2018.
Loi n° 19-13	11 décembre 2019	régissant les activités d'hydrocarbures.
Arrêté du 10 septembre 2020	10 septembre 2020	déterminant les canalisations hydrocarbures gazeux relevant du secteur des hydrocarbures et les canalisations qui font partie du réseau de transport du gaz de transport du gaz desservant exclusivement le marché national.

II.9 Réglementations Algérienne relatives à l'environnement

II.9.1 Politiques environnementales en Algérie

Depuis plus de 40 ans, la prise en charge des questions environnementales a été assez timidement insérée dans les instruments législatifs relatifs à la protection de l'environnement.

Depuis l'an 2001, une politique environnementale a été suivie en Algérie, qui s'appuie sur le développement durable dont les préoccupations principales sont axées sur :

- La qualité de l'air.
- La qualité des ressources eau.
- La gestion des déchets.
- La protection de la nature.
- La pollution côtière et marine.
- La désertification.

De ce fait, l'Algérie a développé une stratégie nationale et un plan d'action pour l'environnement et le développement durable. Plusieurs programmes spécifiques de secteurs ont été adoptés, le cadre juridique pour la protection de l'environnement a été amélioré durant les dernières années, mais les ressources rares et les changements institutionnels fréquents posent un défi pour l'exécution et l'application de la législation sur l'environnement.

Aussi en Algérie, c'est pratiquement récemment qu'est né l'intérêt pour la protection de l'environnement et l'application des lois et réglementations au niveau de l'état d'abord et à un degré moindre dans les entreprises. Les quelques actions entreprises peuvent constituer un début, la question reste de savoir si c'est le bon début qui mènera vers une pratique efficace de l'IEP.

Notons toutefois, que la plupart des installations de l'industrie algérienne sont des installations anciennes qui n'ont pas été conçues pour intégrer les préoccupations environnementales, car la maîtrise des impacts environnementaux exige l'installation de systèmes de dépollution en amont et /ou en aval de la production. Sans ses systèmes de dépollution, l'adoption de l'approche proactive serait quasi-nulle.

Avec l'expansion du secteur de l'énergie et la mise à la disposition de la population et de l'industrie de produits énergétiques à grande échelle, est ressenti le besoin d'empêcher la dégradation de l'environnement et du cadre de vie en général.

En effet, le secteur de l'énergie accorde une grande importance aux questions liées à la préservation de l'environnement et de la santé publique. L'intégration de ces préoccupations

dans la politique sectorielle puise ses fondements dans le volet "politique de l'énergie" du programme du gouvernement.

Cela s'est traduit par la mise en œuvre de mesures qui s'articulent principalement autour de la dépollution et la réhabilitation des sites pollués et le développement du management environnemental au niveau du secteur de l'énergie à travers ces entreprises.

Les réformes sectorielles en cours de mise en œuvre consacrent une large place à l'environnement ; des dispositions spécifiques sont ainsi introduites par les nouvelles lois sur l'électricité et les hydrocarbures. L'élaboration d'études d'impacts sur l'environnement, la mise en place de plans de gestion de l'environnement et la conduite d'audits sur les complexes en matière d'environnement sont rendues obligatoires par le secteur et sous sa responsabilité.

L'intégration de la préservation de l'environnement et du développement durable au niveau de l'élaboration de la politique, de la planification et de la gestion, s'impose pour le secteur, en égard à la nécessité de préservation des milieux naturels, de la santé publique et aux engagements du pays, par rapport aux instruments juridiques internationaux et aux différents accords et conventions engageant notre pays.

De ce fait, un intérêt particulier est accordé à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques et au processus de mise en vigueur du Protocole de Kyoto.

Le département ministériel à travers la sous-direction de la Protection de l'environnement assure régulièrement l'inventaire sur la génération des déchets au niveau des sites énergétiques et l'inventaire des substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) en conformité avec le Protocole de Montréal.

La sous-direction de la protection de l'Environnement participe également à la formulation et le développement de la stratégie nationale de la gestion des déchets à l'horizon 2035 et le plan d'action national pour la biodiversité 2016-2030. [68]

II.10 International

II.10.1 Protocole de Kyoto :

Le protocole de Kyoto est un traité international ayant pour objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Acté en 1997, il est le prolongement de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) adoptée en 1992 au sommet de la Terre à Rio de Janeiro (Brésil). L'objectif initial du protocole de Kyoto était de parvenir durant la période d'engagement 2008-2012 à la réduction des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique d'au moins 5% (dans les pays engagés) par rapport aux niveaux de 1990. Une seconde période d'engagement a été fixée lors du sommet de Doha en décembre 2012. Elle s'étend du 1^{er} janvier 2013 au 31 décembre 2020.

Le protocole a été signé le 11 décembre 1997 lors de la troisième conférence annuelle des parties « COP3 » à Kyoto au Japon. Pour entrer en vigueur, il devait être ratifié par 55 pays

développés générant en consolidé au moins 55% des émissions mondiales de gaz à effet de serre en 1990. Il est entré en vigueur le 16 février 2005.

A ce jour, 196 « Parties » (195 États et l'Union européenne) ont déposé leurs instruments de ratification, d'accession, d'approbation ou d'acceptation, à l'exception notable des États-Unis. En effet, le protocole a été signé sous la présidence Clinton mais n'a pas été ratifié par le Sénat américain. [69]

II.11 Conclusion

Les phénomènes dangereux dans une installation hydrocarbure peuvent présenter des risques significatifs pour la sécurité des personnes, l'environnement et les installations elles-mêmes. Il est crucial de prendre des mesures de prévention et de gestion des risques adéquates pour assurer la sécurité dans ces installations. De plus, les installations hydrocarbures doivent être conformes aux réglementations et normes de sécurité en vigueur pour minimiser les risques potentiels. La gestion efficace des phénomènes dangereux dans une installation hydrocarbure repose sur la prévention, la préparation, la réponse rapide et la coopération entre toutes les parties prenantes concernées pour garantir un environnement de travail sûr et protégé .

Chapitre III : présentation de RGTE

III.1 Introduction

SONATRACH est une entreprise pétrolière et gazière algérienne. C'est un acteur majeur de l'industrie pétrolière surnommé la major africaine. SONATRACH est classée la première entreprise d'Afrique.

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons à la présentation de SONATRACH en générale et la division production région In Amenas en particulier.

III.2 Présentation de la SONATRACH

SONATRACH : est la Compagnie de recherche, d'exploitation, de transport par canalisation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. « SONATRACH » est l'une des plus grandes sociétés énergétiques dans le monde. Elle a été créée le 31 décembre 1963.

Elle intervient également dans les secteurs :

- Génération électrique.
- Energies nouvelles et renouvelables.
- Dessalement d'eau de mer.
- Recherche et exploitation minières.
- Le Groupe Sonatrach emploie 120 000 personnes.

Elle est :

- 1ère Compagnie Africaine.
- 12ème Compagnie pétrolière Mondiale.
- 13ème Compagnie Mondiale concernant les hydrocarbures liquides (réserves et production).
- 6ème Compagnie Mondiale en matière de Gaz Naturel (réserves et production).
- 25ème Compagnie pétrolière sur le plan des effectifs.
- 5ème exportateur mondial de Gaz Naturel.
- 4ème exportateur mondial de GNL.
- 3ème exportateur mondial de GPL.

III.3 Présentations de la région In Amenas :

III.3.1 Historique :

Elle a été édifée dans les années 60 suite à la découverte historique de gisements d'hydrocarbures en 1956 dans son secteur EST. Première découverte pétrolière dans le sud Algérien le 28 Février 1956 avec le forage du puits Edjeleh 101(DL101).

Données principales de DL101 :

- Date de mise en production : Juin 1960.
- Débit d'huile à l'origine : 12 m³ /Heure. 3
- Pression initiale du Gisement : 37 bars.
- Densité d'huile = 0,85.
- Réservoir : Carbonifère.
- Profondeur : 520 m.

III.3.2 Situation géographique

La Direction Régionale In Amenas se situe dans le chef-lieu de Daïra (In Amenas) dans la partie centrale du bassin d'Illizi à 1600 km au sud-sud-est d'Alger, à 820 km au sud-est d'Ouargla à 200 km au nord-est d'Illizi (Chef-lieu de Wilaya) dont elle relève administrativement.

L'altitude moyenne est plus ou moins 560 m par rapport au niveau de la mer et couvre une superficie de l'ordre de 30 000 km².



Figure III. 1 : position géographique In-Amenas [13]

Base de vie INAS



Figure III. 2: Base de vie INAS [13]

Base industriel



Figure III. 3: base industriel [13]

III.3.3 Organigramme de INAS

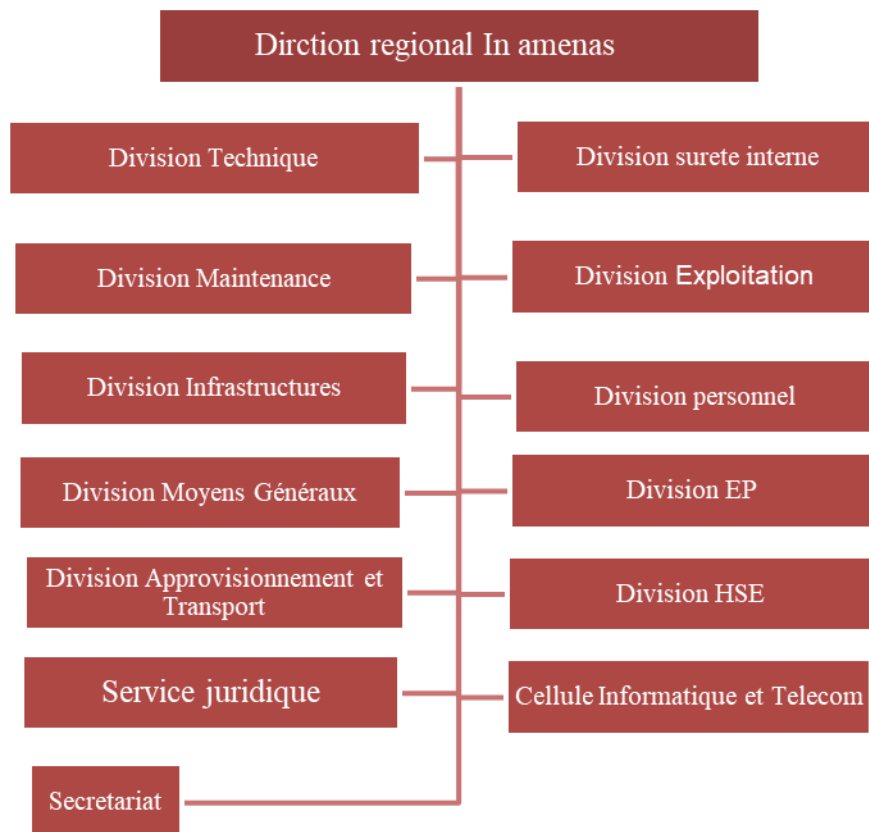


Figure III. 4: organigramme de INAS [13]

III.3.4 Les champs pétrolifères IN-AMENAS

Cette région pétrolière est constituée de trois secteurs, qui sont :

- Le secteur sud (ZARZITINE) à 30 km D'IN AMENAS.

- Le secteur Est (EDJELLEH) à 60 km D'IN AMENAS.
- Le secteur ouest (TIGUENTOURINE, ALADEB LARACH, ASSIKIEFAP).

Ces trois secteurs sont des champs de production de pétrole et de gaz appartenant à la SONATRACH direction régional IN AMENAS (voir fig.III.5).

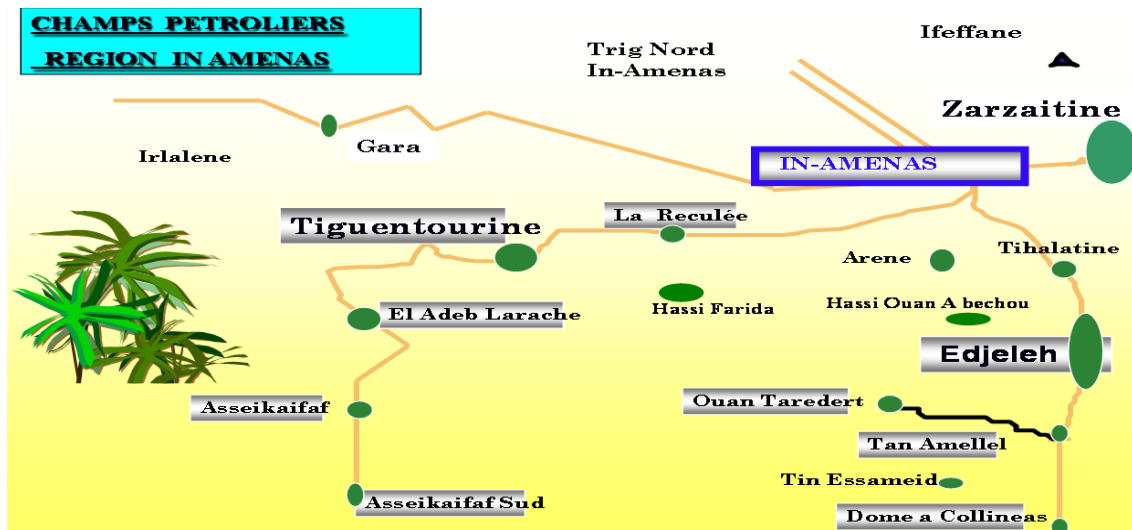


Figure III. 5: Champ pétroliers INAS [13]

III.3.4.1 Secteur EST

1/ Edjeleh (DL)

Le champ d'Edjeleh est réparti en plusieurs unités :

- 10 centres de séparation.
- Unité de récupération des gaz torchés RGTE.
- La section de la soufflante, qui a pour rôle la compression des gaz arrivants des centres de séparation éloignés afin qu'ils puissent atteindre l'unité RGTE.
- Unité de maintien de pression MPDL, qui fournit l'eau nécessaire aux 40 puits injecteurs d'eau à une pression bien précise .

2/ Zarzaitine (ZR)

Le champ de Zarzaitine comporte :

- Un centre de traitement gaz.
- Un centre de stockage et de pompage.
- Un centre de séparation huile qui traite l'effluent brut des venants des puits producteurs.

3/ Ouan Tardert (TRT)

Le périmètre de TRT dispose d'un :

- Centre de séparation, de stockage et de pompage qui reçoit la production des 5 puits dont quatre (4) sont en service et un (1) à l'arrêt.

III.3.4.2 Secteur OUEST

1/ Tigentourine(TG)

- Quatre (04) centres de séparations : CS1, CS2, CS3 et CS4
- Un centre de stockage (TG stockage).



Figure III. 6: centre de stockage TG [13]

2/ La Reculée(RCL) :

Est un champ producteur d'huile qui se situe à une cinquantaine de km au sud-ouest d'In Amenas, Il comprend :

- Un (01) centre de séparation

3/ Gara

Le champ de Gara se situe à environ 50 Km du champ de Tigentourine. Il se divise en :

- Gara Nord
- Gara Sud

4/ AssiKaifaf (ASK)

Le champ d'Assikaifaf dispose d'une unité de déshydrations de gaz conçue pour le traitement de gaz venant de deux puits à gaz. Le gaz traité est envoyé par la suite vers la

centrale électrique de la ville d'Illizi.

Il comporte :

- Une (01) unité de déshydratation de gaz (UDA).
- Un (01) centre de séparation d'huile.

5/ Al Abed Larache (EAL)

Ce champ se constitue de :

- Deux centres (02) de séparation (Cs1, Cs2).
- Un (01) centre de stockage (EAL Stockage).

III.4 Présentation De L'unité « RGTE »

Elle est réalisée en 2005 et Située dans le secteur EST de la région d'INAS, elle a deux objectifs cibles : la production et préservation de l'environnement. L'unité RGTE (Récupération des Gaz Torchés EDJELEH) a pour but : la récupération, la compression, la déshydratation et la réinjection des gaz habituellement torchés (brulés dans des torches).

Ces gaz résultent des (10) centres de séparation d'huile produite par les puits du champ EDJELEH dont le procédé a pour but de purifier le pétrole brute grâce à une séparation qui s'opère à l'intérieur de ces derniers. Le fait de bruler ces gaz représente un grand problème d'environnement, alors ces derniers sont récupérer puis réinjecter sous terre à très haute pression (65bar) afin de drainer l'huile des gisements et augmenter la pression des puits, donc optimiser la production. L'appellation donnée au gaz réinjecté est : GAZ-LIFT (G-L).

L'unité se divise en deux sections : la section soufflante et la section compression, la première a pour rôle de refouler le gaz issu des centres de séparation CS 7,8 ,9 et 10 vers l'unité de compression, cette dernière reçoit aussi le gaz provenant des centres de séparation CS 1,2,3,4,5 et 6 puis comprime et réinjecte ce gaz. La capacité totale de traitement est de: 1.372×10^6 STD m³ / j.

Ainsi, cette installation n'a pas qu'arranger un problème de pollution d'air et risque dérivants de ce phénomène mais permet aussi de faire encor plus de profits grâce à la réinjection du gaz. Cette méthode n'est pas récente car la conception ingénieuse des puits forés à cette époque intégrés déjà ce principe et n'attendait qu'à être exploité.

Trois divisions sont primordiales pour le fonctionnement de toute unité : la division HSE, la division EXPLOITATION et la division MAINTENANCE, celles-ci collaborent

étroitement afin de garantir un fonctionnement optimal dans les meilleures conditions pour un maximum d'efficacité et un rendement élevé.

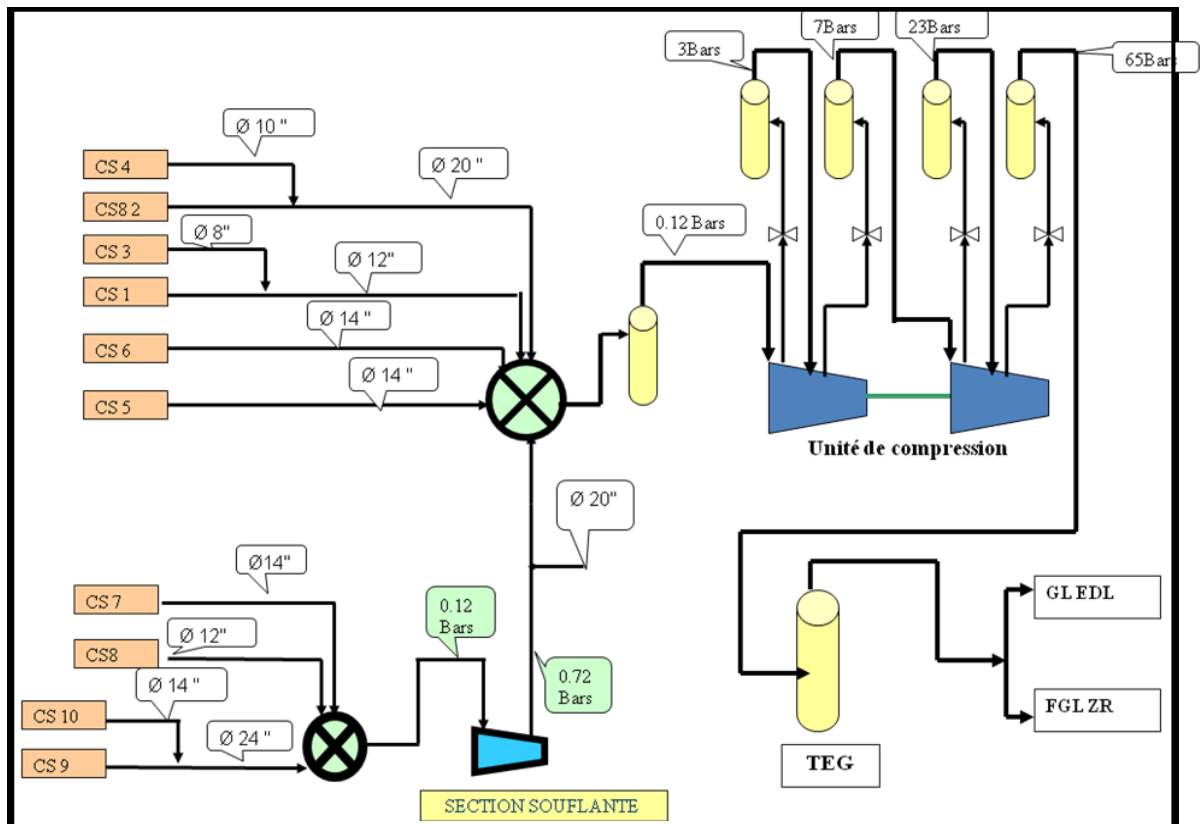


Figure III. 7: Vu général de procédé de l'unité [13]



Figure III. 8: Vu général de site [13]

III.5 Procédé de l'unité RGTE :

Le GAZ-RICHE provenant des centres de séparations est acheminé à l'RGTE via des Gazoduc qui convergent tous vers un seul principal à l'entrée du processus nommé : manifold. Ce gaz contient toujours une quantité importante d'eau et parfois même du pétrole

brut alors il passe par un grand séparateur pour enlever les traces de brut puis dans le compresseur centrifuge à 4 étages entraîné par la Turbine SIEMENS SGT-600 afin d'être comprimé à 65 bar, en suite il passera par un refroidisseur afin d'en récupérer le condensat.

Le gaz comprimé et refroidi passera ensuite vers l'unité de Déshydratation et subira un traitement physico-chimique afin d'éliminer toute trace d'eau en utilisant le Tri-Ethylène Glycol (TEG) comme absorbeur qui jouera le rôle d'une éponge grâce à son affinité avec les molécules d'eau (il en faut: 3,4m³ /h pour 40.000 m³ /h de gaz), ainsi le TEG entre en contact avec le GAZ dans une colonne sous des conditions précises, alors il aspire l'eau qu'il contient et devient du TEG riche en eau qui sera évacué vers un four chauffé à environ 203° C.

Maintenant on a en sortie un GAZ SEC sous une pression de 65 bar, il est appelé : GAZ-LIFT, et prêt pour être réinjecté dans les puits pour drainer l'huile des gisements et augmenter la pression des puits producteurs.

Les vannes TOR (tout ou rien) d'entrée et sortie automatiques sont commandées par l'ESD (emergency shut down) en communication avec le DCS (digital system control). Le GAZ-LIFT est réinjecté en passant par la vanne de sortie, et en cas d'alerte incendie, une fuite de gaz ou tous autres problèmes techniques qui peuvent survenir brusquement, l'ESD ferme la vanne ainsi que celle de l'entrée et redirige le gaz vers la torche.

torche est allumée par un système électrique comme un briquet (commande à distance).

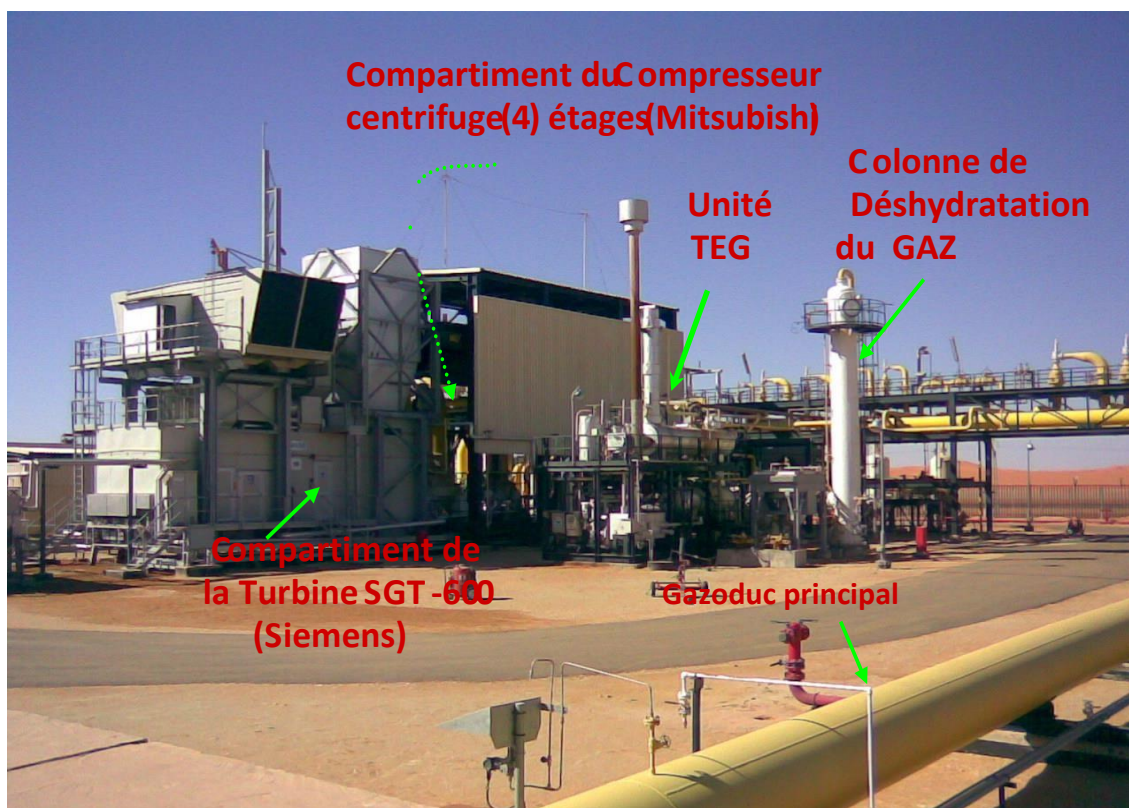


Figure III. 9: Les différents procédés de l'unité [13]

III.5.1 Centres de séparation

L'huile provenant des puits producteurs est composée de trois (3) effluents qui sont :

Le gaz, l'eau et le pétrole, elle passe ensuite par les dix(10) centres de séparation EDJELEH: CS 1,2,3,4,5 et 6 et ceux de la section soufflante CS 7 à 10, alors sous l'effet de la gravité terrestre, ces substances se séparent grâce à leurs différentes densités et à la structure interne des séparateurs, et se positionnent en trois (3) niveaux de telle façon qu'on aura de bas en haut: l'eau, le pétrole brute et le gaz.

Un piquage minutieux est fait suivant ce positionnement afin de récupérer les substances qui se sont séparées, le pétrole brut et l'eau seront stockés dans des bacs localement pour y subir une décantation. Après cette étape le pétrole sera expédié dans des centres de stockages puis vers des raffineries et l'eau sera déversée dans un bourbier. Le gaz venant des centres de séparation sera expédié vers l'unité RGTE où il subira le traitement nécessaire pour la réinjection (activation des puits), mais parfois on le brûle dans les torches en cas de surpression non gérée ou quand l'unité est en arrêt pour l'entretien périodique.

La tuyauterie est caractérisée par 3 couleurs : VERT pour le pétrole, JAUNE pour le gaz et BLEU pour l'eau.

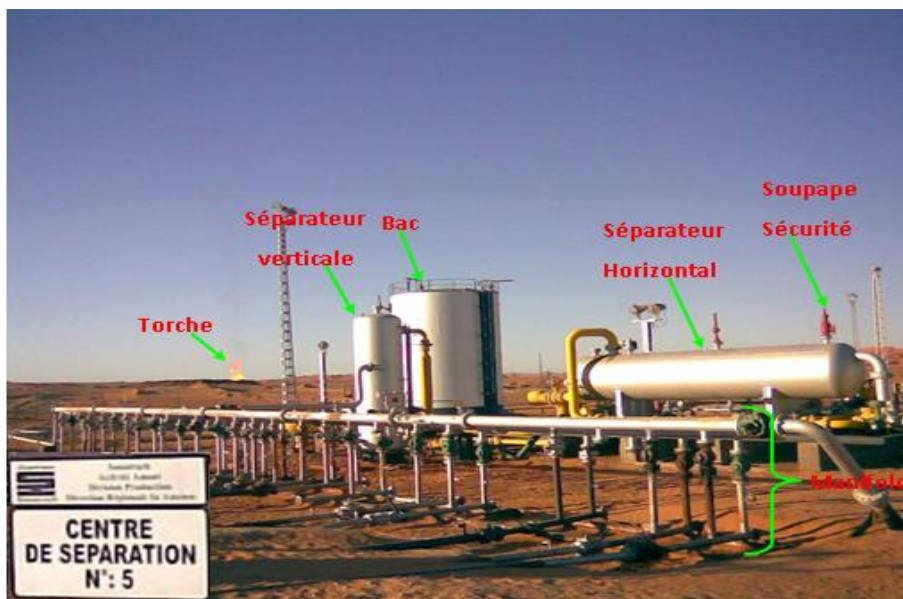


Figure III. 10: Central de séparation Cs5 [13]

III.5.2 Notion de test puits :

C'est ici qu'arrivent les premières quantités d'huile produite et la capacité journalière de production de chaque puits (1puits/j) pour être testé dans ce qu'on appelle «la chambre de mesure ».

C'est là qu'on retrouve la fameuse notion de BARIL souvent évoquée dans l'économie

pétrolière. L'huile transit par le Baril qui est un instrument de mesure doté d'un flotteur, il a une capacité de 159L, et muni d'un compteur pneumatique qui s'incrémente à chaque purge de ce dernier et compte alors leurs nombre (subis dans la journée), ce nombre multiplié (\times) par 159 pour nous donne la quantité produite en litres/jour ($1000 \text{ L} = 1\text{m}^3$).

L'huile de chaque purge passe ensuite vers le Séparateur TEST et un autre nommer: BARTON inscrit un graphique représentant la quantité du gaz issu de la séparation de celle-ci, ce gaz est ensuite envoyé à l'RGTE. Ces paramètres sont les caractéristiques clés d'un puits producteur.

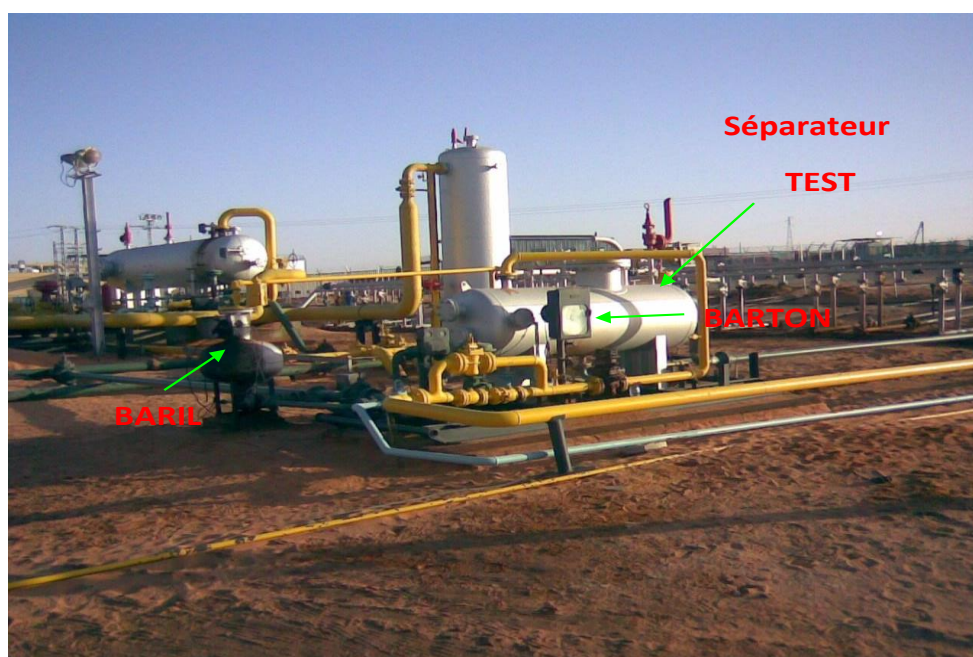


Figure III. 11: vu d'un séparateur TEST [13]

III.5.3 La section soufflante

Les gaz récupérés des quatre centres de séparation CS7, CS8, CS9 et CS10 sont comprimés par la soufflante 11-K-001 de 0,1 bar à 2,3 bar, ensuite le gaz comprimé est refroidi par les aëroréfrigérants 11-E-001 à une température de 45°C et envoyé vers la section compression par la canalisation à basse pression (18). Le ballon de séparation pour la soufflante 11-B-001 est un séparateur de type vertical il peut recueillir des particules de liquide qui pourraient être amenés par la ligne de collecte d'aspiration. L'ouvrage 11-K-001 est un compresseur centrifuge entraîné par un moteur électrique de type ABB. La figure (III.7) indique la section soufflante.

III.5.4 Section de compression :

Les gaz provenant de la section soufflante et des centres de séparation CS1, CS2, CS3, CS4, CS5 et CS6 sont transportés vers le ballon B1 par le manifold de 32" à une pression de

0.1bar seront comprimés dans un compresseur de type centrifuge à quatre étages entraîné par une turbine à gaz de type SIEMENS GT10MD.

-1^{er} étage de compression : Le gaz venant du ballon B1 est aspiré à une pression de 0,1 bar par le premier étage du compresseur ou il sera comprimé jusqu'à 2.6 bar, puis il est refroidi à une température de 55 °C par les aéro-réfrigérants le liquide formé est récupéré au niveau de ballon B2, la pression d'aspiration est réglée par une vanne anti-pompage section BP.

-2^{ème} étage de compression : Le gaz venant du ballon B2 est aspiré à une pression de 2.6 bar, par le deuxième étage de compresseur ou il sera comprimé jusqu'à 7 bar, puis il est refroidi à une température de 55°C par les aéro-réfrigérants, le liquide formé est récupéré au niveau de ballon B3.

-3^{ème} étage de compression : Le gaz venant du ballon B3 est aspiré à une pression de 7 bar, par le troisième étage de compresseur ou il sera comprimé jusqu'à 23 bar, puis il est refroidi à une température de 55 °C par les aéro-réfrigérants, le liquide formé est récupéré au niveau du ballon B4.

-4^{ème} étage de compression : Le gaz venant du ballon B4 est aspiré à une pression de 23 bar, par le quatrième étage de compresseur ou il sera comprimé jusqu'à 65 bar, puis il est refroidi à une température de 55°C par les aéro-réfrigérants, le liquide formé est récupéré au niveau de ballon B5.

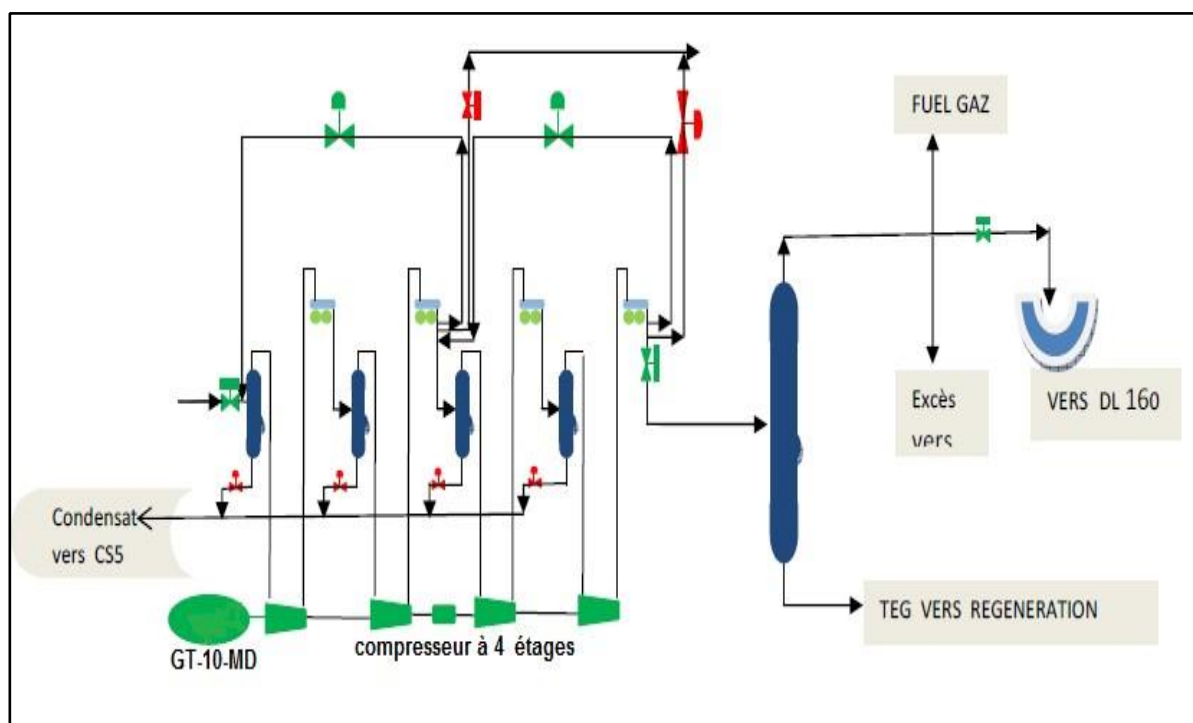


Figure III. 12: section de compression [13]



Figure III. 13: compresseur centrifuge à quatre étage [13]

III.5.5 Unité de déshydratation

L'unité de déshydratation au TEG a pour objet de déshydrater le gaz comportant la vapeur d'eau en saturation en utilisant le tri éthylène glycol (TEG) comme agent absorbant, cette unité est composée d'une section de déshydratation du gaz, et d'une section de régénération et de stockage du glycol

III.5.6 Risques liés à l'unité RGTE

Risque d'explosion: la présence du gaz dans plusieurs composants d'unité soit comme source d'énergie utilisée ou comme produit qui est traité dans ces composants hauts pressions.

Risque d'incendie : présence des gaz et produit inflammable dans l'unité.

Risque de Bouchage: Les gaz naturel sous pressions et basses températures et en présence d'un excès d'eau liquide peuvent donner lieu à la formation des produits solides cristallisés qu'on appelle les hydrates.

Risque Mécanique: La présence des machines tournantes

- Risque d'écrasement.
- Risque de cisaillement.
- Risque d'entraînement.
- Risque de choc.
- Risque de perforation.
- Risque d'abrasion.
- Risque d'éjection de pièces ou d'outils.
- Risque d'éjection des matériaux solides ou fluides.

Risque de Corrosion Chimique: Celle-ci due à l'action des composants chimiques corrosifs qui attaquent la part métallique des équipements de production. Ces composants chimiques résultent de la présence de gaz dissous dans l'eau tels que CO₂, H₂S et O₂ qui réagissent avec le fer et forment des oxydes des sulfures et des carbonates (FeO, Fe₂O₃, Fe₂S et FeCO₃).

La défaillance des systèmes de sécurité automatique.

Risque Electrique:

- Choc électrique.
- Ignition des substances inflammables ou combustibles.
- Sur-échauffement des équipements.
- Explosions électriques.
- Activation involontaire des équipements.

III.5.7 Systèmes de sécurité mise en place dans (RGTE)

- Détecteurs de flamme.
- Détecteurs de gaz inflammable.
- Détecteurs de gaz H₂.
- Point d'appel manuel.
- Interrupteur de déclenchement manuel pour le système d'extinction à poudre.
- Détecteurs de fumée.
- Détecteurs de chaleur.
- Systèmes d'extinction automatique
- Extincteurs (CO₂ et à mousse) bien positionner dans l'unité.
- Grand réservoir d'eau et des pompes qui assure l'eau avec pression.
- Soupapes de sécurité.
- Système de By-passage.
- Joins d'éclatement.
- Les lignes torches.
- Système instrumenté de sécurité.

Chapitre IV : Evaluation des risque au tour de refoulement du compresseur de l'unité RGTE

IV.1 Introduction

Dans le cadre de ce chapitre, après la synthèse de l'étude bibliographique dans les chapitres précédents nous aborderons une analyse des risques au niveau de compresseur et les équipements associés par la méthode HAZOP (HAZard ans OPerability stydy) suivie par une modélisation des scénarios catastrophiques par de logiciels PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools). Enfin nous présentons des recommandations qui doivent être mise en œuvre pour protéger l'environnement, l'installation et assurer la sécurité des personnes.

IV.2 Effet-Influence de perte de confinement

Le rapport de projet mené par le Health & Safety laboratory, qui vise à fournir des informations au HID (hazardous installations directorate), Fournit des éléments qui peuvent souligner l'importance de la perte de confinement causée par l'incident ou l'accident répertorié. Cette étude, effectuée en Grande Bretagne sur une durée de onze ans démontre que sur 2 500 incidents, 718 impliquent une perte de confinement d'équipement.

La majorité des incidents se produisent pendant le fonctionnement normal de l'installation, seuls 15,6 % des incidents se sont produits durant une opération de maintenance.

Les canalisations (en incluant les brides, les soudures, le corps et les open end) sont à l'origine de 23,3 % des pertes de confinement ; celles-ci se produisent dans 51 % des cas durant le fonctionnement normal de l'installation et 32 % durant une phase de maintenance.

Cette étude permet également de déterminer le poids des différents équipement responsables de l'essentiel des pertes de confinement recensées.

tableau IV. 1: Le poids des équipement de refoulement du compresseur[6]

Equipement	Composent l'équipement	de Nombre de perte de confinement	Pourcentage (%)
Canalisation	Bride	50	7
	Soudure	9	1,3
	Corps de la canalisation	46	6,4
	Open end	62	8,6
Compresseur	—	19	2,6

IV.3 Choix des méthodes

La méthode HAZOP est une étape cruciale qui nous permettons d'identifier les dangers potentiels, les déviations par rapport aux conditions normales de fonctionnement. Elle implique l'analyse détaillée de chaque nœud et de chaque paramètre du processus pour déterminer les causes possibles des déviations et leurs conséquences. L'objectif est d'identifier les scénarios de risque et de proposer des mesures de protection pour prévenir ou atténuer ces risques. Et pour compléter notre étude, nous avons utilisé une autre méthode, la modélisation par PHAST qui nous a permis d'évaluer quantitativement les conséquences de ces déviations. Cela permet de mieux comprendre les scénarios de risque, d'évaluer les conséquences sur la sécurité des personnes, les biens et l'environnement, et de prendre des décisions éclairées pour la gestion des risques.

IV.4 Analyse des risques au niveau du refoulement du compresseur par la méthode du HAZOP

Dans notre étude nous allons appliquer dans le premier temps une analyse des risques sur le refoulement du compresseur par la méthode HAZOP.

Au départ, nous allons identifier les causes potentielles qui peuvent entraîner un dysfonctionnement dans ce système, ainsi que les conséquences qui y sont associées. Ensuite, nous utiliserons le logiciel PHA-Pro pour visualiser un graphique sous la forme d'une matrice de risques. Ce graphique représente le nombre de conséquences en fonction de la gravité et de la probabilité des scénarios identifiés. Par la suite, nous allons proposer des mesures préventives, de protection et d'intervention, que nous avons comparées aux mesures existantes.

Les 4 paramètres choisis pour l'application de la méthode HAZOP sont:

- La pression.
- Température.
- Débit.
- Niveau.

IV.4.1 Choix de la matrice de risque :

Après l'identification des risques et problèmes potentiels, une évaluation du risque a été réalisée en identifiant la probabilité d'occurrence ainsi que la gravité des conséquences. Cette évaluation est basée sur le principe de la matrice de risque. Qui vise à hiérarchiser les risques en fonction de leur criticité. Les risques les plus élevés, c'est-à-dire ceux ayant des conséquences graves et une probabilité d'occurrence élevée, sont identifiés comme prioritaires. L'objet de cet outil permet de connaître si le risque ou non et renforcer notre barrières de prévention et de protections.

Nous avons choisi de travailler avec la matrice définie par SONATRACH, utilisée dans la référentielle d'identification des dangers et évaluation des risques.

IV.4.1.1 La matrice de risque

Tableau IV. 2: Tableau matrice de sonatrach

			Le fréquence				
			A	B	C	D	E
			Improbable	Rare	occasionnelle	probable	fréquent
La gravité	5	catastrophique	A5	B5	C5	D5	E5
	4	sévère	A4	B4	C4	D4	E4
	3	Critique	A3	B3	C3	D3	E3
	2	marginal	A2	B2	C2	D2	E2
	1	Négligeable	A1	B1	C1	D1	E1

IV.4.1.2 Niveaux de risques

tableau IV. 3: Niveau de risque

Classification des risques	Description
	Acceptable
	ALARP- améliorable
	Inacceptable

Zone vert « acceptable » : zone de risque moins d'accidents, le risque est maîtrisé.

Zone ALARP (As Low As Reasonably Practicable) dans la matrice de risques représente une région spécifique où se situent les risques considérés comme acceptables, mais qui nécessitent des mesures supplémentaires pour les réduire autant que raisonnablement possible.

Zone rouge «inacceptable » : zone de risque D'accidents élevé susceptibles d'engendrer des dommages sévères pour les personnes dans et hors des limites de propriété SONATRACH.

IV.4.2 Elaboration des tableaux HAZOP :

Les résultats de l'application de la méthode HAZOP sur le refoulement du compresseur sont synthétisés dans le tableau présenté ci-dessous.

L'unité	RGTE, Edjeleh
Composent	Refoulement du compresseur
Condition opérateur	67 bar , 55 C
Volume	10 ,5 m 3
<i>Tableau IV. 4: Analyse HAZOP sue refoulement du compresseur</i>	

Paramètre	Mot clé	Dérivation	Cause	Conséquence	Cotation			Effective	Recommandations
					S	L	RR		
Pression	Plus de	Haut pression	1. Soupape de refoulement du compresseur est bloqué	- L'ouverture de bypass de compresseur - Explosion - BLEVE	5	C	C5	- Monomètre de pression - Alarme	- Entretien et essais périodique des moyens de sécurité . - Nettoyer régulièrement la soupape et de la maintenir exempte de tout matériau indésirable. - Etalonnage et Equilibrage des soupapes de sécurité . - Maintenance régulière.
			2. Le débit de gaz sortant du compresseur est diminuer	- Augmentation de pression	3	D	D3	- Débitmètre - Capteur de pression	- Remplacez ou réparez les composants défectueux qui

Paramètre	Mot clé	Dérivation	Cause	Conséquence	Cotation			Effective	Recommandations
					S	L	RR		
									peuvent causer une diminution du débit - Vérification des paramètres de fonctionnement
			3. Vitesse réduite de la turbine à gaz	- Débit du compresseur réduit et pression d'aspiration élève	3	B	B3	-Le compresseur s'arrête avec PAHH-027 ou PAHH-047	- Effectuez une inspection approfondie des composants mécaniques de la turbine et l'alimentation de la turbine - Remplacez ou réparez les composants défectueux - Placez des Alarme
			4. Vanne de purge ouverte au démarrage	- Haute pression dans la ligne d'aspiration - Explosion	3	B	B3	-	- Effectuez une inspection visuelle de la vanne de purge - contrôler les signaux de commande - Mettez en place des programmes de formation et de sensibilisation - Placez des capteurs pour détecter la position de la vanne
			5. Aspiration excessive en gaz ou une surcharge du compresseur	- Une augmentation de la pression dans le refoulement.	2	B	B2	- Capteur de pression - Débitmètre	- Vérification des paramètres de contrôle - Contrôle des niveaux de gaz d'aspiration

Paramètre	Mot clé	Dérivation	Cause	Conséquence	Cotation			Effective	Recommandations
					S	L	RR		
									- effectuez maintenance régulière, la lubrification, le nettoyage et le remplacement des filtres
			6. Température élevée du gaz	- Explosion - Incendie - jet Fier	5	D	D5	- Détecteur de flamme - système extinction - Alarme	- L'inspection périodique du système déluge pour le refroidissement et la réduction des flux thermique.
			7. La pression de consigne de la section du ventilateur ou du compresseur est élevée	- Eclatement du compresseur. - Pression d'aspiration élevée et pression de refoulement élevée. - Explosion. - surchauffe du compresseur.	4	D	D4	- Une alarme haute PIA-013	- Effectuez des tests et des vérifications régulières des capteurs. - inspections régulières pour détecter tout problème potentiel.
Pression	Moins de	Basse pression	1. L'Ouverture non sollicitée de la vanne d'anti-pompage	- Perturbation du fonctionnement normal - Variations imprévues du débit	3	B	B3		- le manuel d'utilisation de la vanne et les autre équipement doit être mentionner pour empêcher les erreurs d'ouverture.
			2. L'Ouverture intempestive de la soupape	- Dispersion du gaz - Formation de nuage inflammable	3	C	C3	- Détecteur de gaz	- Contrôle des vibrations et des pulsations de section de compresseur.

Paramètre	Mot clé	Dérivation	Cause	Conséquence	Cotation			Effective	Recommandations
					S	L	RR		
				- Jet Fier					- Inspection et maintenance régulière des soupapes
			3. Problème au niveau de ballon de séparation B-002 du compresseur	- Diminution importante de la pression - Pas de séparation entre les phases gazeuses et liquides - Diminution du performance du compresseur - Fuit, incendie , explosion	4	C	C4	-Détecteur de gaz. -Détecteur de température. -Monomètre -Soupape de sécurité	- Effectuez un nettoyage régulier du ballon pour éliminer les dépôts ou les contaminants - Effectuez des Inspections visuelle
			4. L'une des vannes entre la section de compression et le manifold est fermé	- Déviation de flux de gaz vers la ligne de torche	2	B	B2		- Effectuez une inspection visuelle - Procédez aux réparations ou remplacez la vanne défectueuse. - Vérifiez les commandes associées à la vanne fermée - Maintenance périodique - Assurez la formation du personnel
			5. Fuite importante dans la tuyauterie de compresseur	- Flash Fire - Jet Fier	4	C	C4	-Détecteur de gaz -Système d'extinction	- Effectuez des tests d'étanchéité réguliers

Paramètre	Mot clé	Dérivation	Cause	Conséquence	Cotation			Effective	Recommandations
					S	L	RR		
								<ul style="list-style-type: none"> - Surveillez les niveaux de vibrations du compresseur - Formation des agents d'intervention. - Entretien et essais périodique des moyens d'intervention. 	
			6. Déclenchement de ventilateur	- Une diminution de température qui provoque une basse pression	2	C	C2	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifiez le bon fonctionnement du capteur de température ou de pression qui déclenche le ventilateur - Nettoyez le ventilateur de toute poussière ou d'autres contaminants 	
			7. Dysfonctionnement des systèmes de régulation de la pression	- Baisse de pression	2	E	E2	<ul style="list-style-type: none"> - Alarme - Capteur de pression 	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifiez et ajustez la pression de fonctionnement - Vérifiez l'état des vannes de régulation du compresseur et nettoyez ou réparez si nécessaire
Température	Plus de	Haute température	1. Défaillance des aéroréfrigérants	<ul style="list-style-type: none"> - L'augmentation de température dans le compresseur - L'accumulation de chaleur excessive sur les composants internes entraîne la 	2	C	C2	<ul style="list-style-type: none"> - Alarme de température 	<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyez les aéroréfrigérants et Assurez que les ailettes des aéroréfrigérantes ne sont pas endommagées - Vérifiez le fluide frigorigène - Effectuer un entretien régulier

Paramètre	Mot clé	Dérivation	Cause	Conséquence	Cotation			Effective	Recommandations
					S	L	RR		
				détérioration des composants - Jet Fier					
			2. Surcharge du compresseur	- l'augmentation de pression	3	D	D3	- Détecteur de haute température	- Vérifiez le niveau d'huile du compresseur - Vérifiez également que les aéroréfrigérantes sont propres et fonctionnent efficacement - Placez les thermostats de surchauffe
			3. Augmentation de température ambiante	- Dilataion et contraction - Fragilité du matériel - augmentation de pression - La surcharge du compresseur	3	D	D3	- Ventilateur interne du compresseur	- Installer une isolation thermique autour du compresseur - Utiliser un système de refroidissement externe
			4. Dysfonctionnements des échangeurs de chaleur	- L'augmentation de la pression - La diminution de l'efficacité globale du compresseur	3	C	C3		- Inspectez visuellement les échangeurs de chaleur - Effectuer un entretien régulier - Vérifier l'isolation thermique des échangeurs de chaleur
			5. Mauvaise lubrification	- Une augmentation de la friction et de la chaleur	2	C	C2	- Soupapes de décharge	- Vérifiez le niveau d'huile - Nettoyez ou remplacez les filtres à huile

Paramètre	Mot clé	Dérivation	Cause	Conséquence	Cotation			Effective	Recommandations
					S	L	RR		
								- Les régulateurs de pression d'huile	
Température	Moins de	Basse température	1. Réfrigération excessive ou un problème avec le circuit de réfrigération	- Condensation de gaz dans le compresseur - Risque de l'humidité présente dans les tuyauteries - Corrosion	3	C	C3		- Contrôlez les composants du circuit de réfrigération tels que les détendeurs, les évaporateurs et les condenseurs - Contrôlez les capteurs de température pour éviter des signaux erronés
			2. Mauvaise isolation thermique	- perte de chaleur et une baisse de température	3	C	C3	- Détecteur de chaleur	- Vérifiez les joints d'étanchéité - Inspection régulière - Remplacement des pièces
			3. Température ambiante basse	- Baisse de température de gaz dans le compresseur	2	C	C2	- Détecteur de baisse pression et baisse température	- Contrôlez les températures de fonctionnement
			4. Chute de pression	- Baisse de pression	2	A	A2	- Manomètre - Alarme de baisse pression	- Vérification périodique talque les filtres, les vannes et les régulateurs de pression - Contrôlez les fuites - inspection régulière

Paramètre	Mot clé	Dérivation	Cause	Conséquence	Cotation			Effective	Recommandations
					S	L	RR		
Débit	Plus de	Débit plus	1. L'augmentation de la vitesse de turbine à gaz	- La pression de refoulement élève - Shut down de compresseur	2	D	D2	-Débitmètre	- Vérifiez les systèmes de contrôle et de régulation - Maintenance préventive et inspection régulière
			2. Le taux de gasoil est élève	- Pression d'aspiration élève	3	B	B3	-Vanne d'arrêt d'urgence	-Contrôlez la pression
Débit	Moins de	Débit moins	1. Fuite au nouveau de 4 -ème étage du compresseur	- Emission de gaz inflammable - incendie - Jet Fier - Flash Fier	4	D	D4	- Détecteur de flamme -système extinction -Alarme	- Mettez à jour les plans d'urgence - Sensibilisez les opérateur sur les risques associés aux fuites et à l'importance de la vigilance. - Mettez en place un programme d'inspection régulière
			2. Ligne de torche ouverte par inadvertance	- Moins de débit dans le compresseur	2	B	B2	- Capteur de pression - Alarme	- Effectuez les réparations ou les remplacements nécessaires pour assurer le bon fonctionnement du système - Installez des systèmes de sécurité - Renforcez la formation des opérateurs sur les procédures de sécurité

Paramètre	Mot clé	Dérivation	Cause	Conséquence	Cotation			Effective	Recommandations
					S	L	RR		
			3. Une obstruction partielle ou totale au niveau 3 ^{ém} étage du compresseur	- Augmentation de pression	3	B	B3	- Arrêt urgence	- Vérifiez les conduits d'admission et d'échappement et Nettoyez les conduits si possible - Inspection périodique
Niveau	Plus de	Haut niveau							
			1. Défaut de vidange de la vanne séparatrice	- Entraînement de l'eau - L'entraînement plus important de gaz vers le compresseur et endommagement du compresseur	2	B	B2	- Alarme LAH-031	- Inspectez le séparateur d'humidité et les autres composants du système de séparation - Maintenance préventive et nettoyage régulière - Inspection régulière
			2. L'entraînement plus important de gaz vers le compresseur et endommagement du compresseur	- Obstruction des conduites - Endommagement de l'impulseur - Surcharge du compresseur	2	C	C2	- Détecteur de niveau - Arrêt urgence par LAHH-033	- Installez des filtres adaptés dans le système - Mettez en place un programme de surveillance régulière pour détecter les signes d'écoulement de boue - Nettoyage périodique des équipement
	Moins de	Niveau moins	1. Echech de vidange da la vanne séparatrice	- Niveau bas, expulsion du liquide et	2	B	B2	- Capture de niveau	- Nettoyez ou remplacez les conduites de vidange si nécessaire.

Paramètre	Mot clé	Dérivation	Cause	Conséquence	Cotation			Effective	Recommandations
					S	L	RR		
				défaillance du joint d'étanchéité - Pénétration de gaz dans la fosse de combustion par la torche				-Alarme LAL-031 -Arrêt urgence par PALL-033	- Contrôlez les capteurs de niveau - Contrôlez régulièrement les vannes de vidange
			2. Fuite au niveau des bride	- Diminution de niveau - Arrêt de système de refroidissement	2	D	D2	- Détecteur de gaz - Capture de niveau	- Vérification des joints d'éclatement - Maintenance préventive - Effectuez des tests et des essais de fonctionnement
			3. By-pass LV-031 sur ligne de condensat laissé ouvert par l'opérateur	- Accumulation de condensat - Incendie	1	B	B1		- Formation du personnel et sensibilisation - Effectuez contrôle et Inspection régulière

IV.4.3 Interprétations et résultats :

D'après les résultats du tableau HAZOP on a obtenu :

- Neuf événements catastrophiques (inacceptables) représentés par la couleur rouge.
- Dix-sept événements en zone ALARP (tolérable) représentés par la couleur jaune.
- Sept événements acceptables représentés par la couleur verte.

Les événements inacceptables ci-dessus représentent des problèmes assez importants pour notre système, ils sont une priorité pour la réduction à échelle plus bas.

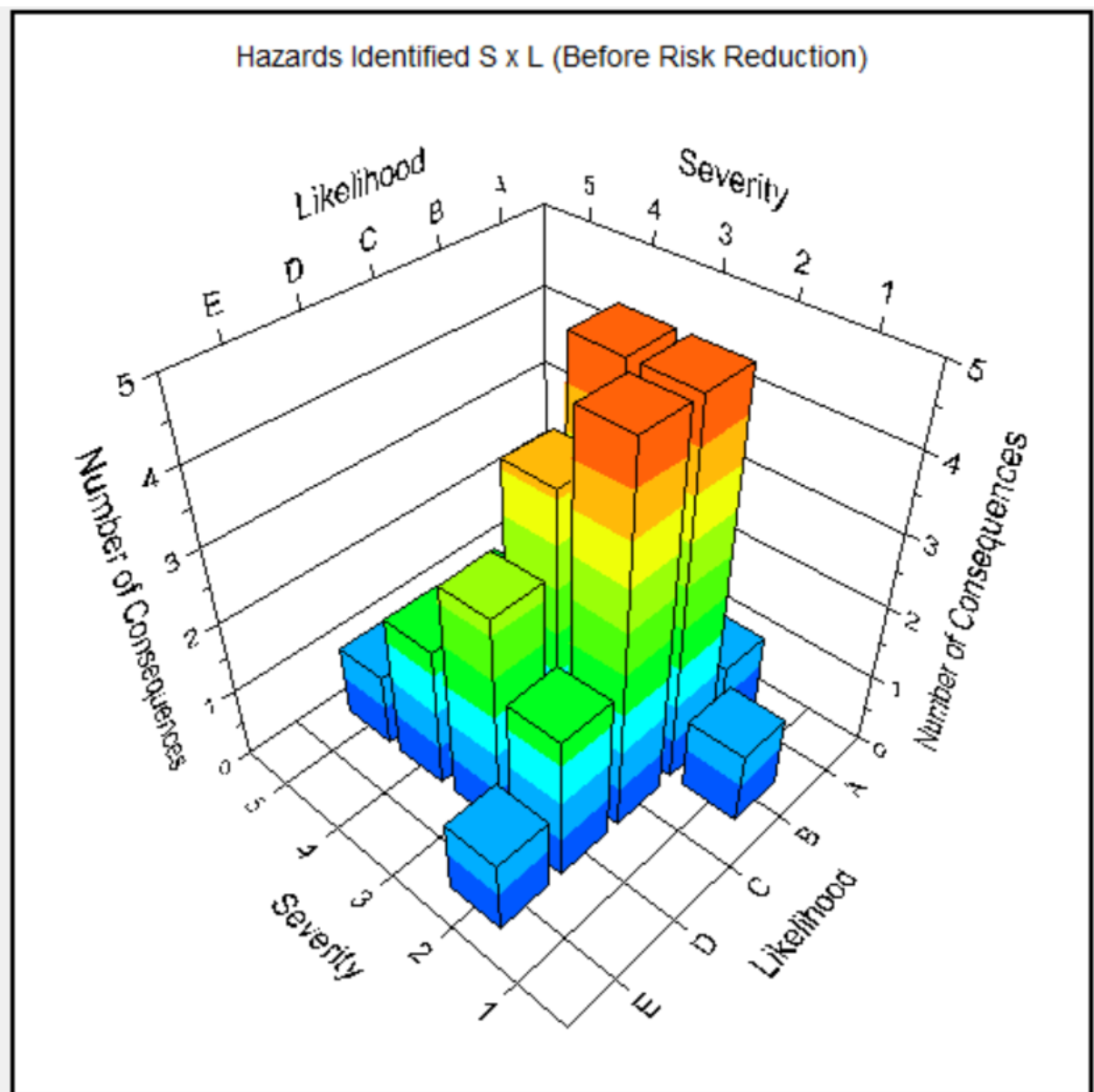


Figure IV. 1: Graphe nombre de conséquences en fonction de la gravité et de la probabilité

IV.4.4 Synthèse des résultats HAZOP :

L'étude HAZOP a été réalisée sur le système de refoulement du compresseur dans l'unité de RGTE afin d'identifier les dangers potentiels, d'évaluer les risques et de proposer des mesures d'atténuation appropriées.

D'après les résultats de l'étude HAZOP nous avons obtenu plusieurs scénarios de danger liés au refoulement du compresseur. Les principaux événements inacceptables c'est lorsqu'il y a une haute température et haute pression qui résulte des fuites, qui est l'un des événements le plus critique qui pouvant exposer tout l'unité et entraîner des conséquences négatives, telles que la perte de produit, des problèmes de sécurité, des dommages matériels, dégâts humains et/ou des impacts environnementaux.

Nous proposons des recommandations spécifiques pour atténuer les risques identifiés. Celles-ci comprennent des dispositifs de surveillance et d'alarme, la mise en place de systèmes de sécurité tels que des soupapes de sécurité et des dispositifs de détection de fuites, et la mise à jour des procédures opérationnelles pour inclure des contrôles et des vérifications régulières.

IV.5 Modélisation des scénarios catastrophiques au niveau de refoulement du compresseur

Le logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) est un outil largement utilisé pour la modélisation et la simulation des scénarios de danger et des risques associés à des installations industrielles. PHAST offre une approche complète pour l'évaluation des risques liés aux accidents industriels, tels que les fuites de gaz, les explosions, les incendies, etc. Il permet de quantifier les conséquences potentielles de ces incidents, y compris les impacts sur la santé humaine, l'environnement et les biens matériels.

PHAST intègre des modèles sophistiqués pour représenter les phénomènes physiques associés aux accidents industriels, tels que la dispersion des gaz, l'ignition des nuages de vapeurs, la propagation des flammes, etc. Ces modèles sont basés sur des données scientifiques qui comprennent des informations sur les propriétés des substances chimiques, les facteurs de dispersion, les données météorologiques, les facteurs de détection, les données toxicologiques, etc. PHAST dispose d'une interface conviviale qui facilite l'entrée des données, la configuration des modèles et l'interprétation des résultats. Les utilisateurs peuvent visualiser les scénarios de danger sous forme de diagrammes, de cartes ou de rapports détaillés, ce qui facilite la communication des résultats aux parties prenantes.

IV.5.1 Données de la modélisation

IV.5.1.1 Localisation de la zone à étudier :

In Amenas est situé dans le sud algérien à 1600 Km d'Alger, à 730 Km au-dessous de Hassi Messaoud à la frontière Libyenne, au centre de ce qu'on appelle le bassin d'Illizi à

240 Km de chef-lieu Illizi. Elle représente le deuxième champ d'exploitation pétrolière en Algérie avec une capacité de production de 5000 m³ /jour environ. L'exploitation du champ, situé dans une zone géographique particulièrement défavorisée, a nécessité l'implantation d'un certain nombre d'équipement.

L'unité RGTE (Récupération des Gaz Torchés EDJELEH) située dans le secteur EST de la région d'INAS, parmi les unités du site de Amenas , a pour but : la récupération, la compression, la déshydratation et la réinjection des gaz habituellement torchés (brulés dans des torches). Nous l'avons déjà présenté dans le chapitre précédent.



Figure IV. 2: Localisation de scénario

IV.5.1.2 Données météorologique

La dispersion d'un gaz ou un nuage gazeux dangereux est régie par la force et la direction du vent, la stabilité atmosphérique et, aussi par l'humidité relative et la température. En cas de libération continue la vitesse du vent peut influencer la distance à laquelle les contaminants se propageront.

- La stabilité atmosphérique fait référence à la tendance de l'air. Elle est déterminée par des facteurs tels que la température de l'air à différentes altitudes. La stabilité atmosphérique peut avoir un impact significatif sur la dispersion du nuage gazeux.
- L'humidité de l'air peut influencer la volatilité et l'évaporation des substances chimiques, ainsi que la densité de l'air. Des niveaux d'humidité élevés peuvent entraîner une plus grande dilution des rejets atmosphériques, tandis qu'une faible humidité peut favoriser leur accumulation.
- La température de l'air peut affecter la densité de l'air, la volatilité des substances chimiques et la vitesse des réactions chimiques. PHAST utilise la température pour

calculer la dispersion des rejets, en prenant en compte les variations de densité de l'air qui peuvent influencer la trajectoire des polluants atmosphériques.

Donc avant de commencer notre étude la connaissance de ces données est impératif. Les données météorologiques de l'unité RGTE durant l'année 2022 sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV. 5: Evolution des conditions météorologiques durant l'année

Conditions	Vitesse du vent m /s	Stabilité de l'air	Humidité %	Température °C
Jour Été	6	C	0,2	45
Jour Hiver	3	D	0,3	20
Nuit Été	4	B	0,3	20
Nuit Hiver	2	F	0,6	0

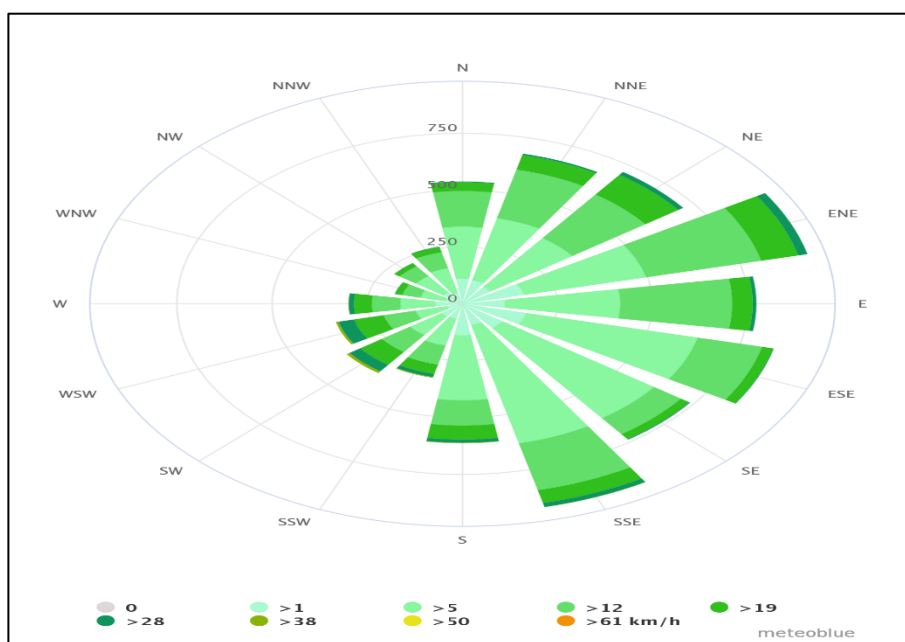


Figure IV. 3: la rose de vent de région EDJELEH

IV.5.1.3 Données sur le refoulement du compresseur

Tableau IV. 6: Les paramètres d'entrée

Paramètres	Valeurs	
Substance	Méthane, propane	Ethan,

pression (bar)	67
Température (c°)	55
Diamètre (mm)	406,4
Longueur (m)	20
Volume (m3)	10,5
Élévation (m)	1

IV.5.1.4 Caractéristique de la substance étudiée :

Gaz associé désigne une substance qui est un mélange d'un large éventail d'hydrocarbures qui sont initialement dissous dans le pétrole. Ils sont obtenus par distillation des matières premières correspondantes. Le gaz associé est représenté principalement par un mélange de :

- Méthane avec (80%)
- éthane avec (15%)
- propane avec (5%)

IV.5.1.4.1 Données physico-chimiques du produit :

Tableau IV. 7: Caractéristiques physiques et chimiques des gazes

Caractéristique physique principales	Caractéristique chimiques principales
Méthane : formule chimique : CH_4 Aspect : gaz Odeur, couleur, gout : non Gravité spécifique : 0,56 Point d'ébullition : $-161,5^{\circ}\text{C}$ Point de fusion : -184°C Température critique : $-82,6^{\circ}\text{C}$ Pression critique : 44,44 atm Chaleur spécifique : $C_p=0,535\text{cal/g}^{\circ}\text{C}(25^{\circ}\text{C/atm})$ $C_v=0,439\text{cal/g}^{\circ}\text{C}(25^{\circ}\text{C/atm})$ Point d'éclair : 537°C Limite d'inflammabilité : 5,0 a 15,0% Solubilité : $2,2 \times 10^{-3}\text{g}/100\text{g eau}(20^{\circ}\text{C})$	- Il est chimiquement stable et difficile de réagir avec d'autre substance
Ethane : formule chimique : C_2H_5	- Il peut être actif chimiquement comme méthane.

<p>Aspect :gaz à température ambiante et a pression ambiante Odeur, couleur, gout : non Gravité spécifique :1,04(air=1) Point d'ébullition :-88,63 5⁰c Point de fusion :-172 0^c Température critique :-32,28⁰c Pression critique : 48,16 atm Chaleur spécifique :Cp=0,418 cal/g⁰c(25⁰c/atm) Cv=0,322 cal/g⁰c(25⁰c/atm) Point d'éclair :472 0^c Limite d'inflammabilité :3,0 a12,5%</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Il forme l'éthylène par décomposition thermique approximativement à 800⁰c - Et l'acétylène approximativement à 1200 a1300⁰c - Il forme le halogénure comme chlorure d'éthylène, etc. par halogénéation
<p>Propane : formule chimique :C₃H₈ Point d'ébullition :-42,07 0^c Point de fusion :- -187,69 0^c Point d'éclair :-104,4 0^c Limite d'inflammabilité : 2,27 a9,50% Point d'ignition :500 0^c</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Peut former des mélanges explosifs avec l'air

IV.5.1.5 Population dans le site RGTE

Les données de la population interne du site sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau IV. 8: Population interne de l'unité RGTE

Emplacement	Salle de contrôle	Poste sécurité	opérateurs
Population	15	3	3

IV.6 Modélisation des scénarios catastrophiques au niveau du refoulement du compresseur

IV.6.1 Scenario 1 : Rupture au niveau du refoulement du compresseur

Description du scénario : rupture au niveau de l'entrée de la canalisation, d'une longueur de 20 m et de diamètre de 404,6mm.

IV.6.1.1 Résultat obtenue pour scénario 1 :

IV.6.1.1.1 Dispersion :



Figure IV. 4: Dispersion de nuage de gaz direction du vent vers le sud

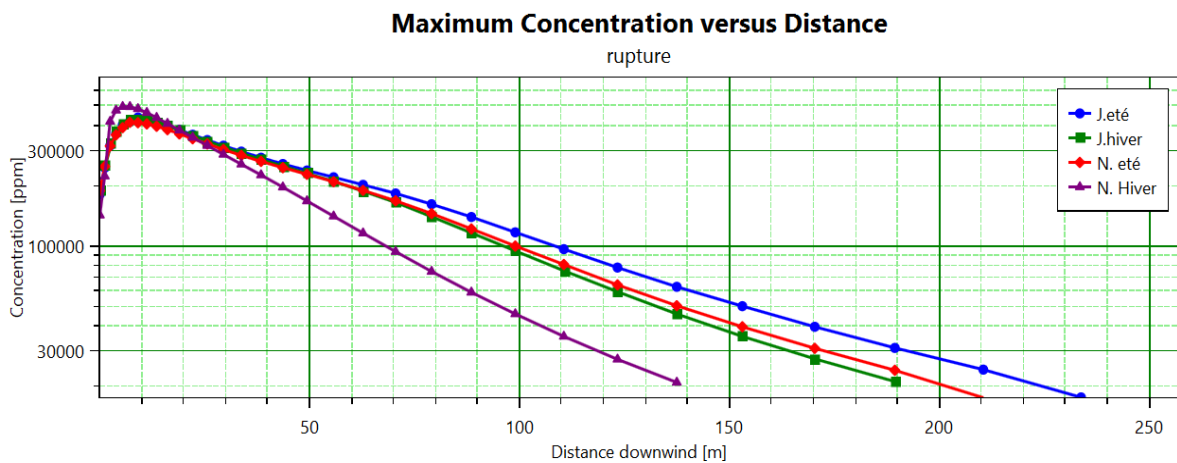


Figure IV. 5: Concentration de nuage de gaz vs Distance

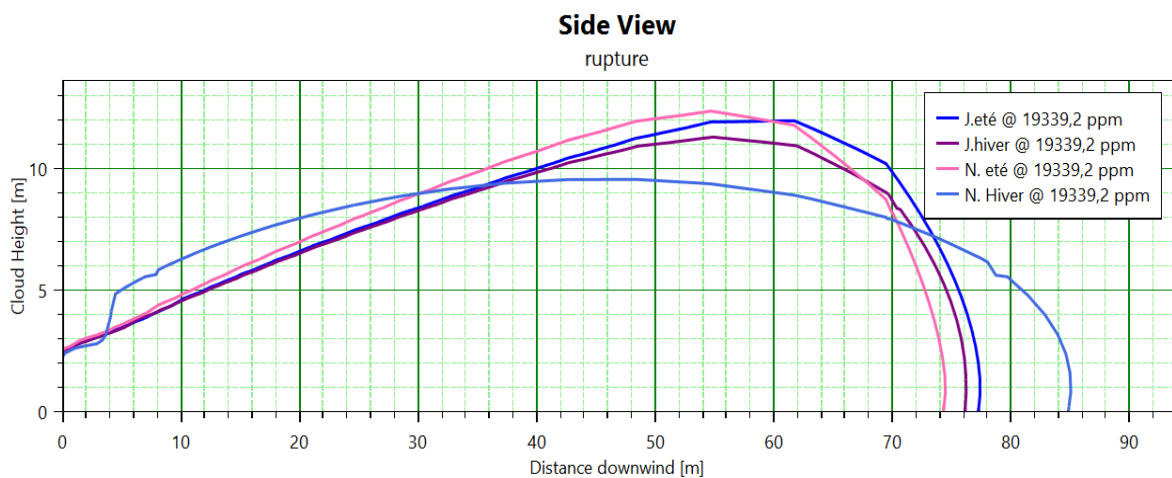


Figure IV. 6: Hauteur de nuage de gaz par rapport le sol

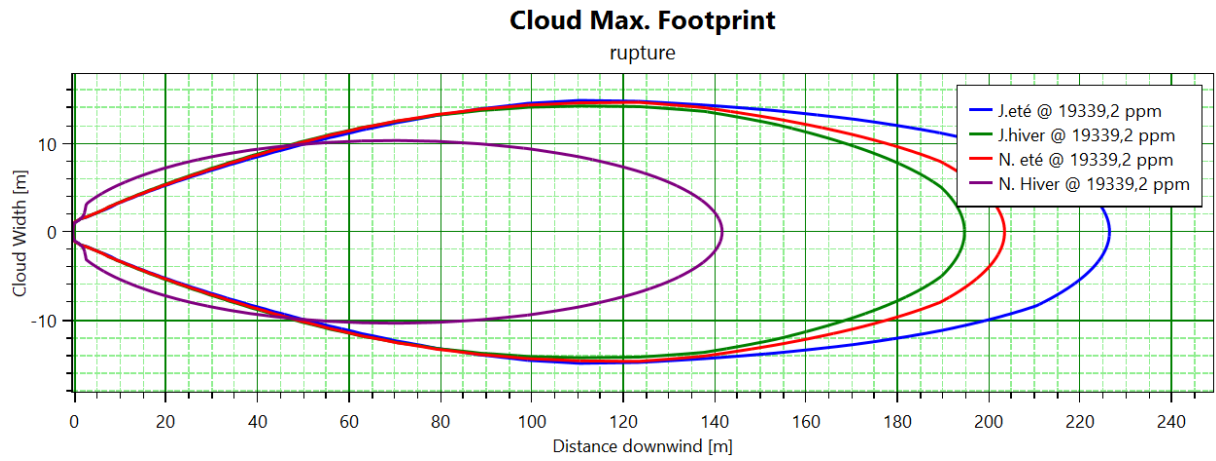


Figure IV. 7: zones touchées par le nuage de gazeux

IV.6.1.1.2 Explosion (VCE) :

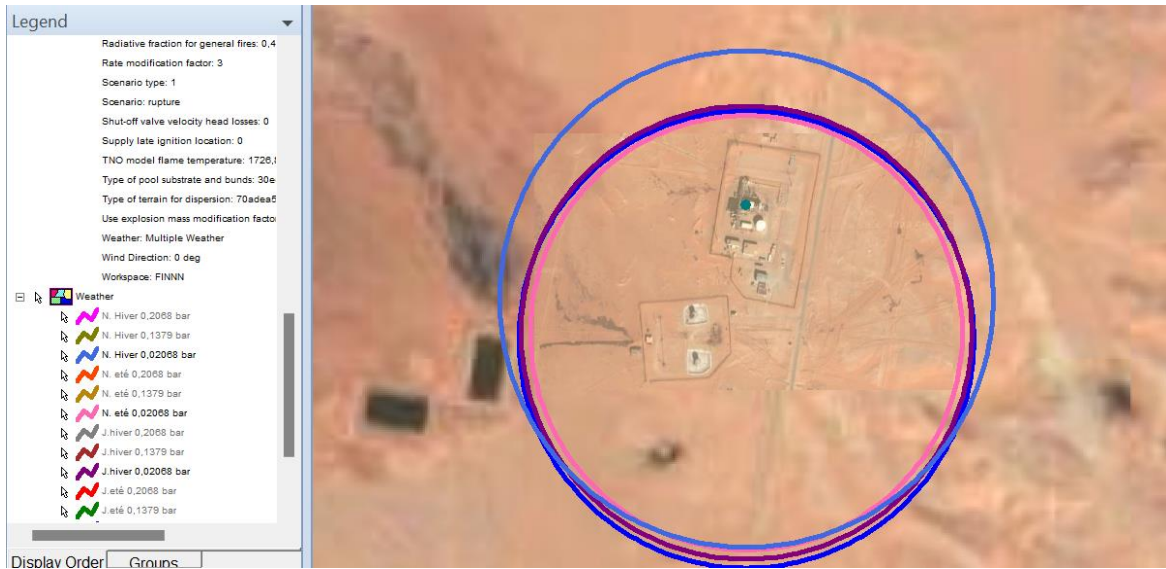


Figure IV. 8: les effets de l'explosion

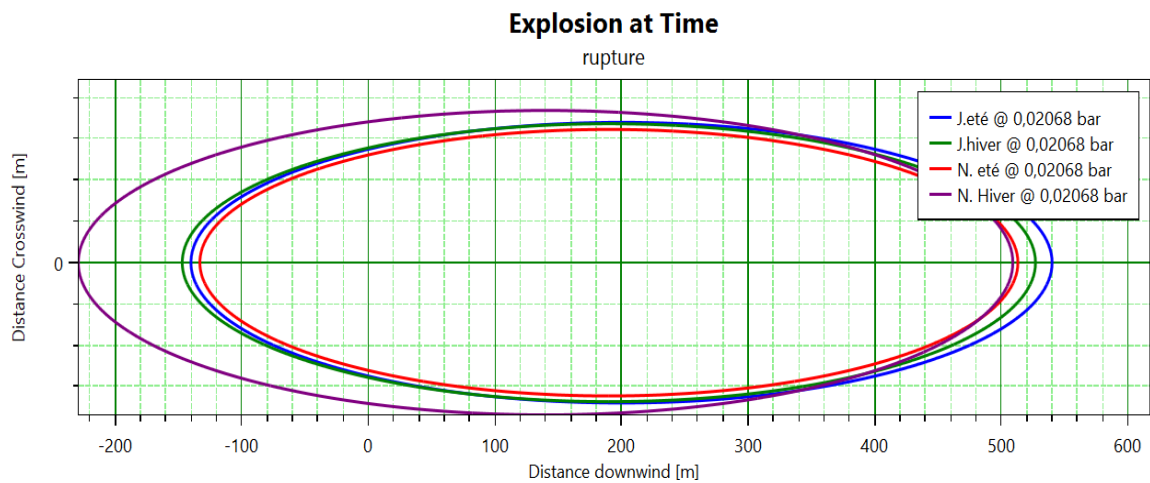


Figure IV. 9: effet d'explosion immédiate

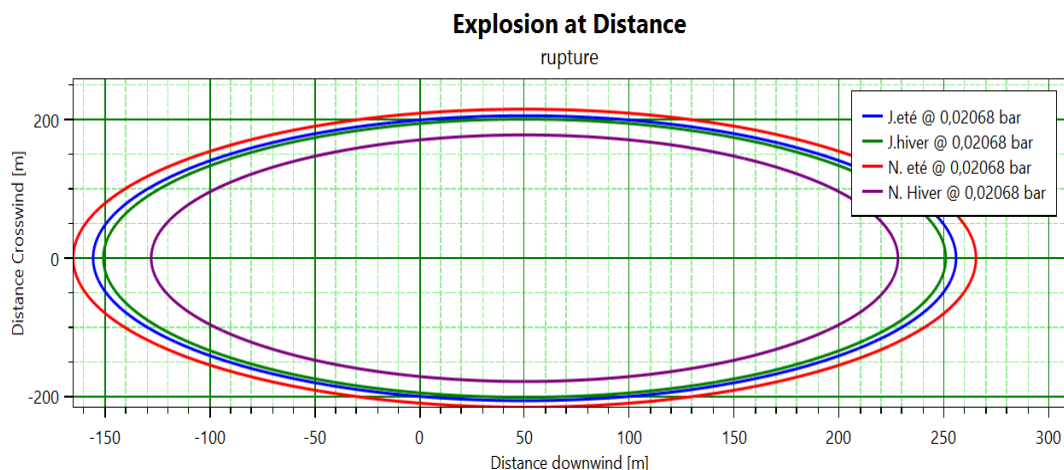


Figure IV. 10: : les zones touchées par les ondes de pression engendrées par l'explosion

La figure ci-dessus représente les zones touchées par les ondes de pression d'où il faut prévoir des mesure de sécurité au-delà du cercle bleu pour une intervention sécurisée.

IV.6.1.1.3 Flash fire

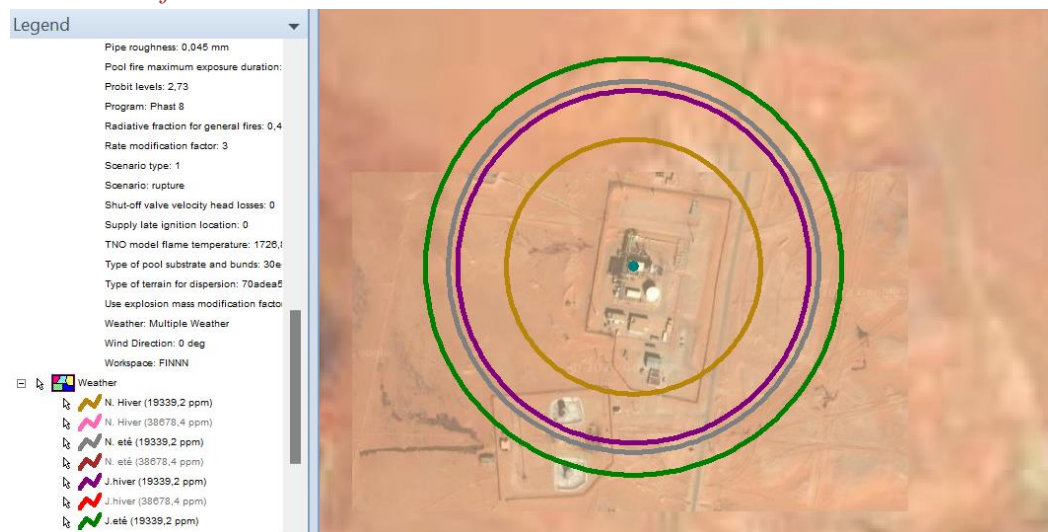


Figure IV. 11: Flash fire suite à une rupture

Les cercles sur la figure représentent la Limite d'Explosivité Inférieure (LIE) par contre vue la distance importante des cercles de la Limite Explosivité Supérieure (LSE) ne sont pas affichés dans la figure.

Dans ce cas la distance à la LIE est estimée à un rayon d'environ 175,137 m et 157,931m pour les jours de d'été et d'hiver et 150,223m, et 106,704 m pour les nuits d'été et d'hiver. Cette même distance représente également la longueur de la flamme du Flash Fire. En outre, du fait que le Flash Fire est d'une durée très brève, ses effets se limitent au nuage lui-même. Par conséquent, les conséquences à l'intérieur de la LIE seront extrêmement graves (toute personne se trouvant dans cette zone sera considérée comme décédée), tandis qu'au-delà de la distance de la LSE, les effets seront considérés comme inexistantes.

IV.6.1.1.4 Jet inflammé (Jet fire) :



Figure IV. 12: effet du jet fire

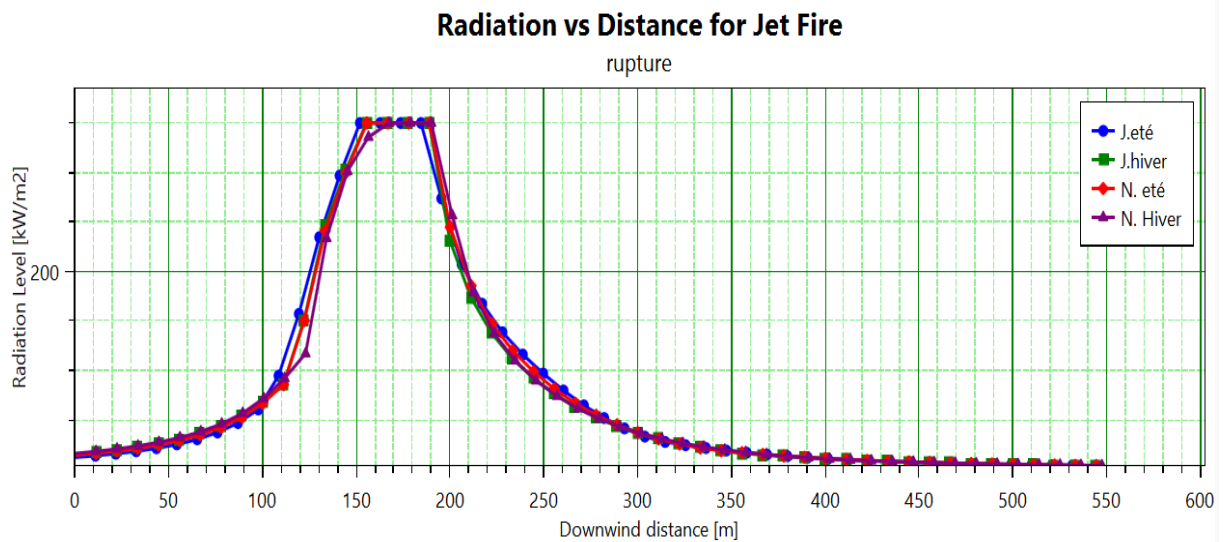


Figure IV. 13: radiation thermique engendré par jet fire

La figure ci-dessus montre l'évaluation du niveau de radiation thermique engendré par le feu torche en fonction de la distance on remarque que les radiations thermiques atteignent 350kW/m² a une distance de 150 m qui atteignent quelques équipements avoisinants.

IV.6.2 Scenario 2 : petite fuit au niveau du refoulement du compresseur

Description du scénario : Fuite de 35,56 mm au niveau canalisation (la tuyauterie), à la sortie de compresseur d'une longueur de 20 m et d'un diamètre de 404,6mm

IV.6.2.1 Résultat obtenue pour scénario 2 :

IV.6.2.1.1 Dispersion :



Figure IV. 14: Dispersion de nuage de gaz direction du vent vers le sud

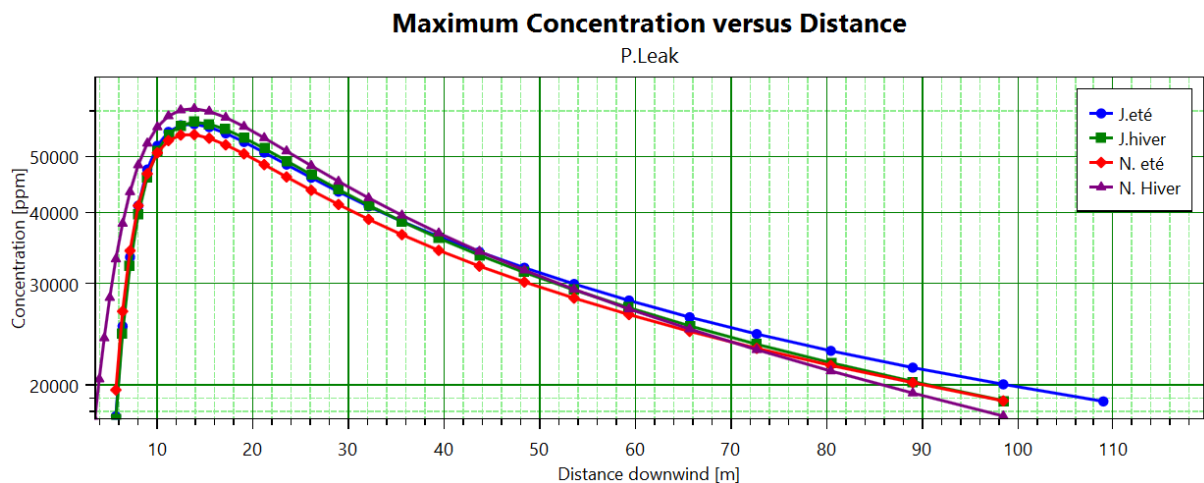


Figure IV. 15: Concentration de nuage de gaz vs Distance

Cette figure montre l'évaluation de la concentration des gaz en fonction de la distance (m) pendant un temps de 18.75 secondes.

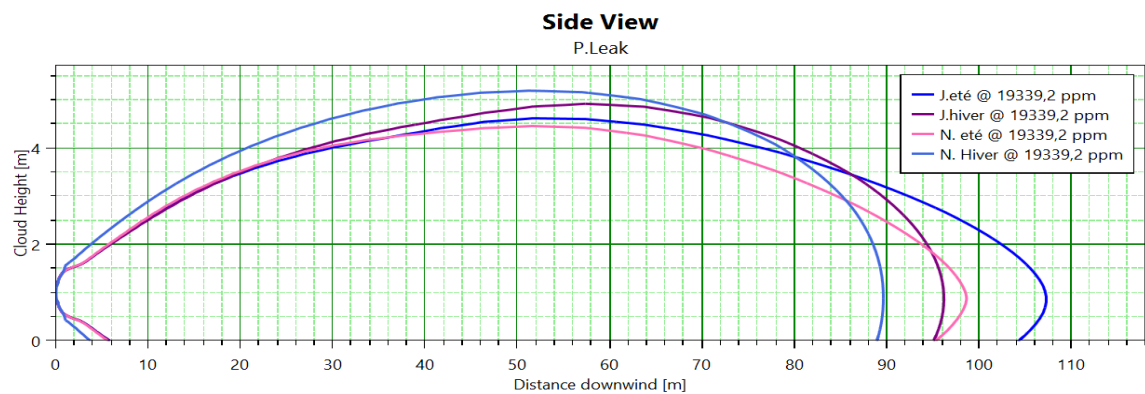


Figure IV. 16: Hauteur de nuage de gaz par rapport le sol (petite fuite)

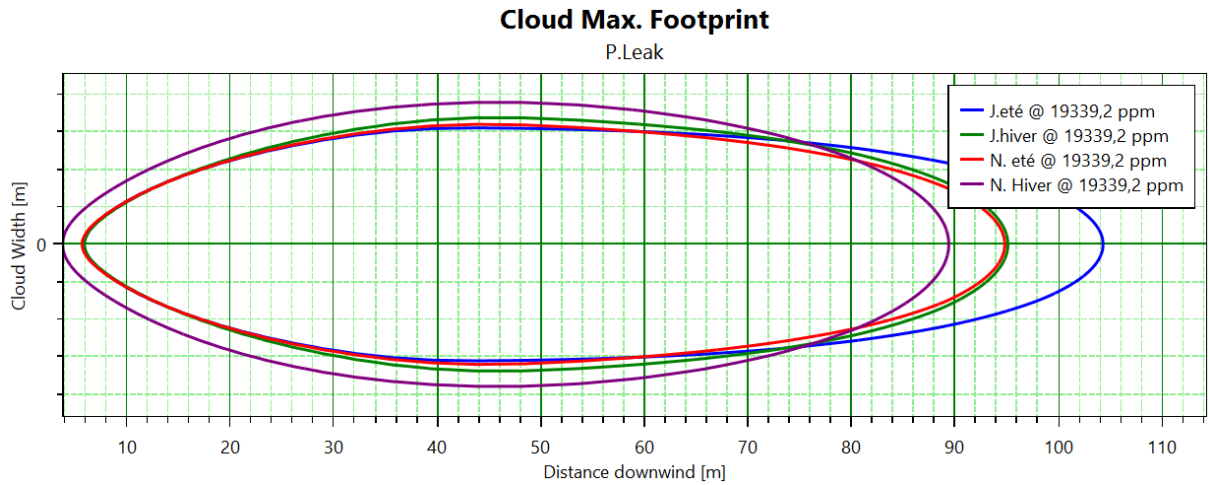


Figure IV. 17: distance du nuage de gaz

IV.6.2.1.2 Explosion (VCE) :



Figure IV. 18: les effets de l'explosion

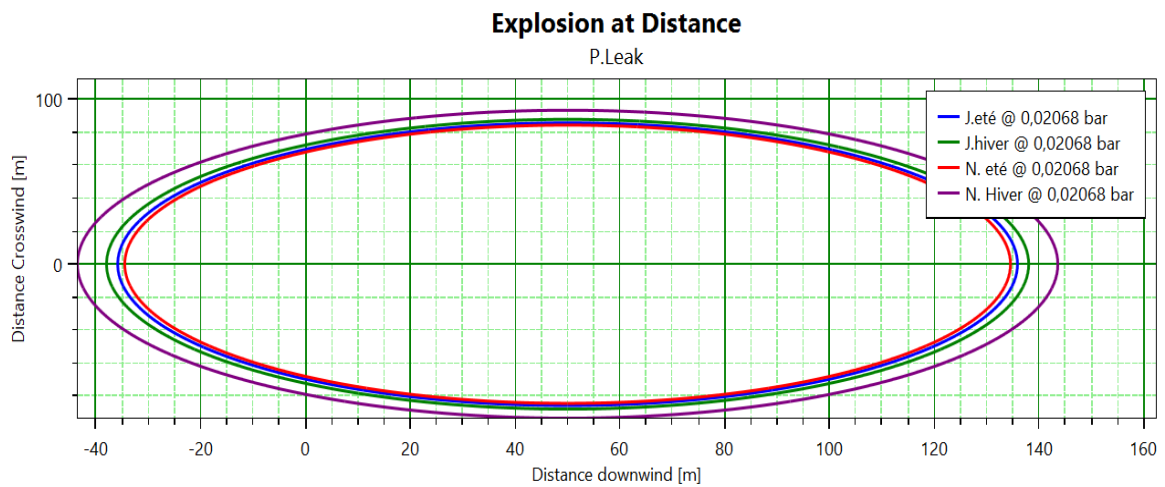


Figure IV. 19: les zones touchées par les ondes de pression engendrées par l'explosion

La figure ci-dessus représente les zones touchées par les ondes de pression d'où il faut prévoir des mesure de sécurité au-delà du cercle bleu pour une intervention sécurisée.

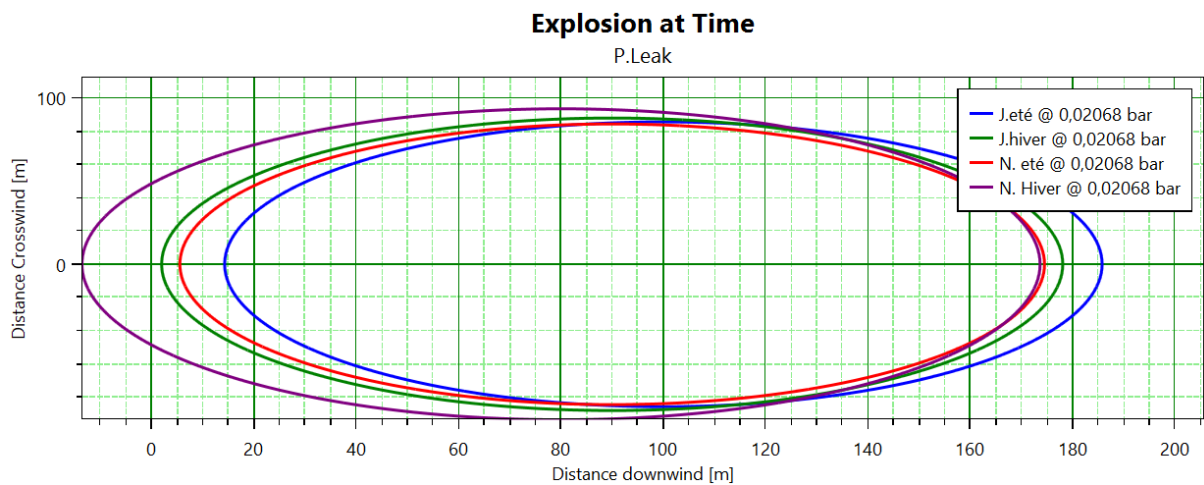


Figure IV. 20: effet d'explosion immédiate

IV.6.2.1.3 Flash fire



Figure IV. 21: Flash fire suite à une petite fuite

Les cercles sur la figure représentent la Limite d'Explosivité Inférieure (LIE) par contre vue la distance importante des cercles de la Limite Explosivité Supérieure (LSE) ne sont pas affichés dans la figure.

Dans ce cas la distance à la LIE est estimée à un rayon d'environ 35,429 m et 35,4219 m pour les jours d'été et d'hiver et 32,4185m, et 36,7763 m pour les nuits d'été et d'hiver.

IV.6.2.1.4 Jet inflammé (Jet fire) :



Figure IV. 22: effet du jet fire

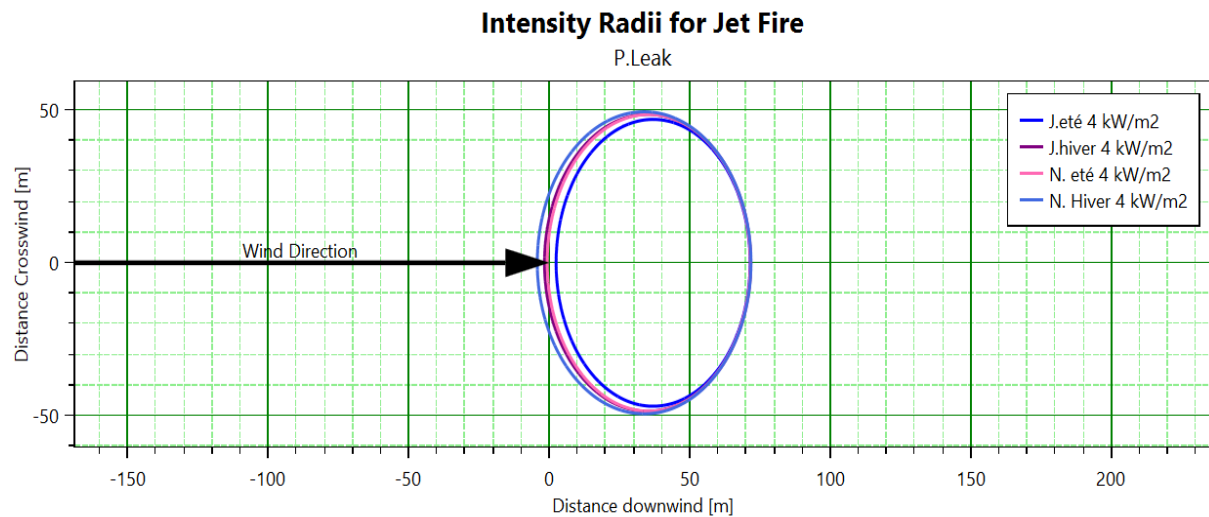


Figure IV. 23: zone touchée par les radiations thermiques engendré par le feu torche

La figure ci-dessus montre la zone touchée par les radiations thermiques, d'après ce résultat on remarque que les radiations thermiques engendré par le feu torche atteignent une distance de (82m) d'où il faut prévoir des mesures de sécurité.

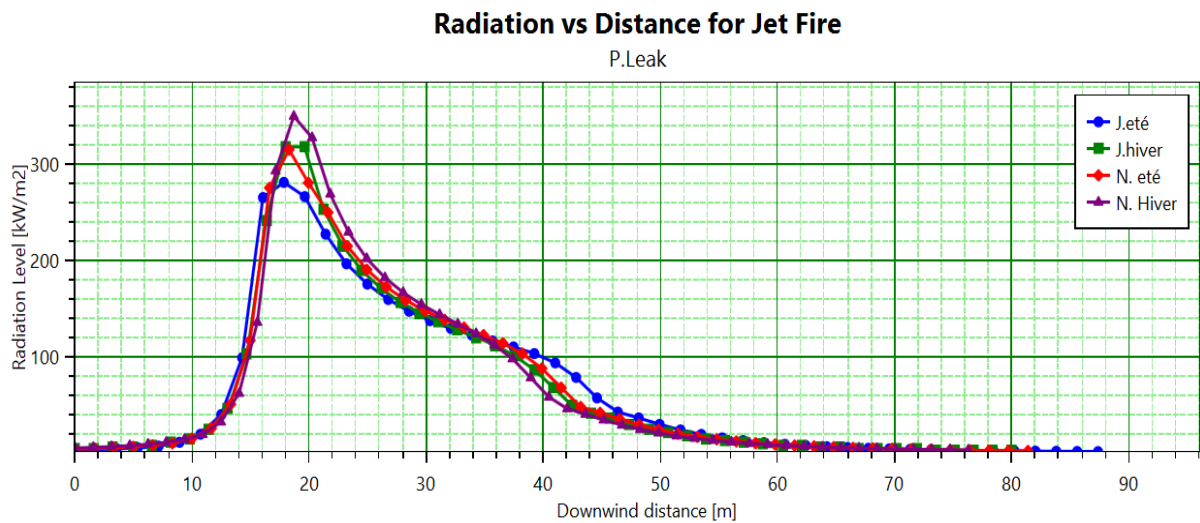


Figure IV. 24: radiation thermique engendré par jet fire

La figure ci-dessus montre l'évaluation du niveau de radiation thermique engendré par le feu torche en fonction de la distance on remarque que les radiations thermiques atteignent 360kW/m² a une distance de 19 m qui atteignent quelques équipements avoisinants.

IV.6.3 Scenario 3 : grande fuite au niveau du refoulement du compresseur

Description du scénario : Fuite de 90 mm au niveau du refoulement du compresseur d'une longueur de 20 m et d'un diamètre de 404,6mm

IV.6.3.1 Résultat obtenue pour scénario 3 :

IV.6.3.1.1 Dispersion :

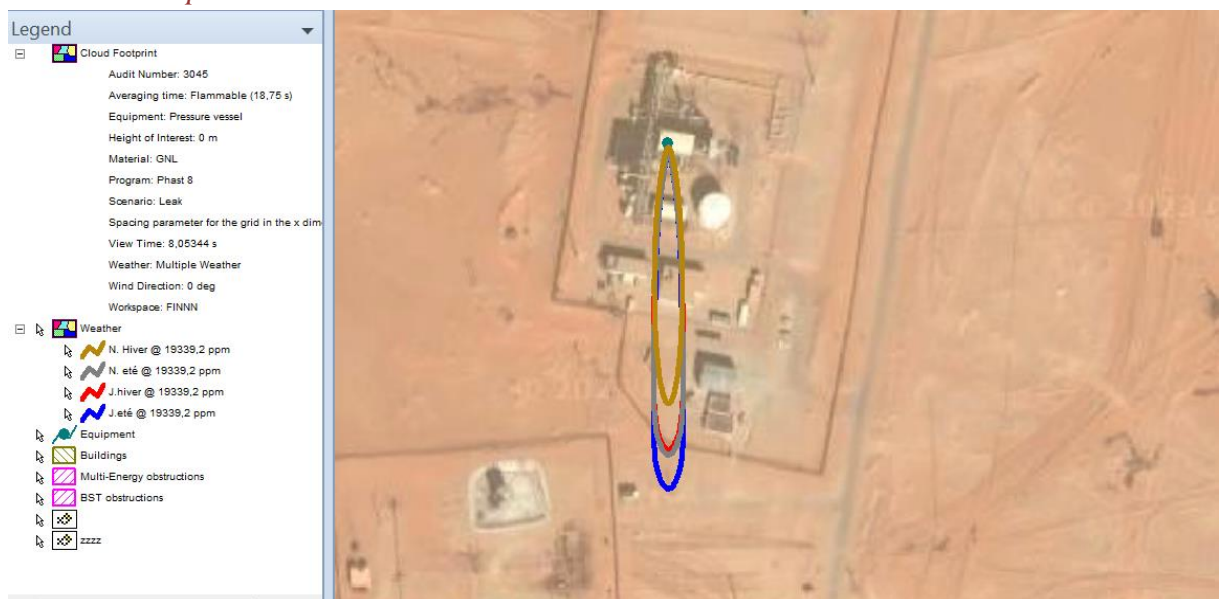


Figure IV. 25: Dispersion de nuage de gaz direction du vent vers le sud

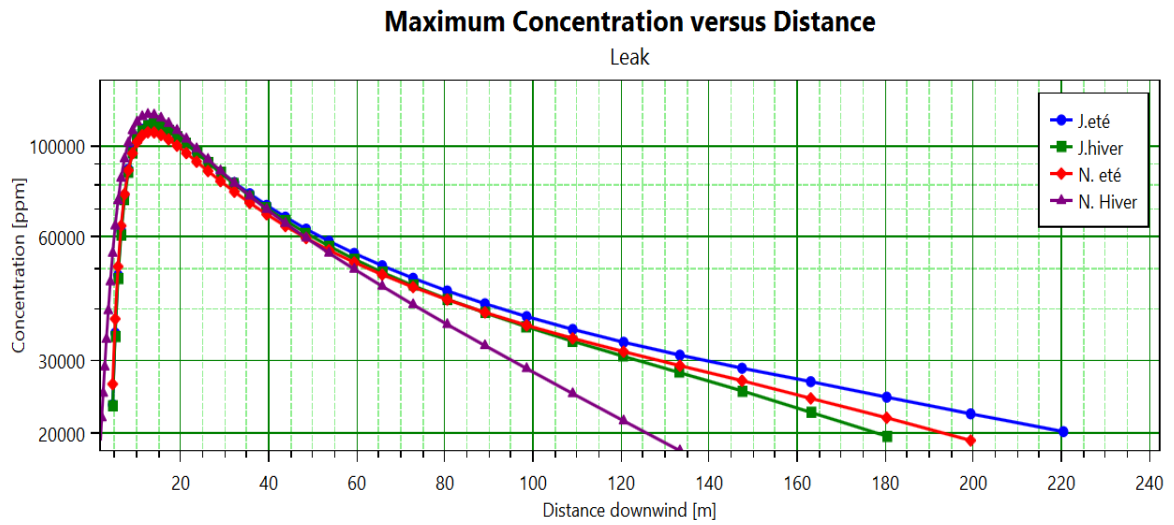


Figure IV. 26: Concentration de nuage de gaz vs Distance

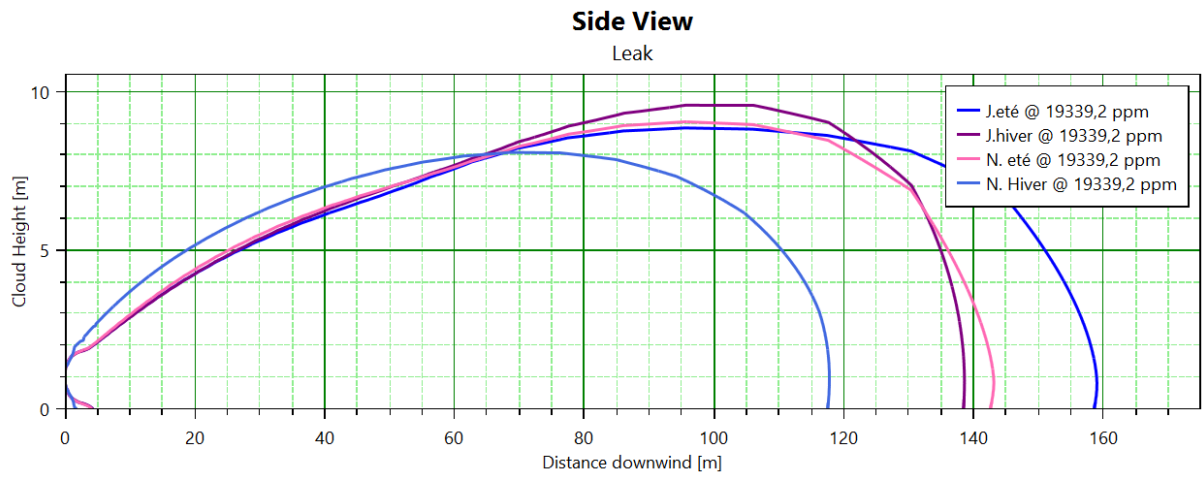


Figure IV. 27: Hauteur de nuage de gaz par rapport le sol

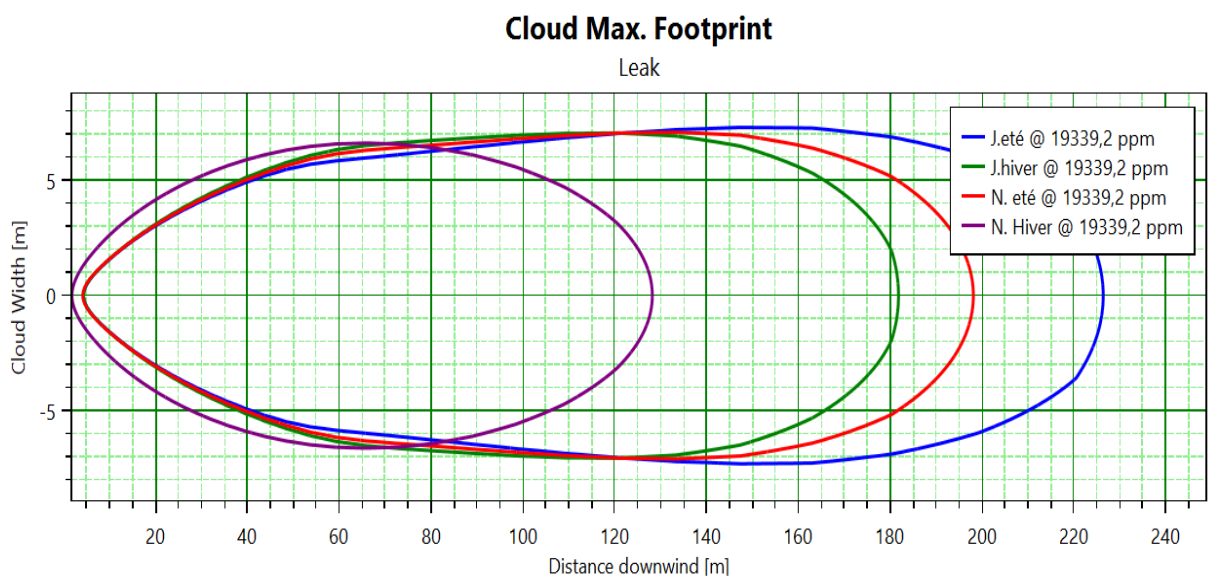


Figure IV. 28: distance du nuage de gaz

IV.6.3.1.2 Explosion (VCE) :



Figure IV. 29: Les effets de l'explosion

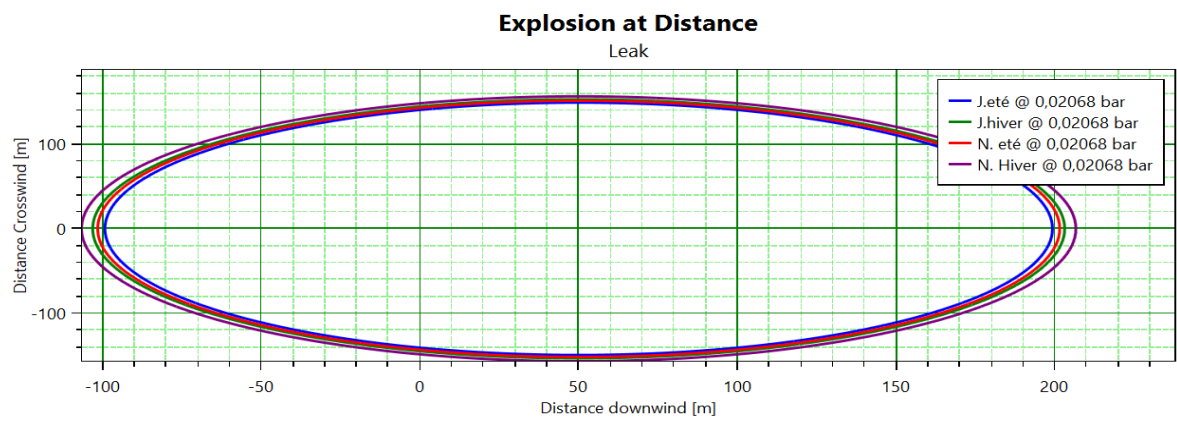


Figure IV. 30: les zones touchées par les ondes de pression engendrées par l'explosion

La figure ci-dessus représente les zones touchées par les ondes de pression d'où il faut prévoir des mesure de sécurité au-delà du cercle bleu.

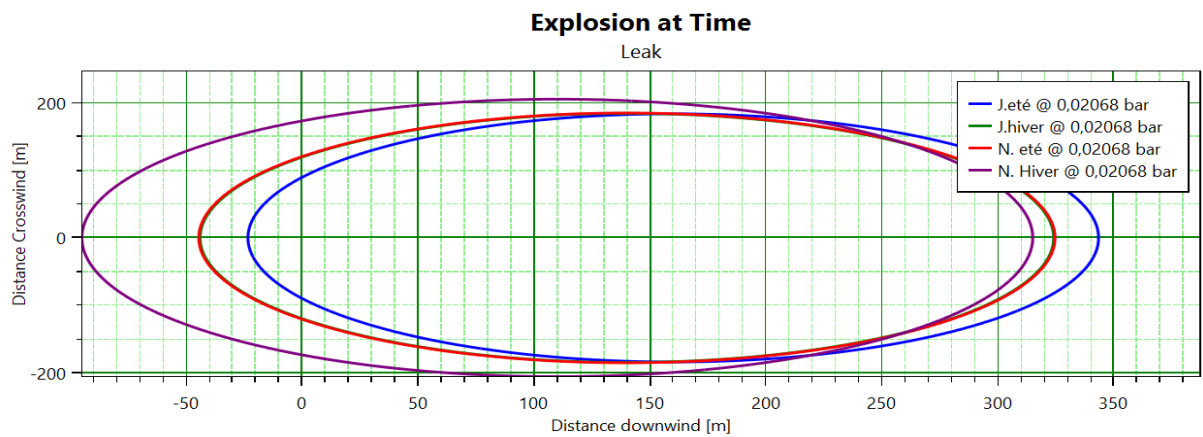


Figure IV. 31: Effet de l'explosion immédiate

IV.6.3.1.3 Flash fire



Figure IV. 32: Flash fire suite à une grande fuite

Les cercles sur la figure représentent la Limite d'Explosivité Inferieure (LIE) par contre vue la distance importante des cercles de la Limite Explosivité Supérieure (LSE) ne sont pas affichés dans la figure.

Dans ce cas la distance à la LIE est estimée à un rayon d'environ 97,543m et 90,6853m pour les jours d'été et d'hiver et 91,1034m, et 76,9518 m pour les nuits d'été et d'hiver.

IV.6.3.1.4 Jet inflammé (Jet fire) :



Figure IV. 33: : effet du jet fire

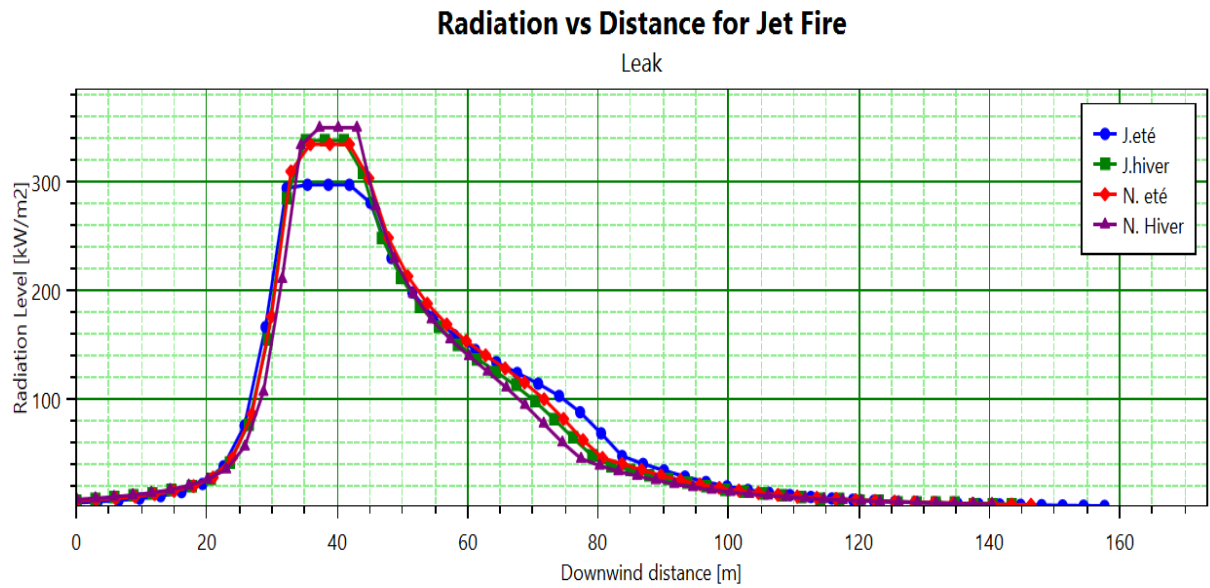


Figure IV. 34: radiation thermique engendré par jet fire

La figure ci-dessus montre l'évaluation du niveau de radiation thermique engendré par le feu torche en fonction de la distance on remarque que les radiations thermiques atteignent 350kW/m^2 a une distance de 40 m qui atteignent quelques équipements avoisinants.

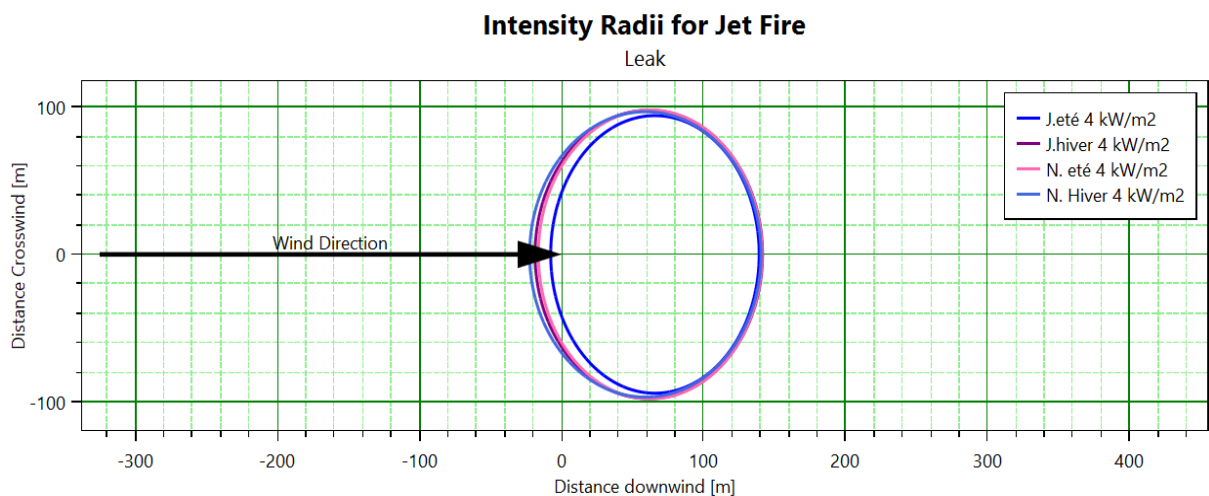


Figure IV. 35: zone touchée par les radiations thermiques engendré par le feu torche

La figure ci-dessus montre la zone touchée par les radiations thermiques, d'après ce résultat on remarque que les radiations thermiques engendré par le feu torche atteignent une distance de (140 m) d'où il faut prévoir des mesures de sécurité.

IV.6.3.1.5 Boule de feu (fire ball)



Figure IV. 36: Effet de fire ball

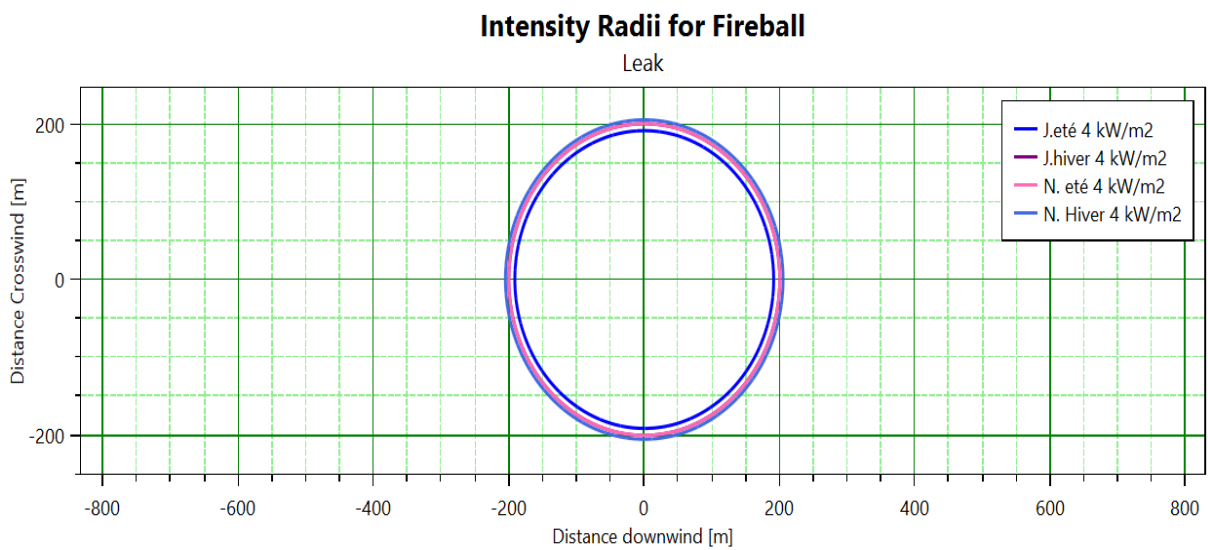


Figure IV. 37: Distance des effets de fire ball

IV.6.4 Synthèse de la simulation

D'après la simulation des trois scénarios, Il paraît impératif de considérer avec méfiance les valeurs disponibles car en se basant sur ces résultats, on constate que pratiquement tous les équipements sont exposes a des dégâts matériels significatifs avec des effets sur l'environnement.

L'évaluation du niveau de radiation thermique engendré par le feu enflammé en fonction de la distance on remarque que les radiations thermiques atteignent 350KW/m², a une distance de (150 m) à partir du compresseur.

Le vent influe sur la direction de dispersion du nuage gazeux vers le sud, ce qui entraîne la dispersion des gaz dans l'atmosphère. Ces gaz, atteignant une concentration élevée (supérieure à 250 m), dépassent les limites du périmètre contrôlé de l'unité.

Les effets atteignent des installations sensibles ou du personnel opérateur est présent, ce qui peut entraîner de graves conséquences économiques en raison du niveau élevé de danger.

IV.7 Recommandation

Sur la base des résultats de l'analyse, les recommandations suivantes sont faites pour limiter ou maîtriser le niveau de risque et renforcer la protection de la population interne, l'installation et l'environnement Les recommandations générales sont les suivantes :

- Les exploitants de l'unité RGTE devront, en fonction du niveau de risque, définir un plan d'actions pour valider et implémenter ces recommandations et celles formulées par l'équipe HAZOP dans le cadre des études de dangers. Le niveau de sécurité des différentes installations étudiées ici sera ainsi sensiblement relevé.
- L'analyse de risques soient prises en considération et que les installations de l'unité RGTE soient maintenues en bon état, conformément à la réglementation et aux règles de bonnes pratiques dans le secteur des hydrocarbures.
- Effectuez des audits réguliers pour évaluer l'efficacité de vos mesures de protection et identifiez les domaines d'amélioration.
- Élaborez des plans d'urgence complets qui détaillent les actions à prendre en cas d'incident, y compris les procédures d'évacuation, les points de rassemblement, les moyens de communication d'urgence.
- Installez des systèmes de sécurité avancés, tels que des systèmes de détection d'incendie, des alarmes, des systèmes de confinement, des dispositifs de coupure d'urgence et des systèmes de ventilation appropriés
- Calculer si besoin la résistance de tous les bâtiments de contrôle et poste sécurité qui seraient soumis à des effets dommageables (radiation et surpression) en cas d'accident.
- Mise en œuvre de la maintenance préventive afin de diminuer la probabilité de défaillance et d'augmenter la fiabilité des équipements. Dans le cadre de la protection des personnes et des installations .
- Les zones devront être identifiées par des panneaux normalisés .
- Maintenir la concentration du combustible hors de son domaine d'explosivité (captage à la source des vapeurs ou des poussières, dilution, nettoyage régulier par aspiration des couches de poussières déposées...).
- Il faut ensuite éliminer l'ensemble des sources d'inflammation potentielles notamment les flammes et feux nus, les surfaces chaudes, les étincelles d'origines mécanique, électrique ou électrostatique, les échauffements dus aux frottements mécaniques, aux appareils .

Il s'agit notamment de la mise en place de :

- Mises en sécurité suite au dépassement des seuils définis pour certains paramètres de sécurité (température, pression, taux d'oxygène...).
- Systèmes de refroidissement afin de contrôler, par exemple, une réaction chimique ou un échauffement dû à la compression des gaz.
- Séparateurs magnétiques, gravitaires (boîtes à cales) afin de supprimer les éléments pouvant provoquer des étincelles ou véhiculer des surfaces chaudes dans les réseaux de ventilation.

IV.7.1 Les mesure à prendre :[59]

IV.7.1.1 Pour l'environnement

- Mettre en place des systèmes en line pour les mesures atmosphériques.
- Mettez en place un programme de surveillance environnementale pour évaluer l'impact potentiel des fuites inflammables sur l'air. Cela peut inclure des échantillonnages périodiques.
- Ouvrir un registre de mesures de rejets atmosphériques

IV.7.1.2 Pour l'homme

- Mise en place de « zones fumeurs » pour faire respecter l'interdiction de fumer aux endroits où des ATEX peuvent survenir.
- Des consignes écrites de travail en zone à risque doivent être établies.
- Port de vêtements de travail appropriés (vêtements de travail coton) et des chaussures de sécurité antistatiques
- Permis de travail obligatoire.
- Le personnel travaillant en zone ATEX ou à proximité doit recevoir une formation minimale lui permettant de comprendre le phénomène d'explosion d'ATEX, les conditions de sa formation, ses composantes, comment le prévenir et comment s'en protéger.
- Limiter la présence des personnes dans les zones à haut risque.
- Respecter sérieusement les mesures de sécurité lors des travaux de maintenance et pendant toute intervention sur site.

IV.8 Les méthode technologique et programme proposé pour détecter et repérer les fuites :

IV.8.1 Programmes de détection et réparation des fuites (LDAR)

Les programmes de détection et réparation des fuites (LDAR) ont pour objet de réduire les émissions fugitives de composés organiques volatils (COV), diminuant ainsi les risques au travail et le gaspillage. Plus particulièrement, les objectifs de ces programmes sont :

déterminer les émissions diffuses ou fugitives des composés organiques, réduire au minimum les épisodes d'émissions odorantes, réduire le risque d'explosion dû aux émissions de composés organiques, réduire le gaspillage de matières premières ou de produits.

IV.8.1.1 Avantages du programme LDAR

- **Économies** : une diminution de 80% des déchets produits après un an avec ce programme. Les coûts de maintenance sont également optimisés.
- **Sécurité** : Les risques d'accident diminuent du fait de la diminution des risques d'incendie et d'explosion. Il garantit également un lieu de travail plus sain.
- **Environnement** : diminution des émissions de substances cancérigènes dans l'atmosphère, amélioration de la qualité de l'air dans les usines, sécurité environnementale à long terme.[70]

IV.8.1.2 Les principaux éléments d'un programme LDAR

Identification des composants : L'opérateur doit connaître les différents composants, et savoir les repérer et les identifier lors de la recherche d'une fuite.

Choix des dispositifs de détection et du seuil de fuite : Le dispositif choisi et la procédure associée, définissent le niveau de fuite le plus faible qui peut être détecté (seuil de fuite.).

Surveillance régulière des équipements : Cet élément utilise le dispositif de détection spécifié, suivant une procédure, à intervalles définis. La plupart du temps les fuites sont marquées, étiquetées avec une étiquette temporaire et si elles ne sont pas immédiatement réparées renseignés dans un système de suivi des fuites.

Réparation des équipements : Les équipements fuyants nécessitent d'être réparés aussi vite que possible. L'équipement est considéré comme réparé après une période de surveillance et la confirmation que la fuite est en dessous du seuil (non détection par la caméra OGI).

Registres et examens : Il convient de tenir des registres des inspections effectuées, des fuites constatées et des équipements concernés ainsi que les réparations qui ont été effectuées. Ces renseignements permettent de tenir un inventaire précis des émissions provenant de fuites fugitives. [71]

IV.8.2 L'imagerie optique des gaz :

Est une technique d'imagerie thermique innovante qui utilise des caméras infrarouges à haute sensibilité pour détecter les émissions fugitives de gaz industriels. Cette technique permet aux opérateurs de mener des campagnes de détection des fuites dans les joints, les soupapes ou tout autre type de dispositif présentant un risque de fuite de gaz. Ces caméras répondent aux 3 prémisses clés qui prévalent aujourd'hui pour effectuer la maintenance : sécurité, rentabilité et efficacité.

L'utilisation de la caméra de détection de gaz offre un certain nombre d'avantages :

- Des économies considérables en termes de temps et de personnel, car la caméra fournit une image complète à partir de laquelle vous pouvez immédiatement exclure les zones qui ne nécessitent aucune action.
- Les mesures peuvent être effectuées à distance et rapidement (pas besoin de s'approcher pendant l'inspection).
- Les problèmes peuvent être identifiés à un stade précoce.[72]

IV.8.3 Système d'absorption laser à diode réglable TDLAS

Les dispositifs de détection par balayage, tels que le système d'absorption laser à diode réglable (Tunable Diode Laser Absorption System TDLAS), qui mesure la concentration de gaz le long de toutes les zones scannées, est l'une des techniques les plus courantes pour analyser les propriétés et les constituants des gaz tels que la concentration, la température, la pression et la vitesse d'écoulement.

IV.8.4 Détecteurs d'ionisation de flamme FID

Des détecteurs d'ionisation de flamme (Flame Ionization Detectors FID) s'agisse de la méthode la plus sensible et la plus fiable de détection des fuites, elle est aussi la plus complexe et coûteuse. Un FID utilise généralement une flamme hydrogène / air dans laquelle l'échantillon est passé pour oxyder des molécules organiques et produire des particules chargées électriquement (des ions). Les ions sont collectés et produisent un signal électrique qui est ensuite mesuré.[71]

IV.8.5 Système d'arrêt d'urgence ESD

Tout procédé de production d'hydrocarbures, liquides ou gazeux, représente des risques pour le personnel, l'environnement et le matériel utilisé qui doivent être en permanence contrôlés. Ces risques se présentent sous plusieurs formes, mais sont rattachés principalement à des perturbations des paramètres du procédé (Température, Pression, Niveau...) et l'environnement (flamme, fumée...). A cet effet, nous sommes amenés à concevoir des systèmes automatiques qui assurent des fonctions de sécurité pour protéger et ramener le procédé à l'état sûr tel que le système ESD, le système F&G, le BMS et le HIPPS.

La présence de toutes anomalies ayant pour résultat une perte immédiate de contrôle des opérations, avec la possibilité de mettre en danger la vie des personnes et d'endommager les équipements, doivent être considérées comme celles qui nécessitent une action corrective et immédiate. Cette action est assurée par l'activation du système d'arrêt d'urgence (ESD).

Le système d'arrêt d'urgence ESD doit détecter toute perturbation des conditions opératoires du procédé potentiellement dangereuses et aussi en cas :

- Détection de feu ou de gaz par le système feu et gaz.
- Détection de pression très basse d'air instrument.
- Baisse de tension de l'alimentation électrique.

Il doit ramener de manière contrôlée, sûre et automatique, le procédé à une situation plus sûre par un arrêt d'urgence et la dépressurisation de l'usine, les équipements et les machines, afin de protéger le personnel, l'environnement et le matériel. Les Installations seraient arrêtées en cas d'urgence tant automatiquement que manuellement. L'arrêt d'urgence automatique est réalisé automatiquement par la séquence verrouillage suite à une signalisation émise par un élément d'instrument détecteur. D'autre part, l'arrêt d'urgence manuel est réalisé manuellement par l'opérateur lorsque l'on découvre tout incident et pour empêcher le développement de l'incident.

IV.8.5.1 Niveaux de sécurité

L'architecture du système d'arrêt d'urgence en générale, est basée sur 3 niveaux de sécurité progressifs dans leurs effets :

Niveau 1 : ESD (Emergency Shut Down) arrêt total impliquant l'usine entière. C'est un ensemble d'automatismes qui permettent d'interrompre la circulation des produits par arrêt des machines tournantes (pompes, compresseurs, turbine etc.) et par fermeture des vannes d'isolement appelées ESDV. Un arrêt ESD est déclenché par un incident majeur dans l'installation : c'est le niveau de sécurité maximum. Il autorise la dépressurisation de tout ou partie de l'installation. Il est géré par un automate de sécurité (appelé ESD0).

Niveau 2 : PSD (Process Shut Down) impliquant l'arrêt du procédé concerné. C'est un ensemble d'automatismes capables de détecter les déviations du procédé, puis d'arrêter rapidement une unité de procédé ou un équipement, et de les isoler par fermeture de vannes d'isolement appelées SDV. Un arrêt PSD est déclenché par un incident grave mais de moindre importance que pour l'arrêt ESD. Il peut éventuellement lancer la dépressurisation de l'équipement isolé (un compresseur par exemple). En aucun cas, il n'est la cause de la dépressurisation générale de l'usine. il est géré par un automate de sécurité (PSD1, PSD2).

Niveau 3 : USD (Unit Shut Down) impliquant l'arrêt de l'unité concerné ou de l'équipement isolé. C'est un ensemble de fonctions qui arrêtent une section ou un équipement sans impliquer d'organe de sécurité (ESDV ou SDV). Les arrêts USD sont déclenchés par des incidents mineurs. D'une manière générale, les arrêts USD doivent permettre de maintenir la production par mise en route des équipements en secours ou par utilisation de solutions temporaires. Les arrêts USD sont gérés par le système de conduite centralisée (DCS) et non par un automate de sécurité (PSD3).[73]

IV.9 La prévention en cas de fuite dans le pipeline :

S'assurer que un système de protection efficace contre la corrosion est en place, y compris :

- Contrôles de sélection des matériaux et application de traitements chimiques efficaces, le cas échéant et vérification régulière de l'épaisseur des parois d'installations et des conduites.
- Le projet et les opérations appliquent un système de contrôle du changement et un système de gestion de la qualité efficaces.
- Un système d'inspection et d'entretien orienté vers le risque est en place.
- Des tests et exercices réguliers destinés à évaluer le niveau de préparation sont effectués.
- Mise en service appropriée y compris essais de pression et de fuites sur les pipelines.

IV.10 Conclusion

La modélisation des conséquences attendues à la fois de la rupture et des deux fuites au niveau du refoulement du compresseur, nous a permis d'élargir notre vision concernant les dommages survenus.

Les résultats, nous ont également montré que les effets de l'explosion et des radiation thermique peuvent impacter l'ensemble des bâtiments présents sur le site (salles de contrôles, base de vie) mène ainsi à des blessures sévères et la perte de plusieurs vies humaines, tels-que les opérateurs présents au moment de l'accident.

D'après c'est résultat nous avons proposé des mesures de mitigation pour réduire les risque .

Conclusion générale

Conclusion générale

Durant ce projet de fin d'étude l'analyse des risques effectuée pour l'unité de récupération des gaz torchés Edjeleh (RGTE), afin d'estimer le niveau de risque auquel nous avons déduit que les conséquences de la sécurité du personnel, installation, environnement et les effets économiques potentiels suite à une libération des gaz non détectée devraient être une préoccupation majeure. Cela nous amène vers l'élaboration d'une étude bibliographique pour mieux comprendre dans un premier temps les notions de base la modalité de gestion des risques et les scénarios catastrophiques qui peuvent être engendré, ainsi que les méthodes d'analyse propose les meilleures solutions pour la maîtrise de ces derniers.

Un enchaînement logique dans le traitement du sujet, nous amène sur des points représentant les résultats obtenus de chaque chapitre.

Le premier chapitre a été consacré à une présentation sur les notions de base de sécurité, ainsi qu'un aperçu sur le processus de gestion des risques à l'échelle industrielle avec les différentes méthodes et outils disponibles pour analyser les risques. Parmi les méthodes citées, on trouve les arbres de défaillances, AMDEC, la méthode HAZOP etc.

Le deuxième chapitre fait l'objet d'une étude sur les effets autour des installations industrielles leur origine, leur causes et leur conséquences et le cadre réglementaire

Le troisième chapitre nous avons présenté l'unité de récupération des gaz torché EDJELIH (RGTE) notre lieu d'étude.

Le quatrième chapitre présente une étude de cas et une mise en application succincte de la méthode HAZOP (HAZard and OPerabilitystudy) et l'utilisation du logiciel PHAST (ProcessHazardAnalysis Software Tool), dont nous avons suivis les recommandations.

Cette étude élargie notre vision concernant les catastrophes pour cela nous avons proposé des recommandations et techniques pour la réduction de risque complémentaires afin de garantir un niveau de sécurité optimale.

Bibliographie

- [1] C. canadien d'hygiène et de sécurité au travail Gouvernement du Canada, « CCHST: Danger et risque - Généralités », 5 avril 2023. https://www.cchst.ca/oshanswers/hsprograms/hazard/hazard_risk.html (consulté le 10 juin 2023).
- [2] « ISO 31010 ». 2019.
- [3] G. P. F. de Q. • E. dispositifs médicaux et gestion des risques • A. norme X. S99-223, « Les Risques : définition, types, évaluation et gestion », *Qualitiso*, 26 juillet 2020. <https://www.qualitiso.com/risques-definition-types-evaluation-gestion/> (consulté le 10 juin 2023).
- [4] « Définition de Risque », *Actu-Environnement*. https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/risque.php4 (consulté le 10 juin 2023).
- [5] H. Niandou, F. Masrouri, et A. Pantet, « Classification des risques », [En ligne]. Disponible sur: http://ressources.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_2/res/Polycopie_etage_2_v2.pdf
- [6] N. Bennedjai et O. abd eldhafour Douahi, « Etude et analyse des risques industriels (Etude de cas », Université Badji Mokhtar, Annaba, 2019. [En ligne]. Disponible sur: <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2019/10/Bennedjai-Nouh-Douahi-Oussama-abd-elghafour.pdf>
- [7] « Risques ». <https://observatoire-risques-nouvelle-aquitaine.fr:443/risques/> (consulté le 10 juin 2023).
- [8] « Les impacts environnementaux – Ademe », *Agence de la transition écologique*. <https://expertises.ademe.fr/economie-circulaire/consommer-autrement/elements-contexte/impacts-environnementaux> (consulté le 10 juin 2023).
- [9] É. Larousse, « Définitions : pollution - Dictionnaire de français Larousse ». <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/pollution/62217> (consulté le 10 juin 2023).
- [10] « Nature Et Types De Pollution De L'environnement », [En ligne]. Disponible sur: <https://iast.univ-setif.dz/documents/Cours/Cours5EnvironnementL3GAT21.pdf>
- [11] « Prévention et risques industriels. Qu'est-ce qu'un risque industriel ? - Démarches de prévention - INRS ». <https://www.inrs.fr/demarche/risques-industriels/definition-risque-industriel.html> (consulté le 10 juin 2023).
- [12] N. Mayer, « Définition | Risque industriel | Futura Tech », *Futura*. <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/technologie-risque-industriel-17560/> (consulté le 10 juin 2023).

- [13] B. Mokrani et H. Nacib, « Prévention des risques professionnels Étude de cas au niveau HfX/AMM (Sider El-Hadjar », Université Badji Mokhtar, ANNABA, 2019. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.scribd.com/document/629017519/Mokrani-Bassem-Necib-Hamza>
- [14] « Principes généraux de la démarche de prévention. Introduction à la prévention - Démarches de prévention - INRS ». <https://www.inrs.fr/demarche/principes-generaux/introduction.html> (consulté le 10 juin 2023).
- [15] « Fondamentaux de la prévention. Fondamentaux en prévention des risques professionnels - Démarches de prévention - INRS ». <https://www.inrs.fr/demarche/fondamentaux-prevention/ce-qu-il-faut-retenir.html> (consulté le 10 juin 2023).
- [16] Y. Radjabou, « Quelle est la définition et le but de la prévention secondaire ? » <https://www.espace-cssct.fr/toutes-les-actualites-du-chsct/quelle-est-la-definition-et-le-but-de-la-prevention-secondaire> (consulté le 10 juin 2023).
- [17] « Equipement de protection individuelle ». <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/Publications/Vie-pratique/Fiches-pratiques/Equipement-de-protection-individelle> (consulté le 10 juin 2023).
- [18] « Les équipements de protection collective, qu'est-ce que c'est ? », *Boplan*, 18 octobre 2018. <https://www.boplan.com/fr/les-equipements-protection-collective-quest-ce-que-cest> (consulté le 10 juin 2023).
- [19] « Problématique de la sécurité - Evaluation de la sûreté de fonctionnement des systèmes dédiés au ». <https://123dok.net/article/probl%C3%A9matique-s%C3%A9curit%C3%A9-evaluation-s%C3%BBret%C3%A9-fonctionnement-syst%C3%A8mes-d%C3%A9di%C3%A9s.ynelx81y> (consulté le 10 juin 2023).
- [20] « Définition de sécurité industrielle — Lesdefinitions.fr », *Les Définitions*. <https://lesdefinitions.fr/securite-industrielle> (consulté le 10 juin 2023).
- [21] « cours_barrieres_de_securite-m2_h2st-2020-2021.pdf ». Consulté le: 13 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/ouazraoui_nouara/files/cours_barrieres_de_securite-m2_h2st-2020-2021.pdf
- [22] S. du C. du T. du Canada, « Guide de gestion intégrée du risque », 20 juin 2011. <https://www.canada.ca/fr/secretariat-conseil-tresor/organisation/gestion-risque/guide-gestion-integree-risque.html> (consulté le 10 juin 2023).
- [23] « Gestion des risques : Qu'est-ce que c'est et pourquoi c'est important », *SafetyCulture*. <https://safetyculture.com/fr/themes/gestion-des-risques/> (consulté le 10 juin 2023).

- [24] W. GHENNAI, « Démarche du Contrôle des Substances Dangereuses pour la Santé et pour l'Environnement (CSDSE) », Fin de formation in SONATRACH, IN-Amenas, 2018.
- [25] « Risk Analysis and Risk Management », [En ligne]. Disponible sur: <https://www.mindtools.com/abhkwc/risk-analysis-and-risk-management>
- [26] « Analyser les risques ». http://gpp.oiq.qc.ca/analyser_les_risques.htm (consulté le 10 juin 2023).
- [27] S. SAADI, « Support de cours Chapitre 2 : L'analyse des risques professionnels - étape incontournable d'EvRP ». avril 2020. [En ligne]. Disponible sur: http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/djebabra_mebarek/files/chapitre_2-84_2020.pdf
- [28]. HAOUES, « Cours Master II GRMSC: Gestion des Risques et Aménagement du Territoire ». [En ligne]. Disponible sur: http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/haoues_cherif/files/evaluation_risques.pdf
- [29] C. canadien d'hygiène et de sécurité au travail Gouvernement du Canada, « CCHST: Danger et risque - Évaluation des risques », 5 avril 2023. https://www.cchst.ca/oshanswers/hsprograms/hazard/risk_assessment.html (consulté le 10 juin 2023).
- [30] C. Valérie, L. Lise, et D. Marc, « La gestion des risques en santé publique au Québec : cadre de référence ». 2016. [En ligne]. Disponible sur: https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/2106_gestion_risques_sante_publique.pdf
- [31] K. Hassani, « Etude et analyse quantitative des risques de l'unité de récupération des gaz torchés RGTE », IN AMENAS-Edjeleh-sonatrach, 2017.
- [32] « Modèle de matrice des risques : évaluer efficacement les risques d'un projet pour assurer sa réussite [2023] • Asana ». <https://asana.com/fr/resources/risk-matrix-template> (consulté le 10 juin 2023).
- [33] « What Is Risk Management? 2023 - Ablison », 30 mars 2023. <https://www.ablison.com/what-is-risk-management/> (consulté le 10 juin 2023).
- [34] C. canadien d'hygiène et de sécurité au travail Gouvernement du Canada, « CCHST: Danger et risque - Hiérarchie des mesures de contrôle », 11 avril 2023. https://www.cchst.ca/oshanswers/hsprograms/hazard/hierarchy_controls.html (consulté le 10 juin 2023).
- [35] G, « L'analyse Préliminaire des Risques / Dangers (APR/D). », *QSE-France.com*, 1 juin 2005. <http://www.qse-france.com/lanalyse-preliminaire-des-risques-dangers-apr-d/> (consulté le 10 juin 2023).

- [36] A. Talon, « Analyse de risques : Identification et estimation : Démarches d'analyse de risques - Méthodes qualitatives d'analyse de risques - Méthode de l'Arbre des Conséquences ou Arbre d'Événement », 1 mars 2009. http://ressources.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_3_aurelie/co/Module_Etage_3_synthese_43.html (consulté le 10 juin 2023).
- [37] I. B. Santiago, « Elaboration de propriétés formelles de contrôleurs logiques à partir d'analyse prévisionnelle par Arbre des Défaillances ».
- [38] M. GUENNOUN, B. Dakkak, Y. Chater, et A. Talbi, « Etude comparative des différentes méthodes d'analyse des risques des installations industrielles », déc. 2012.
- [39] C-QSE, « AMDEC - Analyse des Modes de Défaillance leurs Effets et leur Criticité », *Certification QSE*, 5 décembre 2017. <https://www.certification-qse.com/methode-amdec/> (consulté le 10 juin 2023).
- [40] « Analyse de modes de défaillance, de leurs effets combinés et de leur criticité (AMDEC) ». [http://gpp.oiq.qc.ca/analyse_de_modes_de_defaillance,_de_leurs_effets_combines_et_de_leur_criticite_\(amdec\).htm](http://gpp.oiq.qc.ca/analyse_de_modes_de_defaillance,_de_leurs_effets_combines_et_de_leur_criticite_(amdec).htm) (consulté le 10 juin 2023).
- [41] « Méthodes HAZOP et What if - PREVINFO - Communauté - QHSE / HSE / QSE ». <https://www.previnfo.net/sections.php?op=viewarticle&artid=38> (consulté le 10 juin 2023).
- [42] J.-F. Takvorian, « Fiche-outil : la méthode noeud papillon (Bow-Tie) », *Infoqualité*, 29 septembre 2011. <https://www.infoqualite.fr/fiche-outil-la-methode-noeud-papillon/> (consulté le 10 juin 2023).
- [43] I. Olivier, « Nœud papillon : une méthode de quantification du risque », sept. 2020, [En ligne]. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/methodes-d-analyse-des-risques-42155210/n-ud-papillon-une-methode-de-quantification-du-risque-se4055/>
- [44] D. N. AMROUS, « Analyse par la méthode Nœud Papillon : Cas du séparateur primaire « Slug catcher » du Groupement Berkine – El Merk. », Ecole nationale polytechnique, 2015. [En ligne]. Disponible sur: <http://repository.enp.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/10344/1/AMROUS.Djamila-Nesrine.pdf>
- [45] « Évaluation de risques le long d'un itinéraire de transport de marchandises dangereuses (TMD) », 2018. <https://primarisk.ineris.fr/taxonomy/term/440>
- [46] « Analyse de risques type QRA – Quantitative Risk Assessment ». <https://www.odz-consultants.com/risques-industriels/qra/> (consulté le 10 juin 2023).

- [47] « Advantages of Quantitative Risk Assessment », *PI Planning Tool for Scaling Agile*, 15 juillet 2019. <https://kendis.io/risks-management/advantages-quantitative-risk-assessment/> (consulté le 10 juin 2023).
- [48] B. TOUAHAR, « Modelisation Et Simulation Numerique Pour La Dispersion Atmospherique De Polluant Application Des Logiciels : Aloha, Phast », Université Hadj Lakhdar - Institut D'hygiene Et Securite Industrielle, Batna, 2013. [En Ligne]. Disponible Sur: <Http://Eprints.Univ-Batna2.Dz/743/1/Hyg%20touahar%20bachir.Pdf>
- [49] L. Burel-Ebel, « Utilisation Du Modele Cameo/Aloha Comme Aide A La Gestion De Crise : Test Pratique De Sensibilite Des Variables », 2017. doi: 10.13140/RG.2.2.36777.75365.
- [50] I. DAHMANI et M. Brahmi, « Modélisation 3D de la dispersion du nuage de gaz par CFD », Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, 2020.
- [51] « Incendie et lieu de travail Prévention et organisation dans l'entreprise ». INRS ED 990 2e édition | septembre 2020 | 5000 ex. | ISBN 978-2-7389-2551-0, 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-990/ed990.pdf>
- [52] « Les phénomènes dangereux accidentels | Ineris ». <https://www.ineris.fr/fr/risques/comment-evaluer-risque/evaluer-risque-accidentel/phenomenes-dangereux-accidentels> (consulté le 10 juin 2023).
- [53] Groupe Sécurité Industrielle, « Guide-line Elaboration des études de dangers de groupe sonatrach », 03 juil. 04. [En ligne]. Disponible sur: http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/bourmada_noureddine/files/guideline-edd-sonatrach.pdf
- [54] A. BERRAR, « Gestion des risques par l'analyse préliminaire au sein de complexe GL1/K-Sonatrach », SKIKDA, 2017. [En ligne]. Disponible sur: <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/03/Berrar-Abderraouf.pdf>
- [55] M. d'HOOP Jean, « Sécurité incendie bâtiment », avr. 2002, [En ligne]. Disponible sur: <https://www-techniques-ingenieur-fr.snd11.arn.dz/base-documentaire/archives-th12/archives-securite-et-gestion-des-risques-tiase/archive-1/securite-incendie-batiment-se2050/>
- [56] Futura, « Définition | Combustible | Futura Sciences », *Futura*. <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-combustible-3604/> (consulté le 10 juin 2023).
- [57] Futura, « Définition | Comburant | Futura Sciences », *Futura*. <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-comburant-445/> (consulté le 10 juin 2023).
- [58] M. d'HOOP jean, « Sécurité incendie », p. 22, nov. 1994.

- [59] « Explosion sur le lieu de travail. Conditions de survenue et conséquences - Risques - INRS ». <https://www.inrs.fr/risques/explosion/conditions-survenue-consequences.html> (consulté le 10 juin 2023).
- [60] I. Olivier, « BLEVE – Causes et mesures de prévention », sept. 2020, [En ligne]. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/risques-d-explosion-evaluation-prevention-et-reglementation-42709210/bleve-causes-et-mesures-de-prevention-se5058/>
- [61] P. France, S. Chantal, et N. Anouk, « Origines pouvant mener à l'ébullition-explosion (BLEVE) | Le monde en images », 2020, [En ligne]. Disponible sur: <https://monde.ccdmd.qc.ca/ressource/?id=127071&demande=desc>
- [62] « Explosion de gaz en milieu ouvert (UVCE) ». 2014. [En ligne]. Disponible sur: <https://primarisk.ineris.fr/taxonomy/term/1455>
- [63] A. Gildas, R. Arnaud, et G. Eric, « plan de prévention des risque technologiques , caractérisation et réduction de la vulnérabilité du bati face à un phénomène dangereux technologique thermique ». juillet 2008. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/07/Thermique.pdf>
- [64] S. Patej, « Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques accidentels (DRA-35) BOILOVER ». 12 mars 2003.
- [65] <https://www.facebook.com/actu.fr>, « Non, les usines de la zone industrielle du Havre ne peuvent pas torcher comme elles veulent », *actu.fr*, 9 août 2018. https://actu.fr/normandie/le-havre_76351/non-industriels-zone-industrielle-havre-peuvent-torcher-comme-veulent_18108054.html (consulté le 11 juin 2023).
- [66] C. Christophe Tejedó, H. Colonel, et K. Marc, « Gaz combustibles liquéfiés et liquides inflammables », p. 60, mars 2004.
- [67] D. Provitolo, « Un exemple d'effets de dominos : la panique dans les catastrophes urbaines », *Cybergeo: European Journal of Geography*, nov. 2005, doi: 10.4000/cybergeo.2991.
- [68] « Ministère de l'Énergie | Algérie ». <https://www.energy.gov.dz/?article=recueil-des-textes-relatifs-aux-hydrocarbures> (consulté le 11 juin 2023).
- [69] « Protocole de Kyoto : objectifs, enjeux, signataires et bilan ». <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/protocole-de-kyoto> (consulté le 14 juin 2023).
- [70] Applus+, « Programs for LDAR Monitoring », <https://www.applus.com>. <https://www.applus.com/global/en/what-we-do/service-sheet/programs-for-ldar-monitoring> (consulté le 14 juin 2023).

- [71] « Reducing-Methane-Emissions_Equipment-Leaks_Guide_FR.pdf ». Consulté le: 14 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://methaneguidingprinciples.org/wp-content/uploads/2021/01/Reducing-Methane-Emissions_Equipment-Leaks_Guide_FR.pdf
- [72] « Caméra d'imagerie thermique pour la détection de gaz | Amperis ». <https://amperis.com/fr/recursos/articulos/camara-termografica-deteccion-gas/> (consulté le 14 juin 2023).
- [73] C. DJEDDI, « Evaluation des performances du système d'arrêt d'urgence ESD au niveau de l'unité RGTE », sonatrach.

Bibliographie des figure

- [1] *Fig.1.4-Diagramme de Farmer.* (n.d.). ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Diagramme-de-Farmer_fig3_323127112
- [2] *De la gestion des risques la gestion des risques financiers.* (n.d.). Veille.ma - Intelligence Comptitive. <https://www.veille.ma/De-la-gestion-des-risques-a-la-183.html>
- [3] Formatis. (n.d.). *SdF installations | Forma TIS.* <https://blog.formatis.pro/sdf-installations/>
- [4] *Quels outils pour l'identification et l'analyse des risques?* (n.d.). https://ressources.uved.fr/Grains_Module3/Analyse_risques/site/html/Analyse_risques/Analyse_risques.html
- [5] A. Talon, « Analyse de risques : Identification et estimation : Démarches d'analyse de risques - Méthodes qualitatives d'analyse de risques - Méthode de l'Arbre des Conséquences ou Arbre d'Événement », 1 mars 2009. http://ressources.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_3_aurelie/co/Module_Etage_3_synthese_43.html (consulté le 10 juin 2023).
- [6] Takvorian, J. (2023c). Fiche-outil : la méthode noeud papillon (Bow-Tie). *Infoqualité.* <https://www.infoqualite.fr/fiche-outil-la-methode-noeud-papillon/>
- [7] Triangle de feu Edward. (2022c). Les 3 éléments du triangle de feu. *Prof Innovant.* <https://www.profinnovant.com/triangle-de-feu/>
- [8] Weg. (2022b, May 6). *Moteurs en zone ATEX, réglementation et protections.* WEG France NEWS. <https://www.wegfrance.news/moteurs-electriques-en-ambiance-explosive-zone-poussieres/>

- [9] Ccdmd. (n.d.). *Origines pouvant mener l'bullition-explosion (BLEVE) | Le monde en images*. <https://monde.ccdmd.qc.ca/ressource/?id=127071&demande=desc>
- [10] Sas, E. (n.d.). *¿Qué es el Boilover?* ESSD SAS. <https://essd.com.co/blog/f/%C2%BFqu%C3%A9-es-el-boilover>
- [11] Non, les usines de la zone industrielle du Havre ne peuvent pas torcher comme elles veulent | 76actu. (2018, August 9). *actu.fr*. https://actu.fr/normandie/le-havre_76351/non-industriels-zone-industrielle-havre-peuvent-torcher-comme-veulent_18108054.html
- [12] Draeger.Web WWW - Draeger Master
https://www.draeger.com/fr_fr/Products/Surface-fires
- [13] presentation sonatrach dévition In-Amenas

Bibliographie des tableau

- [1] Asana, T. (2023b, February 23). *Modèle de matrice des risques : évaluer efficacement les risques d'un projet pour assurer sa réussite [2023]* • Asana. *Asana*. <https://asana.com/fr/ressources/risk-matrix-template>
- [2] « ISO 31010 ». 2019.
- [3] AMDEC cours de institue de maintenance et sécurité industriel(imsi) Université ORAN 2 Mohamed Ben Ahmed
- [4] Darques, A. N. / M. (n.d.). *Méthodes HAZOP et What if - PREVINFO - Communauté - QHSE / HSE / QSE*. Copyright - previnfo.fr - previnfo.net - Tous Droits Réservés 2004 -2021.
<https://www.previnfo.net/sections.php?op=viewarticle&artid=38#:~:text=Limites%20et%20avantages&text=En%20revanche%2C%20l'HAZOP%20permet,d%C3%A9li>
- [5] Region, T. (n.d.-b). *Ministère de l'énergie*.
<https://www.energy.gov.dz/?article=protection-de-lenvironnement-2>
- [6] Pondération des fréquences de fuite dans le cadre des analyses de risques industriels
<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/methodes-d-analyse-des-risques-42155210/ponderation-des-frequences-de-fuite-dans-le-cadre-des-analyses-de-risques-industriels-se5080/>

Annexe A : *Logiciel PHA :*

Définition :

Le PHA-Pro de Sphera offre un cadre, des méthodologies configurables et des flux de travail d'évaluation des risques pour aider les organisations à normaliser et enregistrer les données d'évaluation des risques et à garantir que les contrôles appropriés sont en place.

Le logiciel PHA-Pro est l'outil d'identification des dangers et d'évaluation des risques le plus reconnu et le plus respecté pour renforcer le processus d'évaluation des risques. Il permet d'identifier, d'évaluer et de contrôler l'impact des risques liés aux processus. Il est principalement utilisé dans les industries de traitement telles que le pétrole et le gaz, les produits chimiques et médicaments.

Pourquoi PHA:

Les incidents peuvent entraîner une perte de temps en raison de blessures, de pertes en capital et de production, dommages environnementaux et perte de réputation de l'entreprise au mieux litige. Les entreprises doivent tout mettre en œuvre pour respecter les réglementations et réduire les risques de processus en exécutant PHA. le logiciel offre une solution conviviale, flexible et basée sur les connaissances a évolué grâce à une utilisation commerciale extensive au cours de la dernière décennie pour répondre aux exigences de bon nombre des plus grandes entreprises du monde. C'est un logiciel éprouvé solution, avec des modèles PHA standard préformatés et une myriade de fonctionnalités qui sont conviviaux et intuitifs. En plus des bibliothèques préremplies, PHA-Pro vous permet de capturer le langage des évaluations de risques précédentes aider à construire des bibliothèques d'entreprise et promouvoir le partage des connaissances en assurant que l'expertise en ingénierie est conservée et accessible pour les évaluations futures

Avantage PHA :

- ✓ Rapports professionnels exportable en HTML, MSWord, MS Excel vous évitant d'avoir à répéter la saisie de données dans plusieurs feuilles de calcul.
- ✓ Un soutien international tel comme multi-langue et entrée de données de droite à gauche
- ✓ Aide à créer des feuilles matricielles qui élargissent vos capacités à inclure de nouveaux types de techniques d'évaluation des risques.
- ✓ Modèles préformatés - permet de gagner du temps lors de la création d'évaluations.
- ✓ Bibliothèques complètes - vous permet de raccourcir le temps d'étude et de tirer parti
- ✓ les meilleures pratiques
- ✓ Prise en charge multilingue - permet une collaboration plus efficace - anglais, Français, allemand, espagnol, portugais, japonais, chinois (simplifié), coréen Flexible et convivial
- ✓ Le logiciel vous permet également de personnaliser les feuilles de calcul et les formulaires de votre modèles existants, ainsi que créer de nouveaux modèles
- ✓ HAZOP et LOPA liés

Quelque étape de la simulation

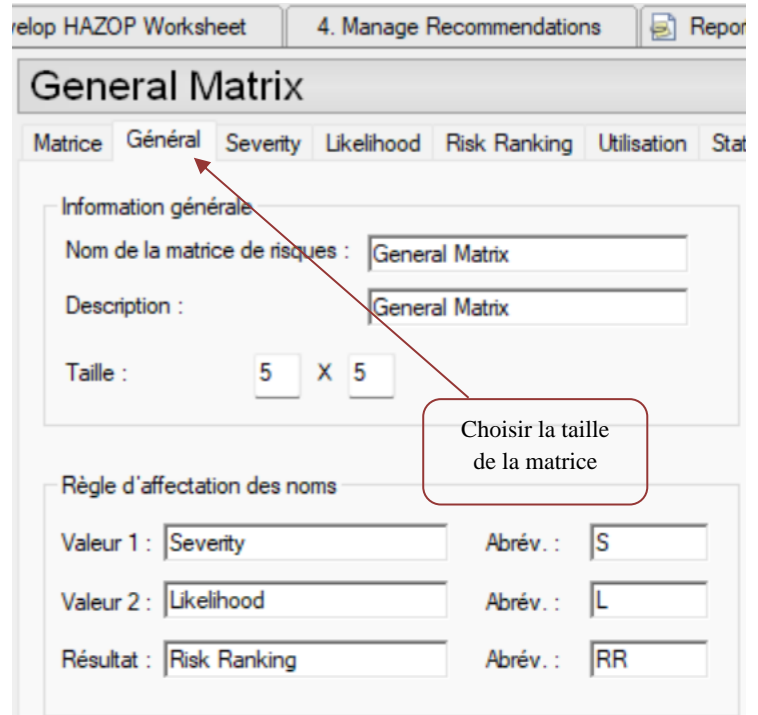
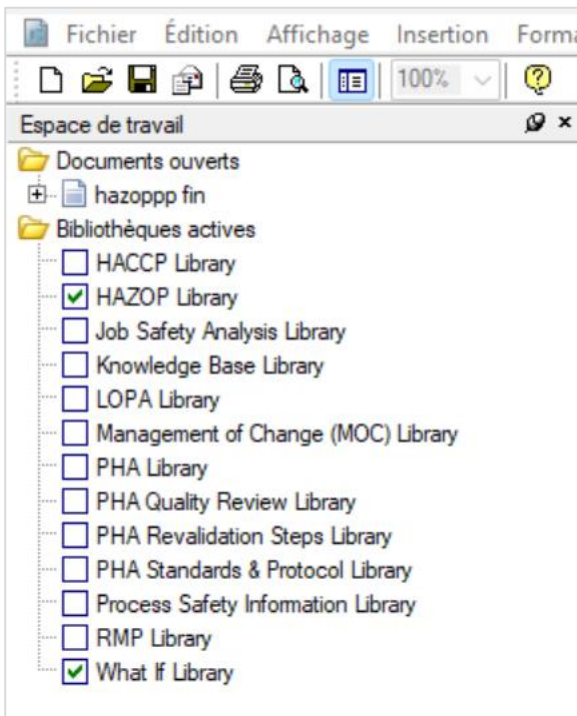


Figure 1: bibliothèques préremplies de PHA



violation	Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
			S	L	RR		
pression	1. soupape de refoulement du compresseur est bloqué	1. -ouverture de bypass de compresseur -explosion - BLEVE	5	C	C5	1. Détecteur de gaz. Détecteur de flamme. Monomètre	1. Maintenance régulière des capteurs de pression Et de gaz - Etalonnage et Equilibrage des soupapes de sécurité - Maintenance régulière
	2. le débit de gaz sortant du compresseur est diminuer	1. augmentation de pression	3	D	D3		
	3. vitesse réduite de la turbine à gaz	1. -débit du compresseur réduit et pression d'aspiration élevée	3	B	B3	1. Détecteur de gaz. Monomètre	4. Maintenance préventive et inspection régulière
	4. vanne de purge ouverte au démarrage	1. -haute pression dans la ligne d'aspiration -explosion -problèmes au niveau du système de régulation	3	B	B3	1. déteceure de gaz	
	5.						
	6. asperation excessive en gaz ou	1. une augmentation de la pression dans le refoulement	2	B	B2		
	7.	Explosion Incendie et Fire	5	C	C5		5. L'inspection périodique du système déluge pour le refroidissement et la réduction des flux thermique
	8. la pression de consigne de la section du ventilateur ou du compresseur est élevée	1. -éclatement du compresseur -explosion -surchauffe du compresseur	4	D	D4		
e pression	1. l'Ouverture non sollicitée de la vanne	1. -Perturbation du fonctionnement normal	3	B	B3		9. le manuel d'utilisation de la vanne et les autres équipements doit être mentionner

- Une fois les informations saisies, nous obtiendrons automatiquement le graphe

Annexes B : Logiciel PHAST Quelques étapes de la simulation

