



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 MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

Mise en œuvre d'une Étude QRA au niveau d'une installation industrielle

Présenté et soutenu publiquement par :

Nom et prénom :

- Mr. NADJOUÏ Akram Abdelhadi
- Mlle. GUENAOUI Wafaa Alaa

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme. HABBAR Chafika	MCA	Univ/Oran2 (IMSI)	Président
Mr. GUETARNI Islam Hadj Mohamed	MCB	Univ/Oran2 (IMSI)	Encadrant
Mme. SERAT Fatima Zohra	MCB	Univ/Oran2 (IMSI)	Examineur
Mr. NADJI Mohamed Amine	MAA	Univ/Oran2 (IMSI)	Invité

Année 2023/2024

REMERCIEMENT

Au nom de Dieu le Clément, le Tout Miséricordieux

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude à Dieu pour nous avoir dotés de tout ce que nous possédons, et pour nous avoir accordé la patience et le courage nécessaires tout au long de ces années d'étude.

Nos sincères remerciements vont à notre encadrant, Monsieur GUETARNI Islam Hadj Mohamed, pour avoir accepté de diriger et superviser la réalisation de ce mémoire. Nous saluons la qualité de son encadrement et la pertinence de ses conseils, ainsi que l'aide précieuse qu'il nous a apportée tout au long de ce projet.

Nous remercions également les membres du jury, Madame HABBAR Chafika, Madame SERAT Fatima Zohra et Monsieur NADJI Mohamed Amine pour avoir accepté de juger et critiquer ce travail, ainsi que tous ceux qui nous ont honorés de leur présence.

Nos remerciements vont également à toute l'équipe du service HSE pour leur accueil chaleureux et leur accompagnement sur le site de CPF TIGUENTOURINE AI. Nous exprimons également notre gratitude envers le service d'exploitation, le support technique et toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, permettant ainsi d'atteindre un niveau d'excellence.

Enfin, nous ne saurions oublier de remercier chaleureusement tous les membres de nos familles et nos amis pour leur soutien et leurs encouragements constants, avec une mention particulière pour nos parents.

DEDICACES

*À tous nos proches, dont le soutien nous a été indispensable, et qui
attendent avec impatience notre réussite.*

En espérant être à la hauteur de leurs attentes.

Mise en œuvre d'une Étude QRA au niveau des installations industrielles

Ce projet de fin d'études porte sur l'évaluation des scénarios catastrophiques dans les zones ATEX des sites pétroliers. Les zones ATEX sont des environnements où des atmosphères explosives peuvent se former, représentant un risque majeur pour la sécurité. L'objectif principal est de développer une étude Quantitative Risk Assessment (QRA) afin de mieux évaluer ces scénarios et de proposer des mesures de mitigation efficaces.

L'étude se concentre sur l'analyse des différents scénarios catastrophiques potentiels, tels que les émissions de gaz inflammables, les explosions de nuages de vapeur (VCE), et les feux de nappe (POOL FIRE). La méthodologie QRA permet de quantifier les risques en termes de probabilité et de conséquences, fournissant une base solide pour la prise de décisions en matière de sécurité.

Ce projet vise à renforcer la sécurité des sites pétroliers en proposant des mesures pratiques et adaptées pour réduire les risques associés aux scénarios catastrophiques.

Mots-clés :

- Scénarios catastrophiques
- Zones ATEX
- Étude Quantitative de Risques
- Sécurité

Implementation of a QRA Study at Industrial Facilities

This final year project focuses on the evaluation of catastrophic scenarios in ATEX zones of oil sites. ATEX zones are environments where explosive atmospheres can form, posing a major safety risk. The main objective is to develop a Quantitative Risk Assessment (QRA) study to better evaluate these scenarios and propose effective mitigation measures.

The study focuses on analyzing potential catastrophic scenarios such as flammable gas releases, vapor cloud explosions (VCE), and pool fires. The QRA methodology allows for quantifying risks in terms of probability and consequences, providing a solid basis for safety decision-making.

This project aims to enhance the safety of oil sites by proposing practical and tailored measures to reduce the risks associated with catastrophic scenarios.

Keywords:

- Catastrophic Scenarios
- ATEX Zones
- Quantitative Risk Assessment
- Safety

تنفيذ دراسة QRA في المنشآت الصناعية

بيئات ATEX في مواقع النفط. تعتبر مناطق ATEX يركز مشروع التخرج هذا على تقييم السيناريوهات الكارثية في مناطق يمكن أن تتشكل فيها أجواء انفجارية، مما يشكل خطرًا كبيرًا على السلامة. الهدف الرئيسي هو تطوير دراسة تقييم كمي لتقييم هذه السيناريوهات بشكل أفضل واقتراح تدابير فعالة للتخفيف منها (QRA) للمخاطر.

تركز الدراسة على تحليل السيناريوهات الكارثية المحتملة مثل إطلاق الغازات القابلة للاشتعال، انفجارات سحابة البخار قياس المخاطر من حيث الاحتمال والتبعات، مما يوفر أساسًا QRA تتيح منهجية (POOL FIRE)، وحرثق البرك (VCE) قويًا لاتخاذ قرارات السلامة.

يهدف هذا المشروع إلى تعزيز سلامة مواقع النفط من خلال اقتراح تدابير عملية ومصممة خصيصًا لتقليل المخاطر المرتبطة بالسيناريوهات الكارثية.

الكلمات المفتاحية*

- السيناريوهات الكارثية (Catastrophic Scenarios, Scénarios catastrophiques)
- مناطق ATEX (ATEX Zones, Zones ATEX)
- دراسة التقييم الكمي للمخاطر (Quantitative Risk Assessment, Étude Quantitative de Risques)
- السلامة (Safety, Sécurité)

TABLE DES MATIERES

Introduction Générale.....	1
CHAPITRE 01 : GENERALITE SUR L'ETUDE DE DANGER.....	3
Introduction	3
1. Notions de bases.....	4
1.1 Danger	4
1.1.1 Situation dangereuse (ISO 12100-1).....	4
1.1.2 Phénomènes dangereux	4
1.2 Risque	4
1.2.1 Risque majeur.....	5
1.2.2 Risque industriel.....	5
1.3 Dommage	5
1.4 Aléa.....	5
1.5 Accident.....	5
1.6 Accident majeur.....	5
1.7 Presqu'accident.....	5
1.8 Incident	6
1.9 Incident majeur	6
1.10 Etablissement	6
1.11 Installations	6
1.12 Effets dominos	6
1.13 Zone ATEX.....	6
2. Normes et cadre réglementaire.....	7
2.1 Présentation sur l'Etude de danger	7
2.2 Les Objectifs d'une étude de danger	7

3.	Décret exécutif n° 21-319 du 5 Muharram 1443 correspondant au 14 août 2021	8
3.1	Contenu de l'étude de danger	8
4.	Les scénarios catastrophiques et le phénomène dangereux dans les zones ATEX	9
4.1	Scénarios catastrophiques.....	9
4.1.1	Phénomènes instantanés.....	10
4.1.2	Un Phénomènes continus	14
5.	Retour d'expérience	16
5.1	Explosion de propane et fuite enflammée sur une cuve de GPL 03/12/2008 en France	16
5.2	BLEVE de sphères GPL dans une raffinerie suite à un séisme 11/03/2011 au Japon.....	16
5.3	Débordement d'un Bac d'un mélange d'hydrocarbures lourds dans une Raffinage du pétrole 19/12/2006 en France	17
5.4	Une fuite d'hydrocarbure causée par une défaillance du système de purge des eaux pluviales du toit flottant d'un réservoir de stockage- 29/12/2003 en France	18
5.5	Incendie d'un bac de stockage de pétroliers liquides dans une Raffinage du pétrole 06/07/1986 en Allemagne	18
	Conclusion.....	19
	CHAPITRE 02 : METHODOLOGIE L'ÉTUDE QRA.....	20
	Introduction	20
1.	Norme Organisation nationale de normalisation (ISO), Commission International Electrotechnique (IEC) 31010.....	21
1.1	Domaine d'application	21
1.2	Objectifs de la norme.....	21
1.3	Structure générale	21
1.4	Mise en œuvre de l'appréciation du risque	21
2.	Description des méthodes d'analyse prévisionnelle des risques	23
2.1	Méthodes qualitatives/ quantitatives	23
2.2	Méthodes statiques/ dynamiques	23

2.3	Méthodes inductives/ déductives.....	23
3.	Méthode d'analyse des risques.....	24
3.1	Méthode de HAZOP.....	24
3.1.1	Définition.....	24
3.1.2	Principe.....	24
3.1.3	Domaine d'application.....	24
3.1.4	Déroulement.....	24
3.2	Méthode de HAZID.....	25
3.2.1	Définition.....	25
3.2.2	Principe.....	25
3.2.3	Domaine d'application.....	25
3.2.4	Déroulement.....	25
3.3	Méthode de Arbre des Evènements.....	26
3.3.1	Définition.....	26
3.3.2	Principe.....	27
3.3.3	Domaine d'application.....	27
3.3.4	Déroulement.....	27
3.3.5	Exploitation de l'arbre.....	29
3.4	Méthode de Nœud Papillon.....	29
3.4.1	Définition.....	29
3.4.2	Principe.....	30
3.4.3	Domaine d'application.....	30
3.4.4	Déroulement.....	30
4.	Quantitative Risk Assessment (QRA).....	31
4.1	Présentation de la méthode QRA (Quantitative Risk Assessment).....	31
4.2	Aperçu sur QRA.....	33
4.3	Les étapes de l'approche QRA.....	33

4.3.1	Méthodologie détaillée.....	34
4.4	QRA vis avis étude de danger	35
4.4.1	Risque Individuel	36
4.4.2	Risque Sociétal.....	36
4.4.3	Zones à Risque	36
	Conclusion.....	37
	CHAPITRE 03 : PRESENTATION DE L'UNITE	38
	Introduction	38
1.	Présentation du champ gazier de TIGUENTOURINE « CPF »	39
1.1	Historique	39
1.2	Description de la région d'In Amenas.....	40
1.2.1	Situation géographique.....	40
2.	Fiche technique	41
2.1	Système d'évacuation par canalisation vers TRC	41
2.2	Description de l'exploitation à IA	42
2.2.1	Puits de production.....	42
2.3	Description générale des installations	43
2.3.1	Description sommaire de CPF d'IA.....	43
3.	Organisation de l'entreprise	45
3.1	Division HSE (Health Safety and Environment):.....	46
3.1.1	Service prévention.....	46
3.1.2	Service intervention.....	46
3.1.3	Service environnement.....	46
3.1.4	Service Médical.....	46
3.2	Division EP (Engineering Production):.....	47
3.3	Division Exploitation.....	47
3.4	Division Maintenance.....	47

3.5	Division Technical Support	47
4.	Chaîne de traitement du gaz humide	47
4.1	Refroidissement et séparation du gaz d'entrée	47
4.2	Désulfuration et démercurisation	48
4.2.1	But d'éliminer l'H ₂ S et l'Hg.....	48
4.2.2	But d'éliminer le CO ₂	48
4.3	Déshydratation.....	48
4.3.1	But d'éliminer le H ₂ O.....	48
4.4	Boîte froide et séparation.....	48
4.5	Turbo-Expandeur.....	49
4.6	Dééthaniseur	49
4.7	VRU (Unité de récupération de vapeur).....	49
5.	Chaîne de traitement des hydrocarbures liquides.....	49
5.1	Stabilisation du condensat (la stable)	49
5.2	Débutaniseur	50
5.3	Compression et expédition du gaz de vente (RGC)	50
6.	Section de stockage	50
6.1	Stockage du GPL	50
6.2	Stockage du condensat.....	51
7.	Les zones du champ gazier de TIGUENTOURINE « CPF »	51
8.	Identification des Systèmes à étudier	52
8.1	Stockage du GPL.....	52
8.1.1	Descriptions du procédé.....	52
8.1.2	Absorbeurs H ₂ S de GPL	53
8.1.3	Bac Stockage GPL On-Spec	53
8.1.4	Pompes Booster GPL Pipeline	54
8.1.5	Pompes Principales GPL Pipeline.....	54

8.1.6	Bac de Stockage GPL Off-Spec	54
8.1.7	Pompes Retraitement GPL	55
8.1.8	Pipeline Evacuation du GPL	55
8.2	Stockage du Condensat.....	56
8.2.1	Descriptions du procédé.....	56
8.2.2	Réservoirs de stockage de produit de condensât on-Spec	57
8.2.3	Pompes Booster de Pipeline de Produit Condensât.....	57
8.2.4	Pompes Principale Pipeline Produit Condensât	57
8.2.5	Skid de comptage fiscal de condensât.....	57
8.2.6	Ballon de dégazage de condensât.....	58
8.2.7	Réservoir de Condensât Off- Spec	58
8.2.8	Pompes Retraitement du Condensât.....	58
8.2.9	Réservoir de vidange de condensât	59
8.2.10	Pompes de vidange de Condensât	59
8.2.11	Pipeline d'évacuation de Condensât	59
9.	Les données météorologiques	60
10.	Cas de Défaillance.....	60
11.	Donnes de base équipe et charge de travail.....	61
	Conclusion.....	63
	CHAPITRE 04 : EVALUATION DU QRA	64
	Introduction	64
1.	Analyse de la cinétique des événements	65
2.	Présentation des différents scénarios catastrophiques et Analyse des conséquences sur PHAST	66
2.1	Scénarios des effets thermiques de Cigare de GPL On-Spec	66
2.1.1	Simulation du JET FIRE (feu chalumeau).....	66
2.1.2	Simulation du Late POOL FIRE (feu de nappe).....	68
2.1.3	Simulation du FIREBALL (boule du feu).....	69

2.2	Scénarios des effets de surpression de Cigare de GPL On-Spec.....	70
2.2.1	Simulation d'EXPLOSION (UVCE)	70
2.3	Scénarios des effets thermiques de Bac de Condensat On-spec.....	71
2.3.1	Simulation du Early POOL FIRE (feu de nappe)	71
2.3.2	Simulation du Late POOL FIRE (feu de nappe)	74
2.4	Scénarios des effets de surpression de Bac de Condensat On-spec	77
2.4.1	Simulation d'EXPLOSION (UVCE)	77
3.	Hypothèses générales pour la modélisation par simulation du logiciel de SAFETI.....	80
3.1	Description des données nécessaires	80
3.2	Les fréquences d'occurrences des fuites.....	80
3.3	Nombre de population	80
3.4	Les Probabilités d'ignition	81
3.4.1	Évaluation de risques	81
3.5	Risque individuel S1.....	81
3.6	Risque sociétal S1.....	82
3.7	Risque individuel S2.....	82
3.8	Risque sociétal S2.....	83
4.	Description des systèmes de prévention et de protection du CPF.....	84
4.1	Description du système d'inhibiteur de corrosion	84
4.2	Description du système d'arrêt d'urgence	84
4.2.1	Niveaux d'arrêt d'urgence.....	84
4.3	Description du système de dépressurisation	85
4.4	Description du système de détection Feu & Gaz.....	86
4.4.1	Protocole de détection de feu et de gaz	86
4.5	Détection de feu et de gaz au CPF existante d'IA.....	87
4.5.1	Zones de traitement de CPF	87
4.5.2	Bâtiments industriels et bureaux (BIB)	88

4.6	Description du système anti-incendie.....	88
4.6.1	Protection passive contre l’incendie.....	88
4.6.2	Protection active contre l’incendie.....	89
4.7	Description de l’alimentation de secours.....	92
4.8	Description du système de contrôle et communications	93
4.8.1	Système de contrôle et de surveillance	94
4.8.2	Système de détection des fuites sur les canalisations.....	95
4.9	Description des équipements de protection personnelle.....	95
4.9.1	Douches de sécurité et postes de rinçage oculaire	95
4.9.2	Description de l’intervention d’urgence, sorties de secours, systèmes d’évacuation et de sauvetage	95
4.9.3	Description des installations médicales.....	96
5.	Nœud Papillon du cigare de GPL On-spec	97
6.	Nœud Papillon du Bac du Condensat On-spec	98
	Conclusion.....	99
	Conclusion Générale	100
	BIBLIOGRAPHIE	101
	ANNEXES	103

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma de processus d'apparition d'un dommage.....	4
Figure 2 : Schéma explicatif du phénomène d'EXPLOSION.....	10
Figure 3 : Schéma explicatif du phénomène BLEVE.	11
Figure 4 : Schéma explicatif du phénomène FEU DE FLASH.	12
Figure 5 : Schéma explicatif du phénomène BOIL OVER.	13
Figure 6 : Schéma explicatif du phénomène JET FIRE.	14
Figure 7 : Schéma explicatif du phénomène FEU DE NAPPE.	15
Figure 8 : BLEVE de sphères GPL dans une raffinerie suite à un séisme du Japon.	17
Figure 9 : Exemple de la méthode d'Arbre des évènements.	29
Figure 10 : Schéma de la méthode du nœud papillon.	30
Figure 11 : La méthodologie suit l'approche classique d'un QRA.	32
Figure 12 : Les étapes de l'approche QRA.....	35
Figure 13 : Champ de production de TIGUENTOURINE à In Amenas.....	40
Figure 14 : Système d'admission et d'évacuation par canalisation.	42
Figure 15 : Situation des puits et réseau de collecte.	42
Figure 16 : Organigramme fonctionnel simplifié du CPF d'IA.....	45
Figure 17 : Organisation de l'entreprise du CPF d'IA.....	45
Figure 18 : Structure de département HSE.	46
Figure 19 : Plan d'ensemble des zones de risques.....	51
Figure 20 : Système de stockage de GPL.	52
Figure 21 : Stockage de GPL (les cigares).....	55
Figure 22 : Système de stockage du condensat.....	56
Figure 23 : Stockage de condensat on-spec.	59
Figure 24 : Rose des vents général Région d'IA.	60

Figure 25 : Simulation du JET FIRE de cigare de GPL, Moyenne Fuites.....	66
Figure 26 : Simulation du JET FIRE de cigare de GPL, Large Fuites	66
Figure 27 : Simulation du Late POOL FIRE de cigare de GPL, Catastrophe rupture.....	68
Figure 28 : Simulation du FIREBALL de cigare de GPL, Catastrophique rupture.....	69
Figure 29 : Simulation d'EXPLOSION de cigare de GPL, Catastrophique rupture.....	70
Figure 30 : Simulation du Early POOL FIRE du Bac de Condensat, Petite Fuite.	71
Figure 31 : Simulation du Early POOL FIRE du Bac de Condensat,.....	72
Figure 32 : Simulation du Early POOL FIRE du Bac de Condensat,.....	72
Figure 33 : Simulation du Late POOL FIRE du Bac de Condansat, Petit Fuites.	74
Figure 34 : Simulation du Late POOL FIRE du Bac de Condansat, Moyenne Fuites.	74
Figure 35 : Simulation du Late POOL FIRE du Bac de Condensat,	75
Figure 36 : Simulation du Late POOL FIRE du Bac de Condensat,	75
Figure 37 : Simulation d'EXPLOSION du Bac de Condensat, Moyenne Fuite	77
Figure 38 : Simulation d'EXPLOSION du Bac de Condensat, Catastrophe rupture	77
Figure 39 : Schéma explicatif de la relation entre PHAST et SAFETI.	79
Figure 40 : Simulation de Risque Individuel S1	81
Figure 41 : Graphe de Risque Sociale S1.	82
Figure 42 : Simulation de Risque Individuel S2.....	83
Figure 43 : Graphe de Risque Sociale S2	83
Figure 44 : Nœud Papillon du Cigare de GPL On- Spec.....	97
Figure 45 : Nœud Papillon du Bac du Condensat On-Spec.....	98

TABLE DES TABLEAUX

Table 1 : Méthode d'analyse HAZOP.	25
Table 2 : Méthode d'analyse HAZID.	26
Table 3: Exemple de tableau définissant les fonctions de sécurité.....	28
Table 4 : Spécifications du GPL.....	53
Table 5 : Spécifications du Condensat.....	56
Table 6 : Les données météorologiques du CPF.....	60
Table 7 : Les tailles de fuite représentatives.....	60
Table 8 : Données de base équipes et charge de travail.....	61
Table 9: Les données de simulation de cigare de GPL.....	66
Table 10 : Les résultats de simulation du JET FIRE de cigare de GPL.....	67
Table 11 : Les résultats de simulation du Late POOL FIRE de cigare de GPL.	68
Table 12 : Les résultats de simulation du FIREBALL de cigare de GPL.....	69
Table 13 : Les résultats de simulation d'EXPLOSION de cigare de GPL.....	70
Table 14 : Les données de simulation du Bac de Condensat.....	71
Table 15 : Les résultats de simulation Early POOL FIRE du Bac de Condensat.....	73
Table 16 : Les résultats de simulation du Late POOL FIRE du Bac de Condensat.	76
Table 17 : Les résultats de simulation d'EXPLOSION du Bac de Condensat.....	78
Table 18 : Les fréquences des fuites.....	80
Table 19 : Nombre de population.	80
Table 20 : Probabilités d'ignition	81
Table 21 : Systèmes de détection de feu et de gaz existants au CPF.....	87
Table 22 : Systèmes de détection de feu et de gaz existants au CPF.....	88
Table 23 : PAI au CPF d'IA	89
Table 24 : Dispositions concernant les extincteurs d'incendie.....	92

ACRONYMES

ADD	Arbre de Défaillance
ADE	Arbre D'Événement
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets et de leur Criticité
APR	Analyse Préliminaire des Risques
ATEX	Atmosphère Explosif
BdV	Base de Vie
BIB	Bâtiments Industriels et Bureaux
BLEVE	Explosion de vapeur en expansion de liquide en ébullition
BP	British Petroleum
CCR	Salle des commandes centrale
CCTV	Système d'enregistrement télévisé en circuit fermé
CMS	Système de surveillance et de contrôle
CPF	Central Processing Facility / Installation de traitement
CR	Control Room / Salle de contrôle
CSE	Concept Safety Evaluation / Évaluation de Sécurité Conceptuelle
CWAA	Central Waste accumulation Area / Zone Centrale d'Accumulation des Déchets
EDD	Etudes de Dangers
ENI	Ente nazionale idrocarburi (Italie)
EP	Engineering Production / Production d'Ingénierie
EPI	Equipement de Protection Individuelle
ERP	Plan de réponse aux urgences
ERT	Emergency Response Team / Equipe de réponse aux urgences
ESD	Emergency Shutdown / système d'arrêt d'urgence
ESDV	Clapet d'arrêt d'urgence
FD	Fire Dos
F&G	Incendie et Gaz
GA	Alarme générale
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
HAZID	Hazard Identification / Identification des Dangers
HAZOP	Hazard and opérabilité / Analyse des Risques et de l'Opérabilité
HSE	Health, Safety and Environment / Santé, Sécurité et Environnement
HVAC	Chauffage, Ventilation, Air Conditionnement
IA	In Amenas
ICS	Systèmes de contrôle industriel

IEC	Commission International Electrotechnique
ISO	Organisation nationale de normalisation
IR	Infrarouge
LIE	Limite Inférieur d'Explosivité
MAEs	Événements Majeurs d'Accidents Potentiels
MMI	Interface Homme Machine
MTU	Unité de traitement / terminale maîtresse
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series / Série d'Évaluation de la Santé et de la Sécurité au Travail
PAI	Protection Active contre l'Incendie
PAM	Points d'alerte manuels
PAM	Plan d'Assistance Mutuelle
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
PID	Proportionnel intégral dérivé
PHAST	Process Hazard Analysis Software Tool
PII	Plan d'Intervention Interne
PLL	Perte potentielle de vie
POI	Plan d'Organisation des Secours
PPI	Protection Passive Incendie
PPI	Plan Particulier d'Intervention
Ppm	Particule par million.
PRA	Évaluation Probabiliste des Risques
PSA	Évaluation Probabiliste de la Sécurité
QRA	Quantitative Risk Assessment
RGC	Compression et expédition du gaz de vente
RTU	Unités terminales à distance
SAFETI	Safety Analysis Framework for the Evaluation of Technology and Installation
SCADA	Commande de surveillance et acquisition de données
SCC	Salle de contrôle des compresseurs locale
SCI	Système de commandement en cas d'incident
SCL	Salles de commutation locales
SIE	Sûreté Interne d'Entreprise
SIS	Safety Instrumented System / Système Instrumenté de Sécurité
SONATRACH	Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures.

<i>TRA</i>	Analyse Totale des Risques
<i>TRC</i>	Transport par Canalisation
<i>UV</i>	Ultraviolet
<i>UVCE</i>	Unconfined Vapour Cloud Explosion / Explosion d'un Nuage de Vapeur Non Confiné
<i>VCE</i>	Vapour Cloud Explosion / Explosion de nuage de vapeur
<i>VRU</i>	Unité de Récupération de Vapeur

Introduction Générale

Les sites pétroliers sont des environnements industriels complexes où la sécurité est une priorité absolue en raison des risques inhérents liés à la présence de substances dangereuses. Les zones ATEX (Atmosphères Explosives) représentent des secteurs où les mélanges de substances inflammables avec l'air peuvent provoquer des explosions en cas d'inflammation. Ces zones nécessitent une attention particulière pour prévenir et gérer les scénarios catastrophiques tels que les émissions, incendies et explosions majeures.

Un scénario catastrophique dans les zones ATEX peut inclure une émission incontrôlée de gaz inflammable, une explosion de vapeur (VCE), ou un feu de nappe (POOL FIRE). Ces événements peuvent entraîner des dangers graves, immédiats ou différés, pour les travailleurs, la population environnante et l'environnement. Par exemple, une explosion de nuage de vapeur (VCE) peut causer des surpressions élevées, entraînant des blessures mortelles et des dommages significatifs aux structures. Les phénomènes instantanés tels que les explosions ou les phénomènes à effets continus comme les feux prolongés sont des manifestations typiques de ces scénarios dans les zones ATEX.

Faire face à ces scénarios catastrophiques présente plusieurs défis. La complexité technique de la prévention et de l'intervention dans les zones ATEX requiert des mesures de sécurité intégrées, une surveillance constante et des protocoles d'intervention rapides. Les erreurs humaines, la défaillance des équipements de sécurité, et les conditions environnementales imprévisibles ajoutent aux difficultés de gestion de ces risques. De plus, la diversité des substances dangereuses et leurs interactions possibles compliquent davantage la prévision et la mitigation des incidents potentiels.

La problématique centrale de ce projet de fin d'études est de déterminer la meilleure méthodologie pour consolider et compléter l'étude de danger existante afin d'améliorer l'évaluation des scénarios catastrophiques en prenant en considération le risque individuel et le risque sociétal.

L'objectif principal est de développer une étude Quantitative Risk Assessment (QRA) robuste et détaillée, permettant une évaluation plus précise des risques associés aux scénarios catastrophiques dans les zones ATEX. Cette approche visera à proposer des mesures adéquates et pratiques pour réduire la probabilité d'occurrence et limiter les conséquences de tels incidents par l'utilisation de la méthode nœud papillon.

En résumé, ce projet de fin d'études vise à renforcer la sécurité des installations pétrolières en zones ATEX par une analyse approfondie des scénarios catastrophiques et le développement de stratégies de gestion des risques efficaces et adaptées aux réalités opérationnelles des sites pétroliers.

De ce fait, ce projet se divise en quatre chapitres. Les deux premiers chapitres apportent une base théorique sur les notions essentielles concernant la gestion des risques. Ils couvrent la réglementation, le retour d'expérience, les méthodes d'analyse des risques, l'étude de danger ainsi que la méthodologie de mise en œuvre de la méthode QRA.

En ce qui concerne la partie pratique, le premier chapitre présente en détail le cas d'étude du complexe de TIGUENTOURINE, en décrivant ses différents procédés. Le dernier chapitre se concentre sur les résultats des scénarios catastrophiques, y compris les résultats de l'analyse QRA des risques individuels et sociétaux. Il se termine par l'utilisation du nœud papillon pour résumer les différentes mesures de sécurité, qu'elles soient préventives ou d'intervention.

CHAPITRE 01 : GENERALITE SUR L'ETUDE DE DANGER

Introduction :

La maîtrise des risques et des dangers est une composante essentielle de la sécurité industrielle et environnementale, en particulier dans les secteurs où les activités peuvent avoir des conséquences graves pour la santé humaine, l'environnement et les infrastructures, comme le secteur pétrolier. Dans ce chapitre, nous explorons les notions générales de risques et de dangers selon les normes ISO et la réglementation algérienne. Nous mettrons en lumière les scénarios catastrophiques potentiels et l'importance cruciale de l'étude de danger selon le décret algérien. Nous intégrerons également un retour d'expérience sur des scénarios catastrophiques dans le domaine de l'oil and Gas afin d'illustrer les leçons apprises et les améliorations mises en œuvre. Ce chapitre vise à offrir une compréhension approfondie des fondamentaux de la gestion des risques.

1. Notions de bases :

1.1 Danger :

Le danger représente la propriété intrinsèque inséparable, continue, d'une substance, d'une tâche donnée, d'un système technique, d'un dispositif ou d'un organisme. Capable d'entraîner un dommage sur la santé des individus, de causer des dommages aux biens ou à l'environnement.[1]

1.1.1 Situation dangereuse (ISO 12100-1) :

Situation dans laquelle une personne est exposée à un ou plusieurs dangers. L'exposition peut entraîner un dommage, immédiatement ou à plus long terme.[2]

1.1.2 Phénomènes dangereux :

Le phénomène dangereux spécifie généralement une source potentielle de dommage. Ce nom désigne toutes les sources et tous les facteurs qui ont pu contribuer à la création du danger. Donc, les arêtes vives sont dangereuses, mais ne provoquent pas nécessairement de dommages.[3]

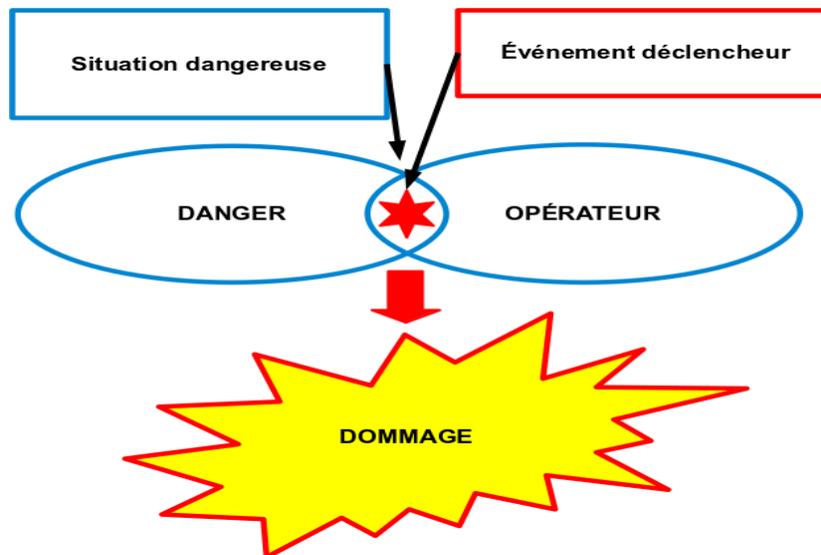


Figure 1 : Schéma de processus d'apparition d'un dommage.

1.2 Risque :

C'est la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition à un danger. Il est lié à deux paramètres : la gravité de ses conséquences et la probabilité qu'il se produise. Plus la gravité et la probabilité d'un événement sont élevées, moins le risque est élevé.[2]

1.2.1 Risque majeur :

Un risque majeur se définit comme la survenue soudaine et inopinée, parfois imprévisible, d'une agression d'origine naturelle ou technologique dont les conséquences pour la population sont dans tous les cas tragiques en raison du déséquilibre brutal entre besoins et moyens de secours disponibles.[2]

1.2.2 Risque industriel :

Un risque industriel est un événement accidentel qui se produit sur un site industriel et entraîne des conséquences immédiates graves pour le personnel, les biens et l'environnement.[4]

1.3 Dommage :

Les dommages sont les conséquences péjoratives d'un phénomène (accident, catastrophe) sur les biens (dégâts), les activités (perturbations) et les personnes (préjudices) et l'environnement (Pollution).[5]

1.4 Aléa :

L'aléa est un événement identifiable, mais dont la probabilité d'apparition n'est pas quantifiable. Qui peut provenir de réglementations, de contraintes techniques, naturelles ou institutionnelles. Il peut être hiérarchisé en plusieurs niveaux en croisant l'intensité des phénomènes et la probabilité d'occurrence.[2], [6]

1.5 Accident :

Événement ou suite d'évènements imprévus est soudain du fait du travail ou pendant le travail associé aux opérations du site industriel entraînant des dommages matériels et/ou corporels et/ou environnementaux.

Cet événement est, à son tour, produit par une perturbation d'un ou plusieurs facteurs liés aux éléments de leur situation ou de leur interaction.[1], [2]

1.6 Accident majeur :

Un accident est appelé majeur ou catastrophique lorsqu'il a causé un nombre élevé de victimes, blessés ou morts, et des dégâts importants tout autour ; qui nécessite une mise en place d'importants moyens de secours et d'interventions diverses ; et qui a conduit à une pollution permanente ou sur une longue durée avec des dégâts importants, souvent irréversibles.[7]

1.7 Presqu'accident :

Un événement non souhaité qui, en des circonstances sensiblement différentes, aurait pu blesser des personnes, endommager une propriété et/ou l'environnement, ou qui aurait pu causer une perte d'activité.[8]

1.8 Incident :

Événement indésirable de caractère secondaire n'entraînant pas des lésions corporelles, mais peut perturber le déroulement normal de travail et conduisant des dommages pour les installations, matériels, processus industriels ou pour l'environnement.[9]

1.9 Incident majeur :

Événement survenu au cours du travail, entraînant des interruptions importantes pour l'entreprise. Mais n'ayant pas entraîné de lésions corporelles graves. Défini par un incendie majeur, une explosion et une perte matérielle considérable.[8]

1.10 Etablissement :

L'ensemble de la zone placée sous le contrôle d'un exploitant où des substances dangereuses se trouvent dans une ou plusieurs installations, y compris les infrastructures ou les activités communes ou connexes.[8]

1.11 Installations :

Unité ou ensemble d'unités, permettant la conduite des activités hydrocarbures, sur terre ou en mer, sous la responsabilité d'un exploitant.[10]

1.12 Effets dominos :

Il s'agit du risque multiplicateur que constitue la présence sur un même site de plusieurs installations à risques qui pouvant présenter en raison de leur localisation les uns par rapport aux autres ou les interactions entre eux (action d'un premier phénomène qui pourrait en déclencher un second dans une installation avoisinante).[2]

1.13 Zone ATEX :

Une zone ATEX est tout simplement un endroit dans lequel le risque explosif est important, c'est-à-dire où il y a présence de matières inflammables. Le risque est déterminé par la nature et la quantité de substances inflammables présentes. Plus elles sont en grand nombre et dangereuse, plus la zone ATEX est considérée comme étant à risque explosif important.[11]

2. Normes et cadre réglementaire :

2.1 Présentation sur l'Etude de danger :

Une étude de dangers (EDD) est un document technique qui présente la principale source d'informations sur les situations dangereuses; il s'agit d'une étude approfondie sur la nature et l'environnement des installations industrielle ainsi que leur environnement avoisiné; il vise à identifier, évaluer et classer tous les risques qui peuvent donner un lieu dans un siège industriel, ainsi qu'à décrire et estimer les effets des accidents (explosions/incendies, fuites des matières toxiques, pollution, ...etc.) présente en cas de dysfonctionnement ou un sinistre dans le territoire industriel peut importer les causes.[1]

2.2 Les Objectifs d'une étude de danger :

La réalisation d'une étude de danger a pour objets de donner une vision globale sur tous les risques industriels liés aux différentes activités présentes dans l'entreprise, lesquels présente une menace sur les personnes, les biens, ainsi que l'environnement, et que les réalisateurs des projets doivent les ciblés pour obtenir l'autorisation de lancer le fonctionnement de leurs industries.

- Elle contribue à la maîtrise des paramètres essentiels du risque identifiés :
 - La probabilité d'occurrence pour prévenir la survenance des événements indésirables,
 - La gravité pour atténuer les dommages si le risque est déjà présent.
- Développer ou de mettre à jour la structure d'intervention et les plans d'urgence avec les exigences récentes et moderne de la sécurité.
- La mise en évidence de tous les dangers existants, et informer les personnels au travail à leur sujet et sur la manière de les prévenir en cas d'accident.
- Identifier les barrières de sécurité appropriée et les plans d'actions les plus adaptés à chaque site industriel.
- Aide à améliorer la performance des moyens de secours, et à prendre la bonne décision en matière de prévention des risques industriels.
- Contribue au management des risques et des situations dangereuses.
- Favoriser la communication transparente en matière sécurité et protection de l'environnement avec les autorités et les parties prenantes, en leur fournissant des éléments d'appréciation clairs sur les risques.[3]

3. Décret exécutif n° 21-319 du 5 Muharram 1443 correspondant au 14 août 2021

Décret exécutif relatif au régime d'autorisation d'exploitation spécifique aux installations et ouvrages des activités d'hydrocarbures ainsi que les modalités d'approbation des études de risques relatives aux activités de recherche et leur contenu.

3.1 Contenu de l'étude de danger :

1. Présentation générale du projet ;
2. Description de l'environnement immédiat du projet et du voisinage potentiellement affecté en cas d'accident en recensant les activités, les établissements voisins, les zones, les aménagements et les ouvrages susceptibles d'être à l'origine, ou d'accroître le risque ou les conséquences, d'un accident majeur et d'effets domino ;
3. Description du projet et ses différentes installations (implantation, taille et capacité, accès, choix du procédé retenu, fonctionnement, produits et matières mis en œuvre ...) en se servant au besoin de cartes (plan d'ensemble, plan de situation, plan de masse, plan de mouvement) ;
4. Evaluation de l'accidentologie avec l'analyse du retour d'expérience des installations similaires ;
5. Description de la démarche et des méthodes d'identification, d'analyse et d'évaluation des risques et des conséquences en justifiant les outils ou modèles de calcul utilisés ;
6. Identification de tous les facteurs de risques générés par l'exploitation de chaque installation ou ouvrage considéré(e). Cette identification doit tenir compte des facteurs intrinsèques et extrinsèques auxquels la zone est exposée ;
7. Analyse des risques et leurs conséquences inhérentes à l'exploitation de l'installation ou de l'ouvrage afin de déterminer de façon exhaustive leurs effets, pouvant survenir en leur attribuant une cotation en termes de gravité et de probabilité. Cette analyse doit : identifier de façon exhaustive tous les risques ; contenir les travaux de modélisation ; cartographier les scénarios majorants pouvant survenir ; attribuer une cotation en termes de gravité et de probabilité permettant de les hiérarchiser ;
8. Analyse des effets domino pouvant survenir ;
9. La hiérarchisation des risques en fonction de la cotation attribuée ;
10. Analyse des impacts potentiels en cas d'accidents sur les populations (y compris les travailleurs au sein de l'installation ou de l'ouvrage), sur l'environnement ainsi que les impacts économiques et financiers prévisibles ;

11. Descriptif des mesures de prévention et de protection afin de réduire la probabilité d'occurrence et limiter les conséquences d'un accident majeur, comprenant les éléments suivants :
 - Descriptif des paramètres techniques et des équipements installés pour la sécurité intégrée des ouvrages et des installations ;
 - Description des équipements et des dispositifs de sécurité mis en place pour limiter les conséquences d'accidents majeurs pour préserver la santé et la sécurité des personnes, la protection des installations et de l'environnement ;
 - Description de toute mesure technique et non technique utile pour la réduction des conséquences d'un accident majeur.
12. Registre des risques majeurs contenant les résultats de l'analyse qualitative des risques, de l'analyse quantitative des risques et la planification de la réponse aux risques ;
13. La conclusion générale qui doit porter sur l'acceptabilité des scénarios ainsi que les moyens envisagés par l'exploitant pour la maîtrise du risque ;
14. Résumé non technique de l'étude ;[10]

4. Les scénarios catastrophiques et le phénomène dangereux dans les zones ATEX

4.1 Scénarios catastrophiques :

Une catastrophe, telle qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure, est un événement résultant de développements incontrôlés survenus au cours du déroulement d'une activité. Industrielle, entraînant un danger grave, immédiat ou différé, pour les travailleurs, la population ou l'environnement à l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation et mettant en faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses.[7]

Un scénario catastrophique indique le chemin de l'événement initial jusqu'à l'événement redouté principal, et ensuite vers le phénomène. En d'autres termes, il ne se produit qu'à travers la conjonction de plusieurs événements sous certaines conditions, ce qui engendre le phénomène dangereux.[1]

On peut distinguer deux types de phénomènes dangereux dans le domaine des hydrocarbures :

- Phénomènes instantanés.
- Phénomènes à effets continus.

4.1.1 Phénomènes instantanés

Ce sont les phénomènes thermiques qui se produisent en un instant ou de manière très rapide. Ces phénomènes peuvent être classés en transformations simples et complexes, et dont les effets engendrés sont importants (catastrophe).[12]

Parmi les phénomènes instantanés, on peut citer :

4.1.1.1 EXPLOSION ou UVCE :

L'explosion d'un nuage de vapeur est la conséquence d'un rejet continu dans l'atmosphère, d'une phase de dispersion subséquente et, après un certain délai, d'une ignition du nuage de vapeur. Le nuage de gaz brûlant développe des surpressions élevées qui sont susceptibles d'entraîner la mort ou des blessures graves pour quiconque est présent dans la zone touchée et peuvent aussi gravement endommager les structures en acier.[[13], [14]

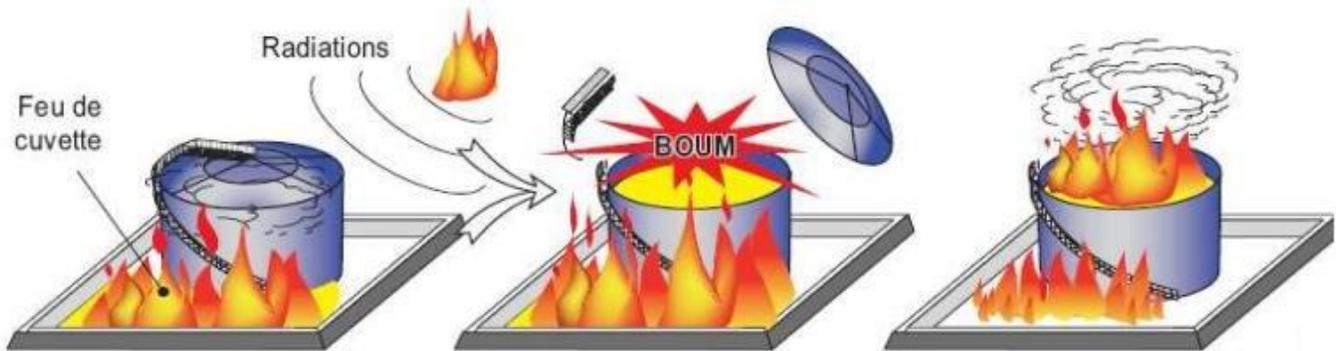


Figure 2 : Schéma explicatif du phénomène d'EXPLOSION.[14]

4.1.1.1.1 Les causes de l'EXPLOSION :

- Pression excessive due à la chaleur ou aux réactions chimiques.
- Ignition par une source de chaleur ou une étincelle.
- Réactions chimiques générant de la chaleur et des gaz.
- Défaillance des équipements de sécurité.
- Erreurs humaines dans la manipulation ou la surveillance.
- Stockage inapproprié de produits chimiques [15]

4.1.1.1.2 Les effets de l'EXPLOSION :

- Une réaction de combustion dans le régime de l'explosion est extrêmement rapide. Elle donne lieu à une augmentation brutale de pression (provoquant un effet de souffle) accompagnée de flammes.
- Cette surpression brutale a des effets dévastateurs, aussi bien sur l'homme et les constructions. [15]
- La zone de flamme peut envahir un volume dix fois supérieur à celui de l'atmosphère explosive initiale

4.1.1.2 BLEVE :

C'est une abréviation anglaise signifie *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*, cela veut dire en français "Explosion De Vapeur En Expansion De Liquide Bouillant" Définie comme vaporisation violente à caractère explosif consécutif à la rupture d'un réservoir contenant un liquide (gaz liquéfié) à une température d'ébullition.

Le BLEVE peut survenir avec tout type liquide (gaz liquéfié) inflammable ou par lorsqu'il est chauffé dans une ancêtre fermée hermétique.[16]

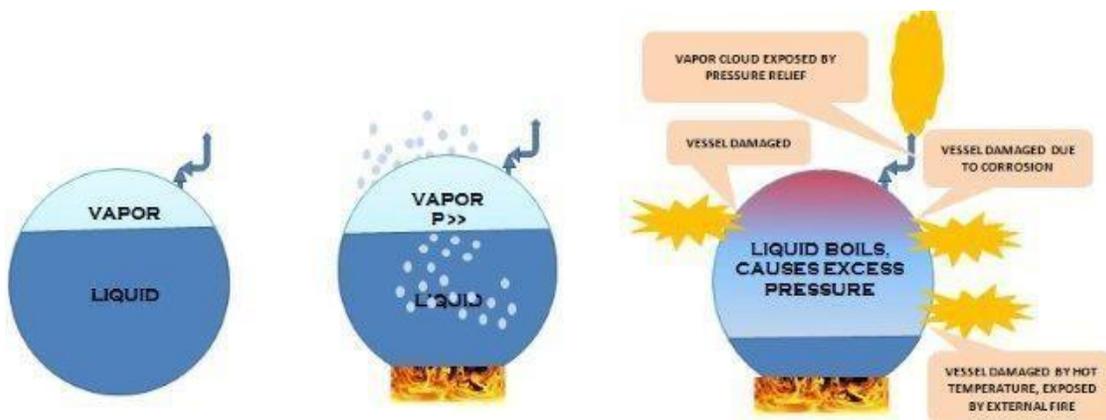


Figure 3 : Schéma explicatif du phénomène BLEVE. [1]

4.1.1.2.1 Les causes du BLEVE :

Les causes peuvent être :

- Un jet enflammé léchant la paroi du réservoir au-dessus du liquide.
- L'abaissement du niveau du liquide suite a une fuite ou à l'ouverture des soupapes.
- L'impact d'un projectile.
- Une pression excessive avec rupture d'un cordon de soudure.
- Excès de pression par sur remplissage ou défaillance de la soupape de sécurité.[17]

4.1.1.2.2 Les effets du BLEVE :

Le BLEVE est une explosion physique dont les dangers sont :

- L'onde de souffle (détonation).
- Le rayonnement thermique (boue de feu).
- La projection de fragments.[17]

4.1.1.3 FEU DE FLASH (Flash Fire):

Un feu flash, ou "FLASH FIRE" en anglais, est un phénomène dangereux qui se produit lorsqu'un mélange inflammable de gaz, de vapeur ou de particules combustibles dans l'air s'enflamme rapidement. Cet incendie prend la forme d'un éclair instantané résultant de la combustion d'un rejet continu, qui s'embrase instantanément sans explosion suite à une ignition retardée. Le phénomène se propage à travers une atmosphère contenant des substances inflammables et, délimité par la limite inférieure d'explosivité (LIE), il peut être létal pour le personnel et endommager les structures en acier.[1], [15]

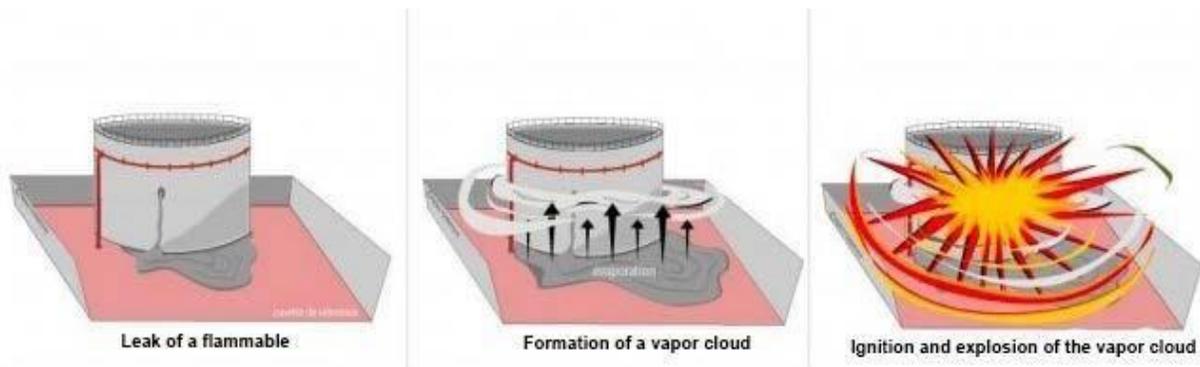


Figure 4 : Schéma explicatif du phénomène FEU DE FLASH.[1]

4.1.1.3.1 Les causes de FEU DE FLASH (Flash Fire) :

- Une émission des vapeurs due à une fuite d'un produit combustible liquéfié, formant un nuage inflammable dans l'air.
- Evaporation d'une nappe de liquide combustible, qui nécessite une petite énergie pour compléter la réaction du triangle de feu.
- Parfois on assiste à une combinaison des deux points précédents comme dans le cas du rejet d'un liquide sous pression produit, sous l'influence de la vitesse du fluide lors de la pénétration et du frottement dans l'air, une désintégration mécanique du jet en fines gouttelettes qui généralement tombent au sol où ils contribuent à la formation d'un bassin d'évaporation.[1]

4.1.1.3.2 Les effets de FEU DE FLASH (Flash Fire) :

- Une boule de feu qui consume ou endommage ce qui se trouve à l'intérieur.
- Un rayonnement thermique sur le voisinage immédiat de la boule de feu.
- Des effets de pression plus ou moins importants suivant l'encombrement du lieu de l'accident.[1]

4.1.1.4 BOIL OVER :

L'explosion par vaporisation, ou "BOIL OVER", est un phénomène explosif qui se produit lors d'incendies impliquant des hydrocarbures légers. Lorsque de l'eau utilisée pour éteindre l'incendie s'accumule sous les hydrocarbures en raison de leur différence de densité, la chaleur du feu peut provoquer une évaporation soudaine de l'eau. Cela entraîne des projections violentes de liquide enflammé et la formation d'une boule de feu.[1]

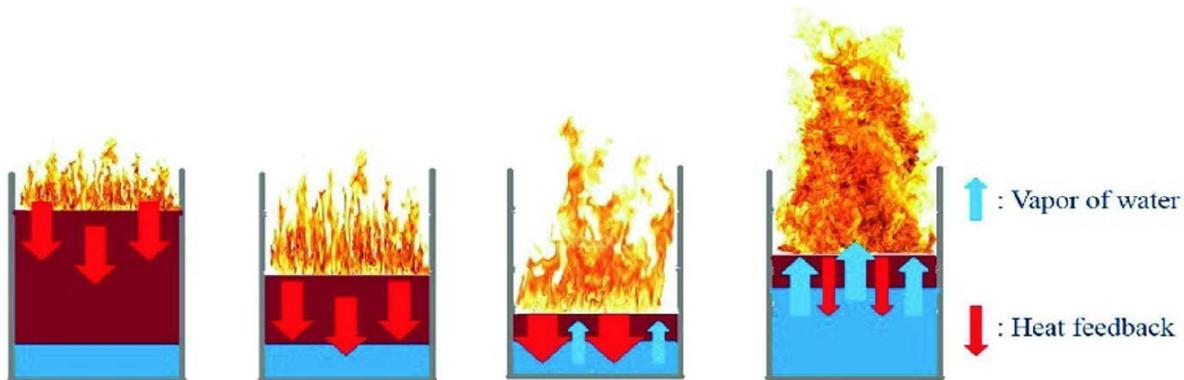


Figure 5 : Schéma explicatif du phénomène BOIL OVER. [1]

4.1.1.4.1 Les causes du BOIL OVER :

Présence d'eau dans le réservoir (teneur en eau de l'hydrocarbure, pénétration de l'eau de pluie au travers des événements, condensation sur les parois internes, introduction d'eaux d'extinction)

- Incendie prolongé en partie supérieure.
- Propagation d'une onde de chaleur.
- Vaporisation de l'eau.[1]

4.1.1.4.2 Les effets du BOIL OVER :

Un BOIL OVER peut provoquer plusieurs effets :

- Une explosion (rupture de la capacité).
- Une éjection de liquide en émulsion et en feu. (Extension de l'incendie).[1]

4.1.2 Un Phénomènes continus :

Contrairement phénomènes sont caractérisés par une durée pouvant aller de quelques minutes à quelques heures :

4.1.2.1 JET FIRE (*Feu chalumeau*) :

Un jet enflammé, également connu sous le nom de JET FIRE ou feu torche, est une flamme turbulente créée par la combustion continue d'un composé inflammable relâché avec une vitesse initiale significative dans une direction précise. Ces jets se forment généralement lorsqu'un gaz ou un liquide sous pression s'échappe, s'enflamme et produit une flamme intense qui se propage dans la direction de l'écoulement. Ils sont caractérisés par leur forte intensité et leur capacité à générer des températures extrêmement élevées, ce qui rend leur maîtrise et leur extinction complexes.[18]



Figure 6 : Schéma explicatif du phénomène JET FIRE. [1]

4.1.2.1.1 Les causes de JET FIRE (feu chalumeau) :

- Fuites accidentelles ou intentionnelles.
- Fissures dans les équipements de stockage.
- Mélange avec l'air ambiant.
- Température élevée du produit.
- Points chauds.
- Étincelles à proximité.[18]

4.1.2.1.2 Les effets du JET FIRE (feu chalumeau) :

- Flamme intense.
- Émission de chaleur élevée.
- Pression et force importantes du jet.
- Propagation rapide du feu.
- Émissions de fumées et de gaz.
- Impact sur l'environnement.
- Défis d'extinction.[18]

4.1.2.2 FEU DE NAPPE (POOL FIRE) :

Le feu de nappe résulte de la présence concomitante d'une nappe de liquide inflammable, d'une source d'inflammation et d'un comburant (l'air de l'atmosphère). Le feu de bac est simplement un feu de nappe généré au niveau de la surface du liquide stocké dans un bac.

Il existe deux types de feux de bac (pour deux périodes différentes) :

- Feu de nappe précoce (Early pool fire) : lorsque le taux de combustion et le taux d'alimentation de la nappe sont égaux.
- Feu de nappe tardif (Late pool fire) : l'extension maximale de la nappe.[1], [19]

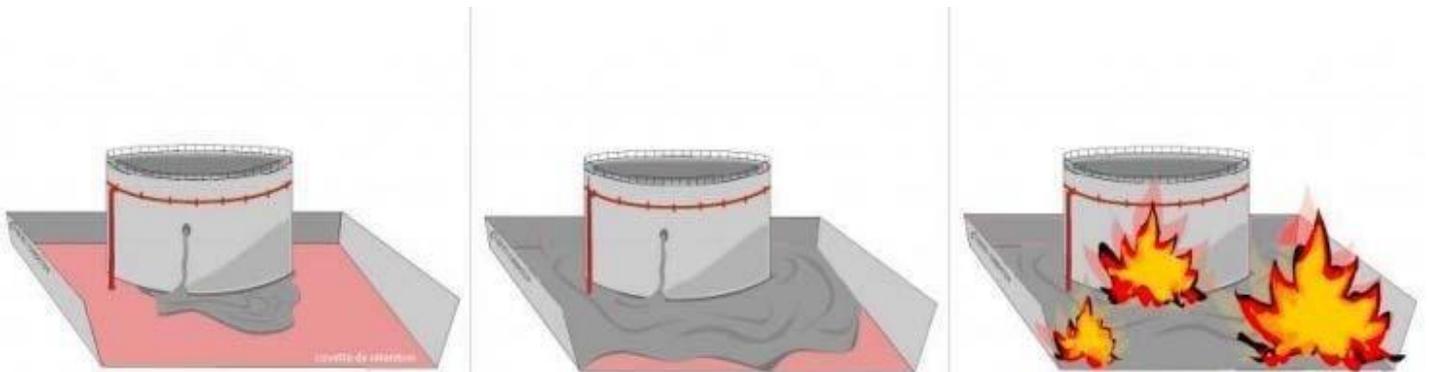


Figure 7 : Schéma explicatif du phénomène FEU DE NAPPE. [1]

4.1.2.2.1 Les causes de FEU DE NAPPE (POOL FIRE) :

Le phénomène Feu de nappe est un d'épandage de liquide inflammable dans le sol, se produit fréquemment en cas d'une fuite peut être à l'origine de :

- Corrosion de réservoir de stockage.
- Fissure dans le conteneur provoqué par un choc physique.
- Explosion du réservoir et détérioration totale du revêtement...

4.1.2.2.2 Les effets du FEU DE NAPPE (POOL FIRE) :

- Effets similaires aux explosions.
- Effets thermiques et de pression.
- Effets des missiles.
- Dépendance des effets sur la taille de la surface brûlée, le produit brûlé et la durée du feu.
- Conséquences relativement faibles sur l'homme s'il est maîtrisé.
- Risque accru en cas de proximité avec du stockage de matières combustibles.[19]

5. Retour d'expérience :

5.1 Explosion de propane et fuite enflammée sur une cuve de GPL 03/12/2008 en France

Une explosion de propane suivie d'un incendie se produit vers 15 h dans la villa d'un particulier à la suite d'une fuite sur le réservoir de GPL de 3 m³ alimentant l'habitation. La rupture de l'un des accessoires (soupape de sécurité) de la cuve, après la chute d'un arbre sur la capacité durant des travaux d'élagage dans le jardin de la villa, est à l'origine de la fuite de propane ; le GPL se serait ensuite écoulé dans le garage de la maison avant d'exploser. Le propriétaire gravement brûlé et son épouse asphyxiée par le gaz sont conduits à l'hôpital ainsi que les 3 intervenants (2 asphyxiés et un blessé à une jambe). Un périmètre de sécurité de 200 m est mis en place et les pompiers mettent en œuvre des lances à débit variable pour maîtriser l'incendie de la maison et refroidir la cuve de GPL sur laquelle subsiste une fuite enflammée. Redoutant un BLEVE du réservoir, les secours en accord avec un technicien du fournisseur de gaz augmentent le périmètre de sécurité à 400 m et évacuent 15 occupants de 10 habitations voisines dans une salle polyvalente de la commune. La fuite enflammée est maîtrisée vers 23 h et la cuve de propane est inertée à l'eau. L'intervention des secours s'achève vers minuit. Le maire de la commune prend un arrêté de péril pour l'habitation gravement endommagée et un balisage de sécurité est mis en place.[15]

5.2 BLEVE de sphères GPL dans une raffinerie suite à un séisme 11/03/2011 au Japon

Un séisme majeur (Mw = 9) touche l'île de Honshu à 14h46. Une fuite sur une canalisation portuaire de GPL est détectée à 15h35 dans la raffinerie d'un grand complexe pétrochimique de la baie de Tokyo. La flaque de gaz se répand à 15h48 sur le parc adjacent de 17 sphères de butane/ butylène et s'enflamme sur une source d'ignition

inconnue. L'incendie se développe rapidement, entraînant la chute de la plupart des sphères dont les pieds se rompent et 5 BLEVE (en cascade avec une boule de feu de 600 m de diamètre pour le principal. Le sinistre étant incontrôlable en raison des flux thermiques considérables, les pompiers de la raffinerie, aidés des secours publics arrivés à 16h04, protègent les installations proches : bacs, vapocraqueur.... Des petits départs de feu sur les vapocraqueurs de polyéthylène et polypropylène les plus proches sont maîtrisés dans la nuit, mais l'incendie perdurera 10 jours. Un blessé grave et 5 légers sont à déplorer parmi les employés.[15]



Figure 8 : BLEVE de sphères GPL dans une raffinerie suite à un séisme du Japon.

5.3 Débordement d'un Bac d'un mélange d'hydrocarbures lourds dans une Raffinage du pétrole 19/12/2006 en France

Un bac contenant un mélange d'hydrocarbures lourds (mélange de Vacuum Gas Oil et d'extrait) déborde à 5h15 dans une raffinerie. Le POI est déclenché dès que la fuite est détectée et un périmètre de sécurité est mis en place autour du bloc de la raffinerie. Le mélange d'hydrocarbures lourds reste contenu dans la cuvette du bloc mais se répand sur plus de la moitié des 6 670 m² de surface. La quantité de produit déversée est évaluée à 300 m³. Bien que le mélange soit faiblement inflammable, un tapis de mousse est rapidement mis en place dans toute la cuvette afin de limiter le risque d'incendie. L'exploitant fait pomper les produits contenus dans la cuvette par une entreprise extérieure. Le POI est levé vers 8 h. L'inspection des installations classées prévenue se rend sur les lieux et procède aux premières constatations.

Cet incident semble résulter de la conjonction de 2 dysfonctionnements : la vanne automatique du bac restée ouverte autorisant son remplissage intempestif et la défaillance de la jauge de niveau permettant le su remplissage puis le débordement du réservoir sans report d'une anomalie en salle de contrôle. Cette jauge venait de faire l'objet d'un entretien et réinstallée quelques heures auparavant. Une analyse de l'incident est demandée à l'exploitant ainsi que des propositions d'amélioration sur le suivi des mouvements de produits entre les différents bacs de stockage et sur les équipements de sécurité.[20]

5.4 Une fuite d'hydrocarbure causée par une défaillance du système de purge des eaux pluviales du toit flottant d'un réservoir de stockage- 29/12/2003 en France

Dans un parc de stockage d'hydrocarbure d'une raffinerie, une fuite de 50 m³ d'hydrocarbure aromatique se produit à partir d'un réservoir vertical à toit flottant de 10 000 m³. Celle-ci est découverte par un opérateur lors d'une prise d'échantillon au cours du transfert du produit vers une unité de fabrication. L'opérateur stoppe l'écoulement en fermant la vanne de purge. Une partie des hydrocarbures est retenue dans l'anneau de rétention et le reste se répand par débordement dans la cuvette de rétention (présence de 2 taches de 10 m² au sol) et s'infiltré. Les hydrocarbures contenus dans l'anneau sont pompés. L'exploitant stoppe l'exploitation du bac concerné dans l'optique d'une vidange totale et d'un dégazage afin de permettre des investigations complémentaires (origine de l'avarie, nature de la réparation). En outre, il met en place une pompe de débit 40 m³/h dans un puits préexistant, situé à 30 m environ en aval hydraulique de la pollution de manière à contenir une éventuelle pollution de la nappe. Cette mesure s'accompagne d'un suivi de l'évolution de la qualité des eaux pompées. Le surlendemain, l'industriel constate l'arrivée dans le puits de pompage des premières traces d'hydrocarbures. Il fait appel à un hydrogéologue pour l'assister dans les mesures complémentaires à prendre. Selon l'exploitant, la fuite provient d'une avarie du système de purge des eaux pluviales du toit flottant, situé à l'intérieur du réservoir ; des hydrocarbures se sont écoulés par la vanne de purge au pied de bac dans l'anneau de rétention entourant le réservoir. Cette vanne, en position normale, doit rester ouverte pour permettre l'écoulement des eaux de pluie du toit flottant. Par ailleurs, l'exploitant identifie sur son site les bacs disposant d'équipements configurés à l'identique : un seul bac est dans ce cas et est mis à l'arrêt dans l'attente d'une vérification.[21]

5.5 Incendie d'un bac de stockage de pétroliers liquides dans une Raffinage du pétrole 06/07/1986 en Allemagne

Un bac de stockage à toit flottant contenant 1 000 m³ de résidus pétroliers liquides explose à la suite de la surchauffe de ces d'hydrocarbures par le rayonnement solaire. Il en résulte une inflammation immédiate à cause d'une poudre de fer, présente dans le bac sous forme de dépôt.[22]

Conclusion :

En conclusion, la gestion des risques selon les normes ISO et la réglementation algérienne, constitue une pierre primordiale de la prévention des catastrophes industrielles. L'étude de danger, en tant qu'outil préventif, permet d'identifier, d'analyser et de maîtriser les risques potentiels, minimisant ainsi les impacts négatifs sur la société et l'environnement.

Par contre l'étude de danger reste limitée vis à vis l'estimation des impacts sur l'être humain ainsi que la société d'où l'importance du prochain chapitre qui consiste sur l'importance de l'étude QRA.

CHAPITRE 02 : METHODOLOGIE

L'ÉTUDE QRA

Introduction :

Ce chapitre permet d'explorer en détails les méthodes d'analyse des risques, tant quantitatives que qualitatives, conformément à la norme ISO 31010. Par la suite Nous aborderons l'étude quantitative des risques (QRA), ainsi que les notions de risque sociétal et de risque individuel. L'objectif principal est de fournir une compréhension claire et détaillée des différentes approches et outils utilisés pour évaluer les risques, et de souligner l'importance de l'étude QRA dans le cadre plus large de l'étude de danger. Par la maîtrise de ces concepts et méthodes, il sera plus facile d'identifier, évaluer et gérer les risques de manière efficace et proactive.

1. Norme Organisation nationale de normalisation (ISO), Commission International Electrotechnique (IEC) 31010 :

1.1 Domaine d'application :

Cette norme internationale offre des recommandations sur le choix et l'application des méthodes d'évaluation des risques dans diverses situations. Son objectif est d'aider à prendre des décisions lorsque l'incertitude est présente, de fournir des informations sur des risques spécifiques, et de soutenir les processus de gestion des risques. Elle récapitule les différentes techniques disponibles et renvoie à d'autres documents pour des descriptions plus détaillées de ces [23]

1.2 Objectifs de la norme :

- Spécifiques à l'objet de l'appréciation.
- Mesurables de manière qualitative ou quantitative.
- Réalisables dans la limite des contraintes imposées par le contexte.
- Pertinents du point de vue des objectifs plus généraux ou du contexte de l'organisation.
- Réalisés dans un délai défini. [[23]

1.3 Structure générale :

La norme est formée de 5 parties importantes, sont :

- Domaine d'application, contexte, critères.
- Appréciation du risque : identification des risques, analyse du risque, évaluation du risque.
- Traitement du risque.
- Surveillance et revue.
- Communication et concertation.
- Enregistrement et consignation. [23]

1.4 Mise en œuvre de l'appréciation du risque :

- Planification de l'appréciation :
 - Définition de l'objet et du domaine d'application de l'appréciation.

- Compréhension du contexte.
- Collaboration avec les parties prenantes.
- Définition des objectifs.
- Prise en compte des facteurs humains, organisationnels et sociaux.
- Revue des critères de décision.
- Gestion des informations et développement de modèles :
 - Collecte d'informations.
 - Analyse des données.
 - Développement et application des modèles.
- Application des techniques d'appréciation du risque :
 - Identification du risque.
 - Détermination des sources, des causes et des facteurs de risque.
 - Examen de l'efficacité des moyens de maîtrise existants.
 - Compréhension des conséquences et de la vraisemblance.
 - Analyse des interactions et des dépendances.
 - Compréhension des mesures du risque.
- Examen de l'analyse :
 - Vérification et validation des résultats.
 - Analyse d'incertitude et de sensibilité.
 - Surveillance et revue
- Application des résultats à l'appui des décisions :
 - Décisions relatives à l'importance du risque.
 - Décisions impliquant de choisir parmi des options.
- Enregistrement et consignation du processus d'appréciation du risque et de ses résultats [1]

2. Description des méthodes d'analyse prévisionnelle des risques

Les méthodes d'analyse prévisionnelle se répartissent en 3 étapes couramment rencontrées, qui se distinguent par les méthodes de raisonnement.

2.1 Méthodes qualitatives/ quantitatives

Les études quantitatives et qualitatives sont des méthodes complémentaires, utilisées dans les sondages pour obtenir des résultats à la fois détaillés et à large portée.

- Une étude quantitative empirique qui sert à collecter des données chiffrées structurées et s'appuie sur des statistiques que peuvent utiliser pour mesurer des variables
 - Une étude qualitative aide à comprendre les raisons des résultats. Elle privilégie les émotions, les motivations et les comportements humains plutôt que les statistiques et les données structurées, en se basant sur des informations textuelles.
- Méthodes qualitatives : APR, HAZOP
 - Méthodes quantitatives : ADE, [3], [24]

2.2 Méthodes statiques/ dynamiques

Les méthodes statiques analysent un système à différents moments de son cycle de vie, pour divers états possibles. Elles permettent une analyse structurelle du système, sans tenir compte des évolutions au fil du temps, et s'appuient sur un modèle mathématique booléen du système.

Les méthodes dynamiques intègrent les aspects comportementaux et temporels.

- Méthodes statiques : AMDEC, ADD, ADE
- Méthodes dynamiques : chaîne de Markov, réseau Bayésien dynamique [24]

2.3 Méthodes inductives/ déductives

Les méthodes inductives décrivent un lien de causalité partiel de la cause à l'effet. Elle identifie toutes les combinaisons d'événements élémentaires possibles qui peuvent entraîner la réalisation d'un événement unique indésirable : la défaillance.

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.,

- Méthodes inductives : AMDEC, chaîne de Markov, ADE.
- Méthodes déductives : ADD.[24], [25]

3. Méthode d'analyse des risques :

3.1 Méthode de HAZOP :

3.1.1 Définition :

C'est une application d'un examen critique formel et systématique aux intentions du procédé et de l'ingénierie d'une installation neuve ou existante afin d'évaluer le potentiel de danger lié à la mauvaise utilisation, ou au mauvais fonctionnement, d'éléments d'équipement et leurs effets sur l'installation dans son ensemble.[26]

3.1.2 Principe :

L'HAZOP se concentre sur le fonctionnement du processus. Cette méthode consiste en la génération systématique de dérives potentielles des paramètres clés de chaque partie du système étudié. Pour chaque dérive, le groupe de travail recherche les causes et les conséquences possibles ainsi que les moyens de prévention et de limitation des effets. Bien qu'initialement qualifiée de méthodologie qualitative, l'HAZOP peut également être utilisée pour estimer la criticité des risques en utilisant une technique semi-quantitative. [27]

3.1.3 Domaine d'application :

La méthode HAZOP consiste à examiner de manière systématique les écarts des paramètres d'une installation afin d'identifier leurs causes et leurs conséquences. Elle est particulièrement pertinente pour l'analyse des systèmes thermo-hydrauliques, où des paramètres tels que le débit, la température, la pression, le niveau et la concentration sont essentiels pour la sécurité de l'installation.

Cette approche exige notamment l'étude approfondie des schémas et plans de circulation des fluides, ainsi que des schémas P&ID (Pippin and Instrumentation Diagram).[27]

3.1.4 Déroulement :

- L'utilisation du tableau de synthèse n'est qu'un outil parmi d'autres dans l'analyse des risques.
- L'analyse des risques implique l'identification de toutes les situations de danger potentiel.
- Les produits, les installations et les équipements sont passés en revue pour identifier toutes les situations de danger possibles.
- La démarche est rigoureuse, avec l'utilisation du tableau qui répertorie les causes, les conséquences et les barrières de sécurité existantes pour chaque situation de danger identifiée.
- En fonction des résultats du tableau, des propositions d'amélioration sont formulées pour renforcer les barrières de sécurité existantes.

- La définition de la situation de danger peut être difficile, mais elle est essentielle pour l'analyse des risques.
- Les colonnes supplémentaires peuvent être ajoutées pour inclure les résultats de l'estimation des risques réalisée en groupe de travail.

Table 1 : Méthode d'analyse HAZOP.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Équipement Repère	Fonctions, états	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effet local	Effet final	Moyens de détection	Dispositions compensatoires	P	G	Remarques

3.2 Méthode de HAZID :

3.2.1 Définition :

L'examen HAZID est une méthodologie permettant d'identifier les dangers afin de planifier, d'éviter ou d'atténuer leurs impacts potentiels. L'identification des dangers est une étape importante de l'évaluation et de la gestion des risques. La méthode HAZID convient à tous les types d'industries et peut être appliquée à presque tous les systèmes.[28]

3.2.2 Principe :

Le principe de la méthode HAZID (Hazard Identification) est de procéder à une analyse proactive des dangers potentiels qui pourraient affecter les personnes, les biens et l'environnement dès les premières étapes d'un projet. Cette méthode est utilisée pour identifier les causes des dangers et les conséquences des scénarios potentiels, puis pour définir les actions à mener pour réduire les risques associés [28]

3.2.3 Domaine d'application :

La méthode HAZID est largement utilisée dans divers domaines industriels pour identifier de manière proactive les dangers potentiels qui pourraient affecter les personnes, les biens et l'environnement dès les premières étapes d'un projet. Les domaines d'application de la méthode HAZID incluent l'industrie nucléaire, les installations classées, ainsi que d'autres secteurs où la sécurité et la prévention des risques sont primordiales[28]

3.2.4 Déroulement :

- Étape 1 : Identifiez les Risques

Pour garantir la sécurité au travail, il est crucial de consulter les employés pour connaître leurs préoccupations en matière de sécurité et de recueillir des informations sur les dangers potentiels auxquels ils sont confrontés dans

leur travail quotidien. En parallèle, une inspection approfondie des zones de travail, des outils, de l'équipement, ainsi que des tâches et des procédures en place doit être menée pour identifier les risques existants. Toutes les observations et les dangers relevés doivent être documentés en vue d'une action corrective ultérieure.

- Étape 2 : Évaluer les risques

L'évaluation des risques implique de prendre en compte les résultats possibles d'une personne exposée à un danger et la probabilité que cela se produise. Une évaluation des risques aide à déterminer :

- Quel est le degré de risque ?
- l'efficacité des mesures de contrôle existantes
- Quelles mesures devraient être prises pour contrôler un risque ?
- Il est urgent d'agir ?

- Étape 3 : Contrôle des risques

Une fois qu'une cote de risque est déterminée, chaque danger doit faire évaluer ses mesures de contrôle des risques existantes à l'aide du tableau d'évaluation de l'efficacité du contrôle. Cela permet de déterminer toute exigence supplémentaire nécessaire.

- Étape 4 : Mettre en œuvre des contrôles de risque supplémentaires

Après avoir identifié les dangers sur votre lieu de travail, évalué leurs risques et passé en revue les contrôles existants, vous devez gérer tous les dangers avant que des personnes ne soient blessées, tombent malades ou que des dommages ne soient causés à l'usine, aux biens ou à l'environnement.[28]

Table 2 : Méthode d'analyse HAZID.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Danger	Scénario	Causes	Conséquences	Probabilité	Gravité	Niveau de risque	Mesure de contrôle	Responsable

3.3 Méthode de Arbre des Evènements :

3.3.1 Définition :

L'AAE est une technique graphique qui représente les séquences mutuellement exclusives des événements qui pourraient survenir à la suite d'un événement initiateur, selon le fonctionnement ou non des différents systèmes

conçus pour en faire varier les conséquences. L'arbre peut être quantifié afin de donner les probabilités des différents résultats possibles.[23]

3.3.2 Principe :

L'analyse par arbre des défaillances (AAD) et l'analyse par arbre d'événements (ADE) sont deux méthodes complémentaires pour étudier les causes et les conséquences des défaillances dans un système. L'AAD identifie les causes d'un événement indésirable, tandis que l'ADE part d'une défaillance pour déterminer les événements qui en résultent, explorant systématiquement les dispositifs de détection, d'alarme, de prévention, de protection ou d'intervention

3.3.3 Domaine d'application :

Conçue dans les années 1970 pour les centrales nucléaires, l'ADE s'est étendue à d'autres secteurs. Elle se concentre sur des sous-systèmes spécifiques et étudie les interactions des dispositifs de sécurité. Comme l'AAD, elle permet d'estimer les probabilités d'accidents et de comprendre les conséquences des défaillances après un accident.

3.3.4 Déroulement :

- Étape 1 : Définition de l'événement initiateur :
 - Choix crucial nécessitant une connaissance des risques associés à l'installation.
 - Complète d'autres méthodes comme l'Analyse Préliminaire des Risques (APR).
 - Exemple : Dans un réacteur avec réaction exothermique, une défaillance du système de refroidissement peut entraîner un emballement de la réaction.
- Étape 2 : Identification des fonctions de sécurité :
 - Prévention des accidents majeurs suite à des événements initiateurs.
 - Comprend détection, alarmes, limitation de la durée et atténuation des effets.
 - Exemple : Dans un réacteur chimique, en cas de défaillance du système de refroidissement, des fonctions comme la détection de la montée en température et l'arrêt de la réaction sont prévues.
 - Nécessité de définir l'ordre d'intervention et les seuils déclencheurs pour estimer le délai de mise en place.
 - Tableau chronologique des fonctions de sécurité recommandé.

Table 3: Exemple de tableau définissant les fonctions de sécurité

Fonctions	Mesure de la température dans le réacteur	Alarme	Rétablissement du système réfrigération par un operateur	Arrêt de la réaction
Dispositifs assurant la fonction	Sonde de température dans le réacteur	Signaux sonores et lumineux aux postes de travail	Operateur selon une procédure	Introduction automatique d'un inhibiteur de la réaction
Paramètre ou information déclenchant la fonction	Permanent	$T \geq T_1$	Alarme	$T \geq T_2$
Délai	Continu	1 mn	Si possible, estime à 5 mn	Estime à 10 mn (De T_1 a T_2)

- Étape 2 : Construction de l'arbre

- Commence par l'événement indésirable et considère le bon fonctionnement ou la défaillance de la première fonction de sécurité.
- Événement initiateur symbolisé par un trait horizontal, première fonction de sécurité par un nœud.
- Branche supérieure : succès de la fonction de sécurité ; branche inférieure : défaillance.
- Approche séquentielle pour identifier les séquences d'événements menant à un accident potentiel.
- Considérations pour la construction de l'arbre :
 - Fonction après celles dont elle dépend.
 - Ignorer le succès des fonctions si leur échec entraîne l'échec d'autres fonctions.
 - Ne pas envisager le succès ou l'échec d'une fonction si cela n'affecte pas les paramètres déclenchants des fonctions ultérieures.
- Si la défaillance d'un sous-système entraîne celle de plusieurs systèmes, considérer ce sous-système en premier.
- Éliminer les branches physiquement impossibles pour réduire l'arbre d'événements.[27]

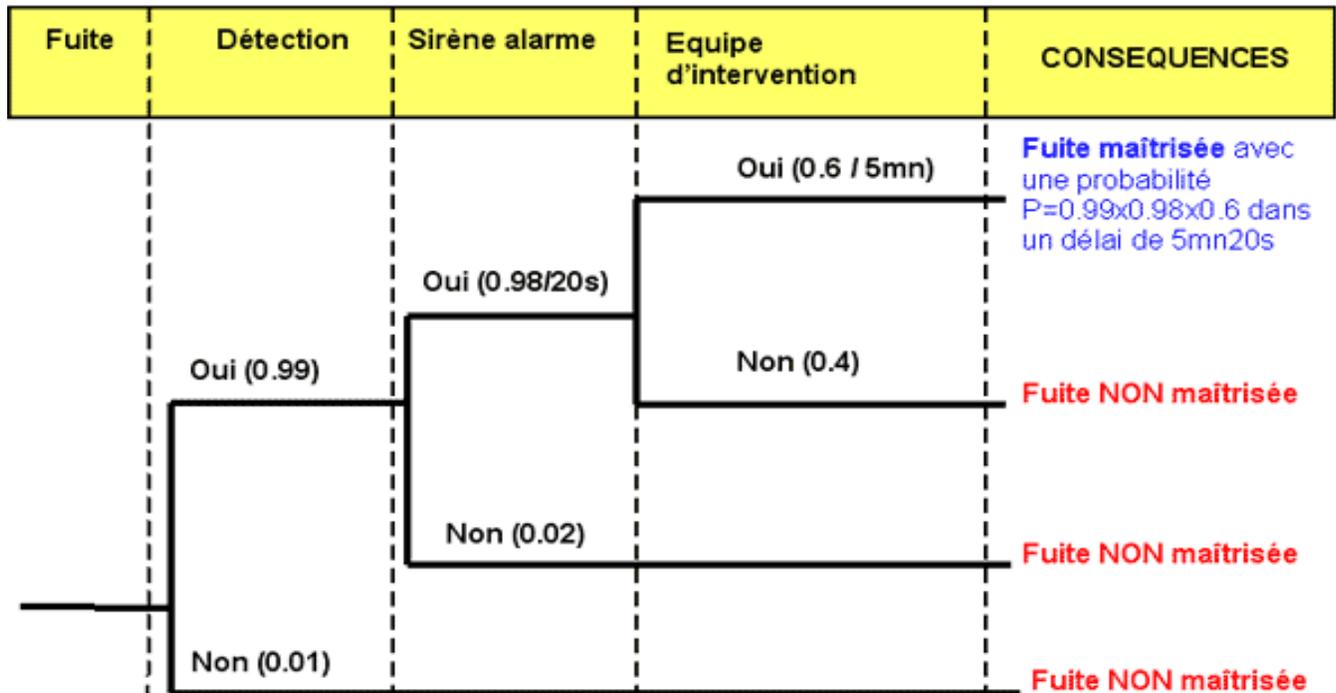


Figure 9 : Exemple de la méthode d'Arbre des évènements.

3.3.5 Exploitation de l'arbre :

- Permet d'évaluer la probabilité des conséquences en se basant sur les séquences identifiées.
- Arbre réduit en éliminant les chemins impossibles et en identifiant les modes communs de défaillances pour garantir l'indépendance des événements intermédiaires.
- Estimation de la probabilité d'une conséquence après une séquence spécifique.
- Caractérisation des séquences d'actions et d'événements menant éventuellement à un accident.[27]

3.4 Méthode de Nœud Papillon :

3.4.1 Définition :

Un "nœud papillon" est une représentation graphique utilisée pour analyser les risques en montrant les causes d'un événement et ses conséquences. Il combine deux techniques : l'analyse par arbre des défaillances (ADD) pour identifier les causes d'un événement, et l'analyse par arbre d'événements (ADE) pour examiner les conséquences. Ce diagramme, qui ressemble à un nœud papillon, aide à visualiser les moyens de maîtrise qui influencent la probabilité de l'événement et ses conséquences éventuelles.[23]

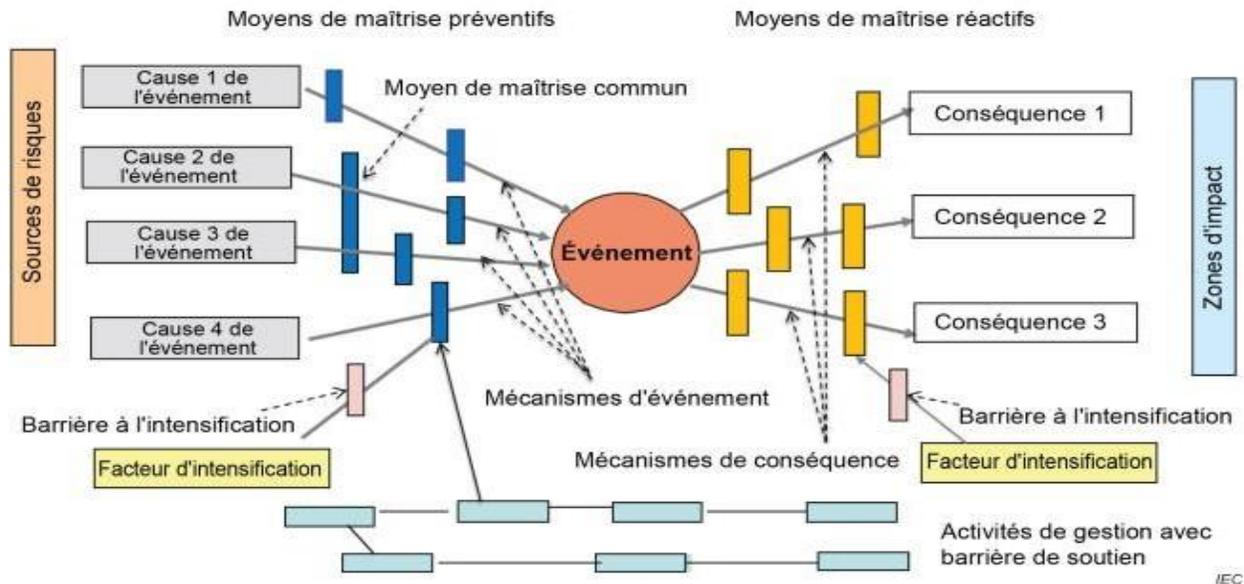


Figure 10 : Schéma de la méthode du nœud papillon. .[23]

3.4.2 Principe :

Le nœud papillon est un outil qui combine un arbre de défaillances et un arbre d'événements, représentés de façon différente de celle décrite précédemment. Dans cette représentation, chaque chemin conduisant d'une défaillance d'origine (événement indésirable ou courant) jusqu'à l'apparition de dommages au niveau des éléments vulnérables (effets majeurs) désigne un scénario d'accident particulier pour un même événement redouté central. Cet outil permet de démontrer de manière renforcée la bonne maîtrise des risques en présentant clairement l'action des barrières de sécurité sur le déroulement d'un accident [27]

3.4.3 Domaine d'application :

Le « Nœud Papillon » est une approche de type arborescente largement utilisée dans les pays européens comme les Pays-Bas qui possèdent une approche probabiliste de la gestion des risques. Le Nœud Papillon est utilisé dans différents secteurs industriels par des entreprises comme SHELL qui a été à l'origine du développement de ce type d'outils.[27]

3.4.4 Déroulement :

Le Nœud Papillon, s'inspirant directement des arbres des défaillances et d'évènements, doit être élaboré avec les mêmes précautions. S'agissant d'un outil relativement lourd à mettre en place, son utilisation est généralement réservée à des évènements jugés particulièrement critiques pour lesquels un niveau élevé de démonstration de la maîtrise des risques est indispensable.

- L'événement pris en compte est représenté par le nœud central du nœud papillon
- Les sources de risques (ou de dangers/menaces dans le contexte de la sécurité) sont situées à gauche du nœud et reliées au nœud par des lignes qui représentent les différents mécanismes par lesquels les sources de risques peuvent conduire à l'événement.
- Les barrières ou les moyens de maîtrise correspondant à chaque mécanisme sont représentés par des barres verticales qui traversent les lignes.
- À droite du nœud, des lignes sont tracées de l'événement à chaque conséquence potentielle.
- Après l'événement, les barres verticales représentent les moyens de maîtrise ou les barrières utilisé(e)s en réaction pour faire varier les conséquences.
- Les facteurs qui pourraient être à l'origine de la défaillance des moyens de maîtrise (facteurs d'intensification) sont ajoutés, ainsi que les moyens de maîtrise relatifs aux facteurs d'intensification.
- Les fonctions de gestion qui prennent en charge les moyens de maîtrise (formation et inspection par exemple) peuvent être représentées dans le diagramme "nœud papillon" et reliées au moyen de maîtrise correspondant.[23]

4. Quantitative Risk Assessment (QRA) :

4.1 Présentation de la méthode QRA (Quantitative Risk Assessment) :

L'évaluation quantitative des risques (QRA) est un moyen de réaliser une analyse systématique des risques liés aux activités dangereuses et de formuler une évaluation rationnelle de leur importance, afin de fournir des éléments pour un processus de prise de décision.

La QRA est probablement la technique la plus sophistiquée à la disposition des ingénieurs pour prédire les risques d'accidents et donner des indications sur les moyens appropriés pour les minimiser. Néanmoins, elle utilise des méthodes scientifiques et des données vérifiables, la QRA est une technique plutôt immature et très subjective, et ses résultats comportent une grande marge d'incertitude.

L'évaluation des risques n'a pas besoin d'être quantitative, et des indications adéquates sur les risques mineurs peuvent souvent être obtenues en utilisant une approche qualitative.

Un schéma général de l'approche est repris ci-dessous. La méthodologie suit l'approche classique d'un QRA :

- Identification des dangers et développement des scénarios

- Calcul des conséquences et des impacts potentiels
- Analyse des fréquences
- Combinaison des conséquences et fréquences afin de prédire le risque
- Évaluation du risque et proposition de mesures complémentaires afin de réduire/contrôler le risque. [1], [29]

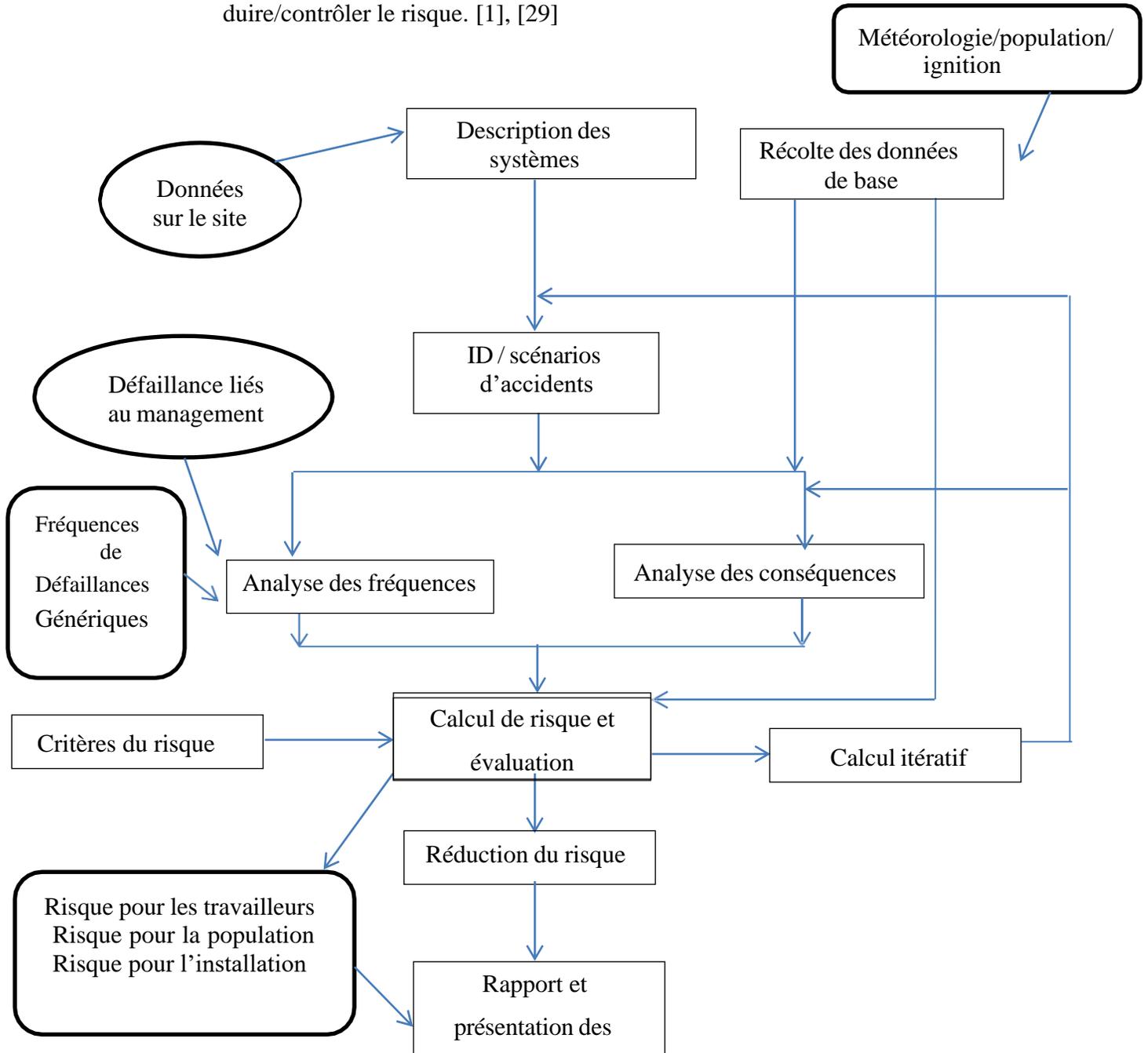


Figure 11 : La méthodologie suit l'approche classique d'un QRA.

4.2 Aperçu sur QRA :

'QRA' est l'abréviation de 'Quantified Risk Assessment' (Évaluation Quantifiée des Risques). Il s'agit d'un des termes utilisés pour un type d'évaluation des risques fréquemment appliqué aux opérations offshore. Cette technique est également désignée sous les termes suivants :

- Évaluation Quantitative des Risques (QRA)
- Évaluation Probabiliste des Risques (PRA)
- Évaluation Probabiliste de la Sécurité (PSA)
- Évaluation de Sécurité Conceptuelle (CSE)
- Analyse Totale des Risques (TRA),

Malgré plus d'une décennie d'utilisation et de développement, aucune convergence vers un terme universellement accepté n'a été observée et ces termes sont utilisés en parallèle.

L'industrie nucléaire, avec ses origines aux États-Unis, favorise particulièrement les termes d'Évaluation Probabiliste des Risques (Probabilistic Risk Assessment) ou d'Évaluation Probabiliste de la Sécurité (Probabilistic Safety Assessment).

L'Évaluation de Sécurité Conceptuelle (Concept Safety Evaluation, CSE) est utilisée depuis 1981 en Norvège et semble être apparue suite à l'évaluation des risques de nouveaux concepts. L'Analyse Totale des Risques (Total Risk Analysis, TRA) a également été introduite en Norvège comme un terme impliquant essentiellement une évaluation détaillée des risques de mortalité.

On peut avancer que tous ces termes ont pratiquement le même sens. Ce livre se concentrera sur le terme 'Quantified Risk Assessment' (Évaluation Quantifiée des Risques).[30]

4.3 Les étapes de l'approche QRA :

Pour démontrer que les risques Sécurité, Hygiène et Environnement à In Amenas ont été gérés conformément aux exigences, il est nécessaire de s'assurer que les dangers identifiés dans le Registre des Dangers ont été correctement traités et que des systèmes de protection appropriés sont intégrés dans la conception et l'exploitation de l'installation. La dernière étape consiste à déterminer quantitativement le risque que ces dangers posent au personnel. Cela se fait en réalisant une Évaluation Quantifiée des Risques (QRA), dont la méthodologie est détaillée ci-dessous.[30]

4.3.1 Méthodologie détaillée :

Cette QRA a adopté la méthodologie générale pour les QRA telle que décrite dans le document BP « The Use and Value of Quantified Risk Assessment », Cela comprend les éléments suivants :

4.3.1.1 *Identification de tous les Événements Majeurs d'Accidents Potentiels (MAEs) et de leurs causes :*

Toutes les causes potentielles ont été considérées, y compris les pannes spontanées, l'escalade d'événements mineurs, les dangers naturels, l'escalade d'activités adjacentes, les conditions anormales (pendant l'exploitation, le démarrage et l'arrêt), les dommages par impact, les activités de maintenance, etc. Tous les MAEs ont été détaillés dans le Registre des Dangers.

4.3.1.2 *Détermination de la Fréquence de ces MAEs :*

Identifiés ci-dessus, en utilisant des techniques appropriées (par exemple, analyse des arbres de défaillances et/ou des arbres d'événements) et des données historiques de défaillance.

4.3.1.3 *Évaluation des Conséquences de ces MAEs :*

En tenant compte des caractéristiques d'atténuation disponibles et des procédures d'urgence. Les conséquences incluent les effets sur les populations à la fois sur site et hors site. Toute la modélisation des conséquences a été réalisée en utilisant BP CIRRUS, la suite intégrée de modèles de conséquences de BP.

4.3.1.4 *Évaluation de la fréquence et des conséquences des dangers :*

A été divisée en Évaluation des Risques d'Incendie et d'Explosion (FERA) et Évaluation des Dangers Non Inflammables (NFHA) dans cette QRA pour faciliter l'évaluation.

4.3.1.5 *Quantification des Niveaux de Risque Prévisibles :*

En termes de Risque Individuel et de Risque Sociétal. Le Risque Individuel est exprimé en termes de IRPA pour chaque groupe de travailleurs. Le Risque Sociétal (pour les travailleurs sur site) est exprimé en termes de courbe F-N et de Perte Potentielle de Vie (PLL) pour chaque groupe de travailleurs. La PLL est la somme des IRPA pour chaque personne dans ce groupe de travailleurs. La PLL totale est la somme des PLL pour toutes les personnes sur le site de développement d'In Amenas pour les opérations de production et de maintenance normales. Un point de données sur la courbe F-N est la fréquence cumulative, F, de tous les MAEs pouvant causer N décès.

4.3.1.6 *Évaluation des niveaux de risque estimés par rapport aux critères d'acceptabilité des risques du projet et de l'entreprise :*

Les résultats de l'évaluation permettent d'identifier les principaux contributeurs de risque et ainsi de mettre en évidence les zones cibles où des mesures de réduction des risques appropriées pourraient être efficacement

appliquées, réduisant ainsi le risque pour le personnel à un niveau ALARP. Un rapport démontrant l'ALARP (c'est-à-dire que le niveau de risque a été réduit à un niveau où toute dépense supplémentaire pour réduire le risque serait disproportionnée par rapport au niveau de réduction du risque obtenu) a été produit séparément.[30]

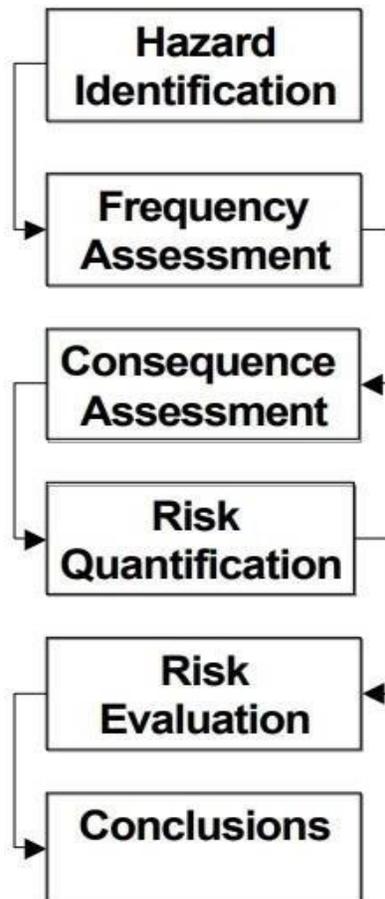


Figure 12 : Les étapes de l'approche QRA

4.4 QRA vis avis étude de danger

L'analyse des risques (Risk analysis) est le terme utilisé par les autorités norvégiennes (NPD, 1990) pour toutes les approches systématiques d'évaluation des risques. Cela comprend :

- Étude de dangers et d'exploitabilité (HAZOP)
- Étude de sécurité et d'exploitabilité (SAFOP)
- Analyse de tâche sécuritaire (CCHST)
- Analyse préliminaire des risques (APR)

- Analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMED)
- Évaluation quantitative des risques (QRA)

Les quatre premiers éléments de cette liste sont essentiellement des approches qualitatives, tandis que seul le dernier est une approche quantitative. Il a été désavantageux qu'aucun terme spécifique n'ait été utilisé dans la législation norvégienne pour différencier la QRA des techniques qualitatives. La discussion des exigences a souvent été plutôt floue, car aucune distinction n'a été faite entre les différents types d'analyse des risques.[30]

4.4.1 Risque Individuel

Le risque individuel est le risque de préjudice pour une personne, mesuré par la fréquence à laquelle une personne peut être exposée à des effets potentiellement néfastes. Ce risque peut être exprimé sous forme d'une valeur unique à un emplacement spécifique ou de contours montrant des lignes de risque égal. Une valeur de risque individuel représente le risque cumulatif pour une personne en raison de tous les événements dangereux potentiels qui pourraient l'affecter.

Les contours de risque individuel sont généralement des "contours de risque par emplacement", ce qui suppose qu'un individu hypothétique passe 24 heures par jour, 365 jours par an, à un emplacement donné. Bien que cela puisse être valable pour certains résidents, la plupart des gens se déplacent au moins une partie de la journée. Il est donc crucial de reconnaître que les contours de risque calculés de cette manière sont plus conservateurs que le risque réel et ne doivent pas être interprétés comme représentant le risque pour une personne [30]

4.4.2 Risque Sociétal :

Le risque sociétal mesure la probabilité qu'un événement unique affecte simultanément plusieurs personnes, nécessitant une estimation de l'emplacement et du nombre de personnes en danger. Bien qu'il puisse être représenté par une seule valeur numérique, il est généralement présenté sous forme de courbe sur un graphique FN. Ce graphique trace un ensemble de points représentant des événements de gravité croissante, en fonction du nombre de personnes potentiellement affectées (N) et des fréquences (F) de ces événements.[30]

4.4.3 Zones à Risque :

Les zones à risque sont des endroits ou des régions spécifiques identifiés comme étant exposés à un risque particulier. Il est important de noter que l'identification et la délimitation de ces zones peuvent varier en fonction de l'expertise, des données disponibles et des méthodologies employées par les entités concernées, telles que les gouvernements, les agences de gestion des risques et les organismes de recherche.[30]

Conclusion :

En conclusion, les méthodes d'analyse des risques, qu'elles soient quantitatives ou qualitatives, jouent un rôle crucial dans la gestion et la prévention des risques industriels. La norme ISO 31010 offre un cadre structuré et fiable pour appliquer ces méthodes de manière systématique. L'évaluation quantitative des risques (QRA), par l'évaluation des risques sociétaux et individuels, permet de quantifier et de mieux comprendre les impacts potentiels des dangers identifiés. L'importance de l'étude QRA est indéniable, car elle complète l'étude de danger en fournissant des données précises et des analyses détaillées, essentielles pour la prise de décision éclairée et la mise en place de mesures de prévention et d'intervention efficaces.

La partie pratique permet d'intégrer ces notions théoriques sur un cas d'étude réel permettant de mieux mettre en œuvre notre démarche afin de gérer les risques et d'assurer des mesures de sécurité efficaces

CHAPITRE 03 : PRESENTATION DE L'UNITE

Introduction :

Ce chapitre présente une vue d'ensemble de notre étude de cas sur le champ gazier de TIGUENTOURINE « CPF », en abordant divers aspects essentiels à la mise en œuvre d'une démarche de QRA. Nous commencerons par une description détaillée de la localisation géographique et des structures du complexe, en mettant en avant son emplacement stratégique. Ensuite, nous examinerons les différents procédés opérationnels du complexe, ainsi que les données climatiques spécifiques à cette région. Enfin, nous décrirons la structure humaine, un élément crucial dans la gestion des risques. Ces informations sont indispensables pour élaborer une démarche QRA précise et efficace, visant à garantir la sécurité et l'efficacité des opérations au sein du complexe gazier de TIGUENTOURINE.

1. Présentation du champ gazier de TIGUENTOURINE « CPF »

1.1 Historique :

Le gisement de TIGUENTOURINE est exploité conjointement depuis 2006 par BP, EQUINOR et SONATRACH, qui ont établi un partenariat stratégique pour explorer, développer et exploiter les ressources de gaz naturel dans la région. Le gaz extrait est acheminé vers le Centre de Traitement de Gaz d'In Amenas via un réseau de collecteurs d'une capacité de 30 millions de mètres cubes standards par jour, puis transféré au réseau de distribution de Sonatrach via trois pipelines dédiés. L'acquisition par ENI de l'activité de BP en Algérie, notamment dans les champs gaziers près d'In Amenas depuis septembre 2022, marque une transition majeure dans le secteur énergétique du pays. En tant que principal opérateur du champ gazier de TIGUENTOURINE, ENI apporte son expertise, sa technologie et son engagement envers l'excellence opérationnelle pour stimuler la croissance et la durabilité dans la région, redéfinissant ainsi le paysage énergétique algérien.[31]

- **SONATRACH :**

سوناطراك



Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation et commercialisation des hydrocarbures ; est une entreprise publique algérienne et un acteur majeur de l'industrie pétrolière, c'est la clé de voûte de l'économie algérienne. Le groupe pétrolier et gazier Sonatrach intervient dans l'exploitation, la production, le transport par canalisation, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et leurs dérivés. Sonatrach se développe également dans les activités de pétrochimie, de génération électrique, d'énergies nouvelles et renouvelables, de dessalement d'eau de mer et d'exploitation minière.

- **ENI :**



ENI est une société Italien globale d'énergie, présente sur l'ensemble de la chaîne de valeur : de l'exploration, développement et extraction de pétrole et de gaz naturel, à la génération d'électricité issue de la Cogénération et des énergies renouvelables, raffinage traditionnel et biocarburants et chimie, et le développement des process d'économie circulaire. ENI commercialise du gaz, de l'électricité et des services aux particuliers et aux entreprises. Les initiatives de capture et de stockage de CO2 et les projets de reforestation seront mis en place pour absorber les émissions résiduelles.

- EQUINOR :



EQUINOR Asa (auparavant STATOIL) est une compagnie d'énergie pétrolière et éolienne norvégienne fondée en 1972. C'est la plus grande entreprise de Norvège avec environ 29 000 employés. EQUINOR est coté à la bourse d'Oslo et au NYSE, néanmoins l'État norvégien détient toujours la majorité de la société, avec 70,26 % des actions, dont 3,26 % par FOLKETRYGDFONDET, le fonds national d'assurances.

1.2 Description de la région d'In Amenas :

1.2.1 Situation géographique :

In Amenas (IA) est la plus grande région d'exploitation de gaz humide d'Algérie qui implique aussi l'exploitation, le développement et la production de gaz naturel, de gaz de pétrole liquéfié (GPL) et de condensat à partir des champs production de gaz humide situés dans le bassin d'Illizi à l'est de l'Algérie, à environ 1 300 km de la capitale, Alger. La ville d'In Amenas est située à 250 km au nord d'Illizi et à environ 500 km au sud de Hassi Messaoud.[15]



Figure 13 : Champ de production de TIGUENTOURINE à In Amenas

2. Fiche technique :

Capacité :

La production de CPF est le Gaz Naturel, le GPL et le Condensat, celle-ci est assurée par trois trains de traitement.

Les capacités de production totale :

- **Gaz résiduel** : Méthane (CH_4) = 89% et Ethane (C_2H_6) = 8% avec 27,5 millions de m^3 standard/jour de gaz sec.
- **GPL** : Propane (C_3H_8) = 69% et Butane (C_4H_{10}) = 26%. Avec 2630 tonnes/jour de GPL
- **Condensat** : Heptanes et plus (C_{7+}) = 67%, Butanes (C_4) = 4%, Pentanes (C_5) = 8%, Hexanes (C_6) = 18%. Avec 4 460 tonnes/jour de condensat stable [31]

2.1 Système d'évacuation par canalisation vers TRC :

Le système d'évacuation par canalisation reliant le CPF d'IA et le réseau de transport par canalisation de TRC consiste en les principales canalisations d'évacuation suivantes :

- La canalisation d'évacuation de **Gaz Naturel**, d'une longueur d'environ 88 km et d'un diamètre de 36 pouces, part du CPF d'IA pour rejoindre les gazoducs de transport de TRC (GR1 et GR2) près de l'usine à gaz D'OHANET. Sa capacité de transport est de 38,03 millions de mètres cubes standard par jour, équivalant à 1 343 millions de pieds cubes standard par jour.
- La canalisation d'évacuation de **GPL**, d'une longueur d'environ 88 km et d'un diamètre de 12 pouces, part du CPF d'IA pour rejoindre les gazoducs de transport du GPL de TRC (LR1 et DLR1) près de l'usine de gaz D'OHANET. Sa capacité de transport est de 9 938 mètres cubes standard par jour, équivalant à 62 510 barils standard par jour.
- La canalisation d'évacuation de **condensat**, longue d'environ 92 km et d'un diamètre de 12 pouces, part du CPF d'IA pour rejoindre la canalisation de transport du condensat de TRC près de l'usine de gaz D'OHANET. Elle peut transporter 63 041 barils de stockage par jour, équivalant à 10 023 barils de stockage par jour.[15]

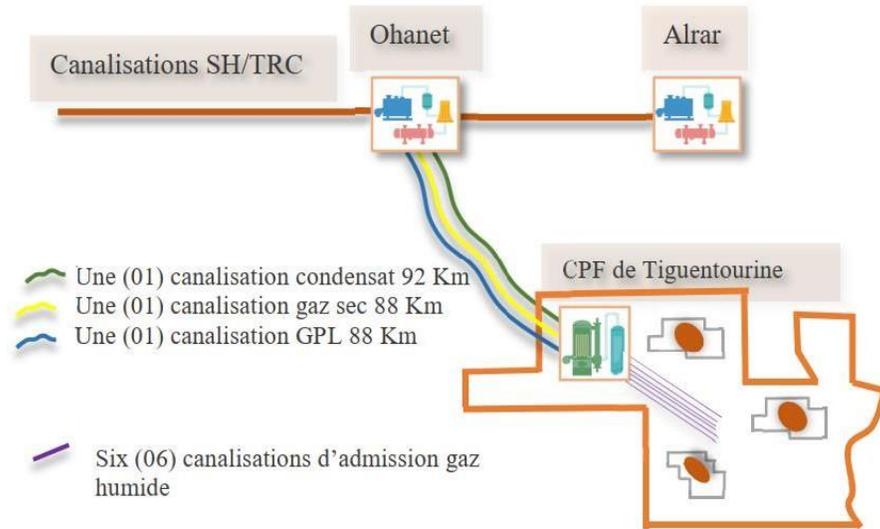


Figure 14 : Système d'admission et d'évacuation par canalisation.

2.2 Description de l'exploitation à IA :

2.2.1 Puits de production :

Le démarrage de la production a eu lieu en 2006, avec dix (10) puits de production. Le champ de TIGUENTOURINE compte 64 puits producteurs. La Figure 4.6 détaille l'emplacement et le nombre de puits en production, ceux qui n'ont pas été mis en service, ceux qui sont actuellement en cours de forage, ainsi que l'emplacement de futures forages potentiels. Le développement du champ de TIGUENTOURINE est suivi actuellement par le forage de six (06) puits dans les trois années à venir.

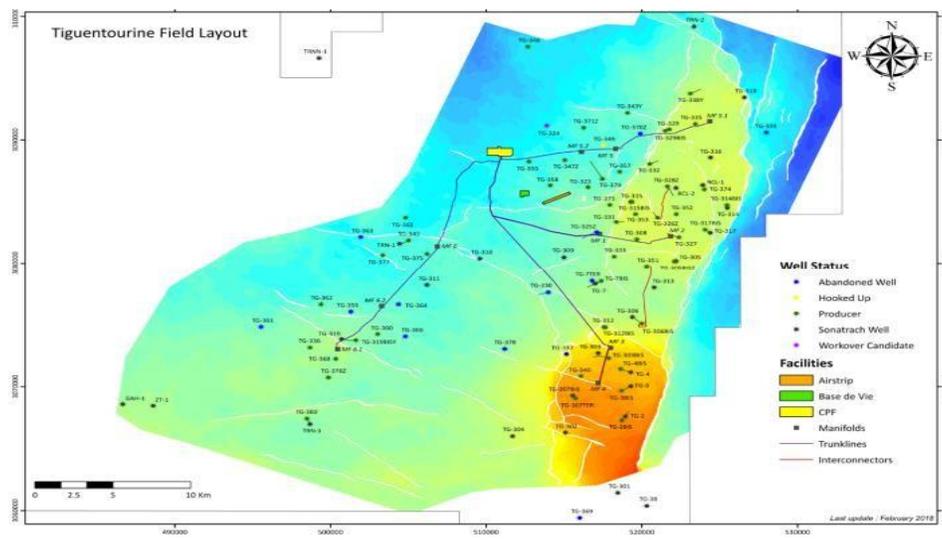


Figure 15 : Situation des puits et réseau de collecte.

Les installations des emplacements de forage sont installées sur des plates-formes de forage et comprennent les systèmes principaux suivants :

- Tête(s) de puits ;
- Contrôle des puits ;
- Instrumentation de surveillance des puits (pression, température et débit) ;
- Système (s) de sécurité ;
- Matériel de communication.

Puis **Le système de collecte de la production** comprend un réseau de lignes d'écoulement individuelles reliées par dix (10) manifolds de champ à six (06) canalisations régionales principales existantes. Il est conçu pour transporter des fluides de puits à phases multiples vers l'installation centrale de traitement (CPF) située sur la falaise de TIGUENTOURINE, au nord de la zone de développement.[15]

2.3 Description générale des installations :

2.3.1 Description sommaire de CPF d'IA :

L'installation centrale de traitement existante (CPF d'IA), reçoit des fluides provenant des puits par l'intermédiaire de six (06) canalisations principales existantes qui s'écoulent dans des manifolds d'admission qui transportent les fluides vers deux (02) pièges à condensat.

L'installation centrale de traitement comprend essentiellement les éléments suivants :

- Six (06) manifolds et deux (02) pièges à condensat à conduites multiples (SLUG CATCHERS) reçoivent des fluides provenant de cinq (05) canalisations principales. Ils effectuent une première séparation des phases gazeuses, des hydrocarbures liquides et de l'eau.
- Deux (02) trains de compression à l'admission : permet de réduire la pression de service du système de collecte, réduisant ainsi la contre-pression aux puits reliés et augmentant la production provenant du stock des puits producteurs.
- Trois (03) trains identiques parallèles de traitement reçoivent des liquides provenant du gaz humide sortant des pièges à condensat. Ils effectuent des séparations initiales à travers le système de traitement des gaz humides, comprenant l'élimination du H₂S/Hg, l'adoucissement aux amines, le séchage et le contrôle du point de rosée.

- Une (01) unité d'élimination du CO₂ reçoit les gaz provenant des filtres terminaux et des absorbeurs de H₂S. Elle est chargée d'éliminer le CO₂ conformément aux spécifications du produit.
- Un (01) système de déshydratation du gaz : reçoit du gaz provenant des filtres terminaux de l'absorbeur de H₂S du gaz et de l'unité d'élimination du CO₂. Assure l'élimination de l'eau du gaz d'alimentation pour satisfaire les exigences de traitement et répondre à la spécification du produit de gaz résiduel.
- Un (01) système de traitement de gaz sec : reçoit du gaz déshydraté provenant des filtres de déshydratation. Assure la récupération des composants liquides (propane et éléments plus lourds), élimine aussi des liquides séparés l'éthane et les composants plus légers par fractionnement.
- Un (01) système de stabilisation de condensat : reçoit des fluides principalement depuis le système de piège à condensat et le système de gaz humide. Assure une séparation de gaz et de l'eau produite du condensat liquide ;
- Un (01) système de séparation du produit liquide : reçoit les liquides froids depuis le déséthaniser dans le train de traitement et du condensat partiellement stabilisé provenant du stabilisateur de condensat. Assure la production de GPL mélangé et de condensat stable conforme aux spécifications des deux produits.
- Une (01) unité de récupération de la phase gazeuse : reçoit les vapeurs de tête depuis le stabilisateur de condensat et le gaz détendu provenant du séparateur de condensat d'admission avant détente. Assure la récupération et la compression des gaz libérés dans le système de stabilisation du condensat pour délivrance au système de traitement du gaz humide.
- Un (01) système d'eau produite : reçoit de l'eau de différentes sources (Pièges à condensat, les séparateurs, Épurateur, stabilisateur de condensat, etc.). Assure une séparation des gaz dissous et tous les liquides d'hydrocarbure présents dans l'eau produite.
- Un (01) système de compression du gaz résiduel : reçoit le gaz traité à partir de chaque train de traitement. Assure une compression du gaz résiduel afin de le transporter vers le gazoduc de transport de TRC à OHANET.
- Un (01) système de stockage et d'exportation du GPL : reçoit du GPL conforme à la spécification et hors spécification depuis les accumulateurs de tête de la colonne de séparation dans chaque train de traitement. Assure le stockage du GPL après élimination de H₂S et assure aussi l'exportation vers le réseau TRC après comptage.

- Un (01) système de stockage et d'exportation du condensat : reçoit les condensats conformes à la spécification et hors spécification depuis les colonnes de séparation dans chaque train de traitement. Assure le stockage des condensats en vue de leur exportation vers le réseau TRC après comptage.[15]

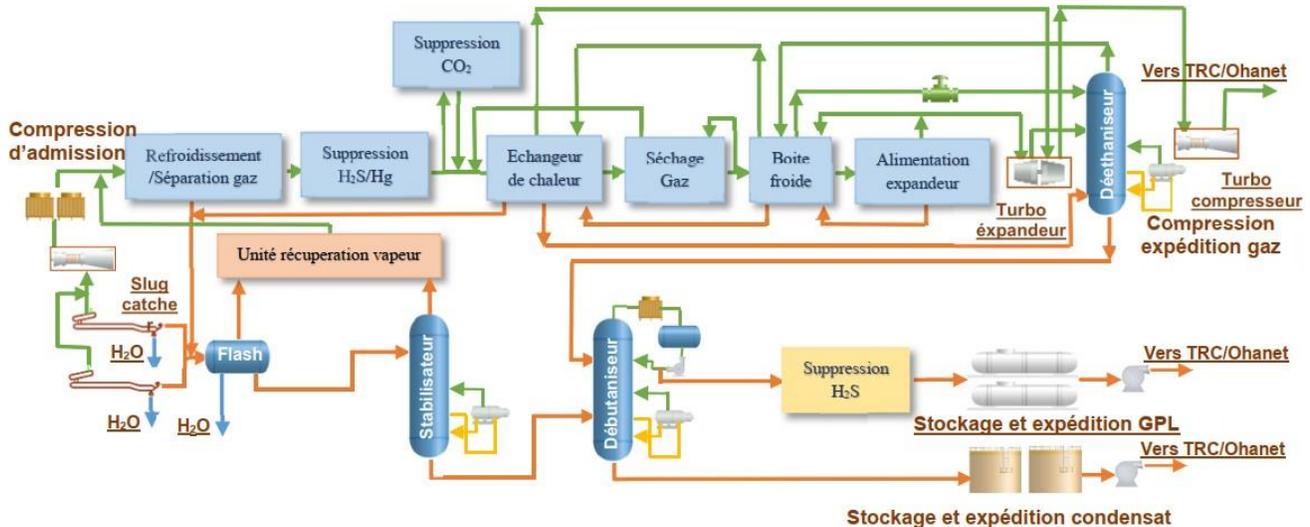


Figure 16 : Organigramme fonctionnel simplifié du CPF d'IA.

3. Organisation de l'entreprise :

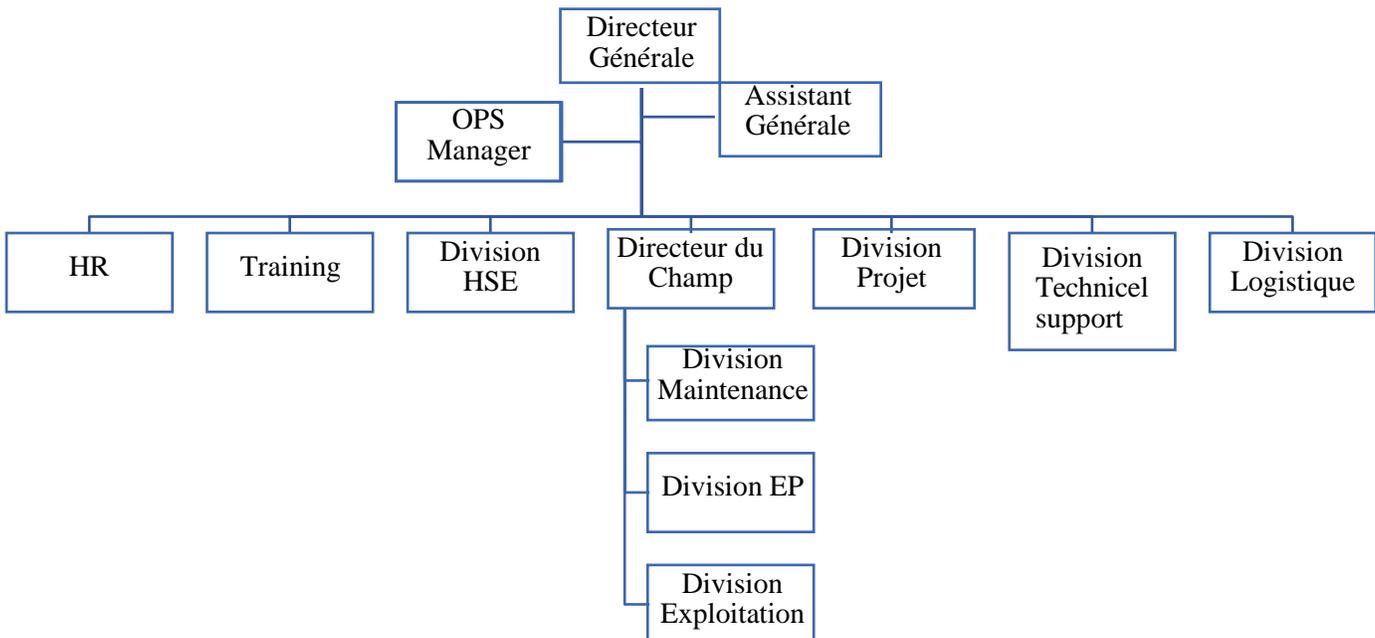


Figure 17 : Organisation de l'entreprise du CPF d'IA.

3.1 Division HSE (Health Safety and Environment):

La division HSE a pour rôle d'assurer la sécurité du personnel, matériel et environnement. Elle est chargée aussi de faire les évaluations des risques en participant à la délivrance du permis de travail avant d'entrer les tâches de maintenance préventives et correctives.

La revue initiale de ce département consiste à recenser les éléments nécessaires en vue d'élaborer un plan d'action et d'identifier les éléments du système existant pour la mise en place d'un système de management HSE. Dans son plan de travail le département sert à assurer la sécurité des travailleurs ou visiteurs de champs d'In Amenas à travers un ensemble d'action relative à la sécurité humaine.

Le département HSE est composé des services suivants :

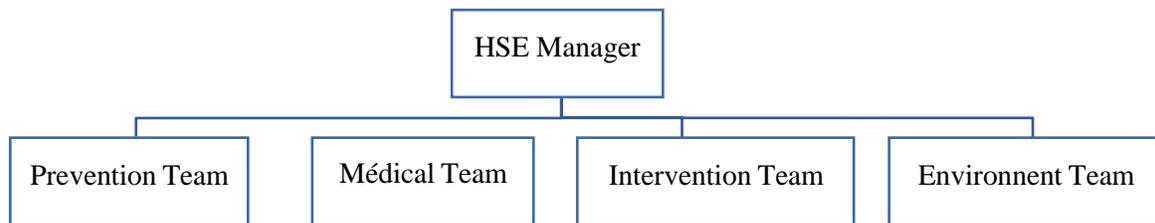


Figure 18 : Structure de département HSE.

3.1.1 Service prévention :

Il a pour rôle la fourniture des permis de travail après contrôle de l'analyse des accidents de travail, informés les ouvrières des dangers qu'ils courent par les affiches montrant le type d'accidents pouvant subvenir.

3.1.2 Service intervention :

Il a pour mission d'intervenir en cas d'accident de feu d'hydrocarbures ou débordements des bacs de stockage...etc.

3.1.3 Service environnement :

Il a pour responsabilité de créer un milieu de travail sain, pour augmenter la production, pour conserver la vie du personnel et éliminer le maximum des accidents. Dont les règles d'or de la sécurité doivent être appliquées à la lettre afin de garantir la sécurité de nos collaborateurs et des communautés au sein desquelles nous vivons.

3.1.4 Service Médical :

Le bien-être des employés est une responsabilité essentielle confiée à l'équipe médicale. Avec un engagement ferme à fournir des soins médicaux rapides et efficaces, cette vue d'ensemble examine les rôles, les responsabilités et la gestion globale de la santé au travail sous la direction de l'équipe médicale.

3.2 Division EP (Engineering Production):

La division exploitation puits est chargée d'exploiter les puits, le système de production et de collecte. Elle assure aussi l'acheminement du brut au CPF pour le traitement.

3.3 Division Exploitation :

Il a pour rôle la fourniture des permis de travail après contrôle de l'analyse des accidents de travail, informés les ouvrières des dangers qu'ils courent par les affiches montrant le type d'accidents pouvant subvenir.

3.4 Division Maintenance :

La division maintenance avec ses quatre services (mécanique, électricité, instrumentation et planning) est chargée de préparer et faire toutes les opérations mécaniques et électriques, dans l'unité centrale de production CPF et au niveau de système de collecte tel que les puits (maintenance corrective et préventive).

3.5 Division Technical Support :

La division technique et support a pour rôle de :

- Suivre la production et établir les bilans.
- Préparation et programmation des arrêts.
- Etude et gestion de modification.

La division apporte aussi un support technique multidisciplinaire à la maintenance à travers le service « Technical authorities ».[31]

4. Chaîne de traitement du gaz humide :

4.1 Refroidissement et séparation du gaz d'entrée :

Le gaz provenant du slug-catcher est pressurisé à 71,3 bars et refroidi à 60°C dans l'aéroréfrigérant pendant les mois chauds. En hiver, lorsque la température peut chuter jusqu'à -5°C, le gaz est évité de passer par l'aéroréfrigérant pour empêcher la formation d'hydrates. Après refroidissement, il est combiné avec le gaz de l'aéroréfrigérant de l'unité VRU et passe dans le séparateur pour séparer les hydrocarbures liquides et l'eau. Les liquides sont dirigés vers le séparateur, tandis que l'eau va vers le séparateur, le tout sous contrôle de niveau.

4.2 Désulfuration et démercurisation :

4.2.1 But d'éliminer l'H₂S et l'Hg :

Le gaz humide contient jusqu'à 5 ppm/volume de sulfure d'hydrogène (H₂S) et jusqu'à 200 ng/Sm³ de mercure (Hg). Environ 75% du gaz du séparateur est traité dans l'absorbeur, utilisant le catalyseur PURASPEC pour éliminer à la fois le H₂S et le Hg. Les 25% restants passent par l'absorbeur, utilisant le catalyseur PURASPEC pour éliminer uniquement le mercure.

Décarbonatation :

4.2.2 But d'éliminer le CO₂ :

60% du gaz des filtres est traité dans la colonne d'absorption pour contrôler la teneur en CO₂ après la désulfuration. Le gaz entre par le fond de l'absorbeur, traverse les lits à garnissage avec le solvant d'amine pauvre en CO₂, et ressort décarbonaté par la tête de l'absorbeur. Le solvant d'amine riche en CO₂ est récupéré au fond. Une partie du gaz traité est mélangée au gaz non traité et au gaz de régénération des sécheurs après passage par le ballon tampon pour récupérer des gouttelettes d'amine riche en CO₂. La teneur en CO₂ est maintenue en dessous de 2% mole par un régulateur de débit, avec l'absorbeur fonctionnant à 69,2 bars et alimenté par un solvant à 58°C.

4.3 Déshydratation :

4.3.1 But d'éliminer le H₂O :

Le gaz pauvre de l'unité de décarbonatation est déshydraté dans l'unité pour éviter la formation d'hydrates dans la section froide. Trois ballons de déshydratation parallèles utilisent un adsorbant de tamis moléculaire (Zéochem). Pendant le cycle d'adsorption, le gaz circule de haut en bas, puis inversement lors du cycle de régénération. Deux déshydrateurs sont opérationnels pendant que le troisième est en régénération.

4.4 Boite froide et séparation :

Le gaz sec des sécheurs est refroidi à environ 12,5°C dans la Boite froide par le gaz de tête du dééthaniseur et celui du ballon d'alimentation du turbo-expandeur. En sortant de la boite froide partiellement condensé, le gaz entre dans le ballon où les liquides condensés sont séparés des gaz. Le liquide du fond du est vaporisé à environ 29°C dans la boite froide, tandis que 26% du gaz de la tête du ballon est refroidi jusqu'à -69°C par les gaz de tête du dééthaniseur.

4.5 Turbo-Expandeur :

74% du gaz de la tête du ballon est détendu dans le côté expandeur du turbo-expandeur jusqu'à environ 17,8 bars. Il alimente ensuite le 15ème plateau du dééthaniseur, utilisant l'énergie extraite par l'expandeur pour entraîner le compresseur du turbo-expandeur qui comprime le gaz jusqu'à 23 bars pour maintenir la pression d'admission des compresseurs d'expédition. En cas de défaillance du turbo-expandeur, une vanne Joule-Thomson assure le fonctionnement continu du train.

4.6 Dééthaniseur :

Le dééthaniseur sépare l'éthane et les composants plus légers du propane et des composants plus lourds. L'éthane sort en tête de colonne, tandis que les produits lourds alimentent le débutaniseur depuis le fond de la colonne. La colonne a 33 plateaux à soupape à deux voies et reçoit deux alimentations :

1. Une alimentation froide du 15ème plateau depuis l'expandeur.
2. Une alimentation chaude du 27ème plateau depuis les liquides vaporisés du fond du ballon.

Le reflux est contrôlé par des gaz refroidis du ballon et une vanne de détente. Normalement, la tête de colonne est à -72°C et 17,3 bars. En cas d'utilisation de la vanne JT (turbo-expandeur à l'arrêt), ces valeurs changent à -16°C et 27 bars.

4.7 VRU (Unité de récupération de vapeur) :

L'unité de récupération de vapeur (VRU) recueille et compresse les gaz du système de stabilisation de condensat, maintenant ainsi la pression requise dans ce système. Les vapeurs de tête du stabilisateur sont comprimées dans le premier étage du compresseur VRU, combinées avec les gaz flash du séparateur de pré-flash, puis comprimées à nouveau dans le deuxième étage avant d'être refroidies et dirigées vers le traitement du gaz humide.[31]

5. Chaîne de traitement des hydrocarbures liquides :

5.1 Stabilisation du condensat (la stable) :

Les hydrocarbures liquides provenant du slug-catcher et du traitement du gaz humide sont pressurisés à environ 30 bars et dirigés vers le séparateur de pré-flash des hydrocarbures liquides. Dans ce séparateur, ils sont séparés des gaz légers comme l'azote, le méthane et l'éthane. Les liquides passent ensuite par des filtres coalesceurs pour éliminer toute eau libre. Le stabilisateur de condensat reçoit ensuite ces hydrocarbures liquides au premier plateau pour séparer les composants C2- des composants plus lourds C3-. Toute eau libre est dirigée vers le ballon dégazeur d'eau produite pour être rejetée.

5.2 Débutaniseur :

Le débutaniseur sépare le GPL et les composants plus lourds du stabilisateur. Il comporte 36 plateaux à soupapes à deux voies et reçoit deux alimentations : une charge du fond du dééthaniseur entre au 16ème plateau après préchauffage à 106 °C, tandis qu'une autre alimente le 26ème plateau à partir du fond du stabilisateur. Le produit de tête se condense dans le ballon de reflux, où une partie est utilisée comme reflux pour le débutaniseur, et le reste est stocké comme GPL. Les produits lourds quittent le fond du débutaniseur pour le stockage après passage par la batterie d'échangeurs.

5.3 Compression et expédition du gaz de vente (RGC) :

Le système de gaz résiduel de compression et d'expédition traite le gaz de chaque train via un collecteur commun. Son objectif est de comprimer ce gaz jusqu'à la pression d'expédition, de le compter et de l'acheminer par pipeline vers le réseau de transport de Sonatrach à OHANET. Il comprend trois unités de compression parallèles, chacune avec un compresseur centrifuge entraîné par une turbine à gaz, augmentant la pression du gaz de 22,5 bars à environ 75 bars. Le skid de comptage fiscal du gaz résiduel comprend des débitmètres et envoie le gaz résiduel, à 74 bars et 54°C, vers un pipeline d'évacuation de 88 km de diamètre 36".[31]

6. Section de stockage :

Sur le centre de traitement, le Stockage des hydrocarbures est considéré comme la dernière étape de la chaîne de production. Le stockage du GPL et du condensat consiste à immobiliser temporairement certains volumes des deux produits dans des capacités de stockage appelées appareils à pression comme les cigares, les sphères ou réservoirs (bac à toit flottant et ballon sous pression) selon le produit stocké), ou pas, sous pression comme les bacs à toit fixe.

6.1 Stockage du GPL :

Le système de stockage du GPL et l'expédition reçoit le GPL on-spécification et off- spécification à partir des accumulateurs de tête de séparation de produit dans chaque train de process. Les bacs de stockage du GPL sont des ballons sous pression cylindriques où la pression est de 16.3 bars et la température varie de 60°C jusqu'à 91°C. Il y a 8 bacs de stockage de GPL devisés en 2 groupes de 4 (4 pour l'on-Spec et 4 pour l'off-Spec).

6.2 Stockage du condensat :

Le système d'expédition et de stockage de condensat reçoit le condensat on- spécification ou off-spécification à partir des séparateurs dans chaque train de process. Les deux réservoirs de stockage du produit condensat on-Spec sont de type toit flottant, avec une capacité de 7950 m³ et d'une autonomie de 24h. Le condensat est stocké à la pression atmosphérique et approximativement 56°C. Le condensat off-Spec produit durant des conditions de perturbations ou de conditions anormales d'exploitation est dirigé vers le ballon de dégazage de condensat puis envoyé au bac de stockage de condensat off-Spec qui est de type toit fixe.[31]

7. Les zones du champ gazier de TIGUENTOURINE « CPF »

Chaque installation de l'établissement doit être regroupée en zones.

- Zone A : Zone bâtiment.
- Zone B : Zone utilités.
- Zone C : Zone admission.
- Zone D : Zone traitement.
- Zone E : Zone compression gaz résiduel.
- Zone F : Zone stockage.
- Zone G : Zone torche et gares racleurs.[15]

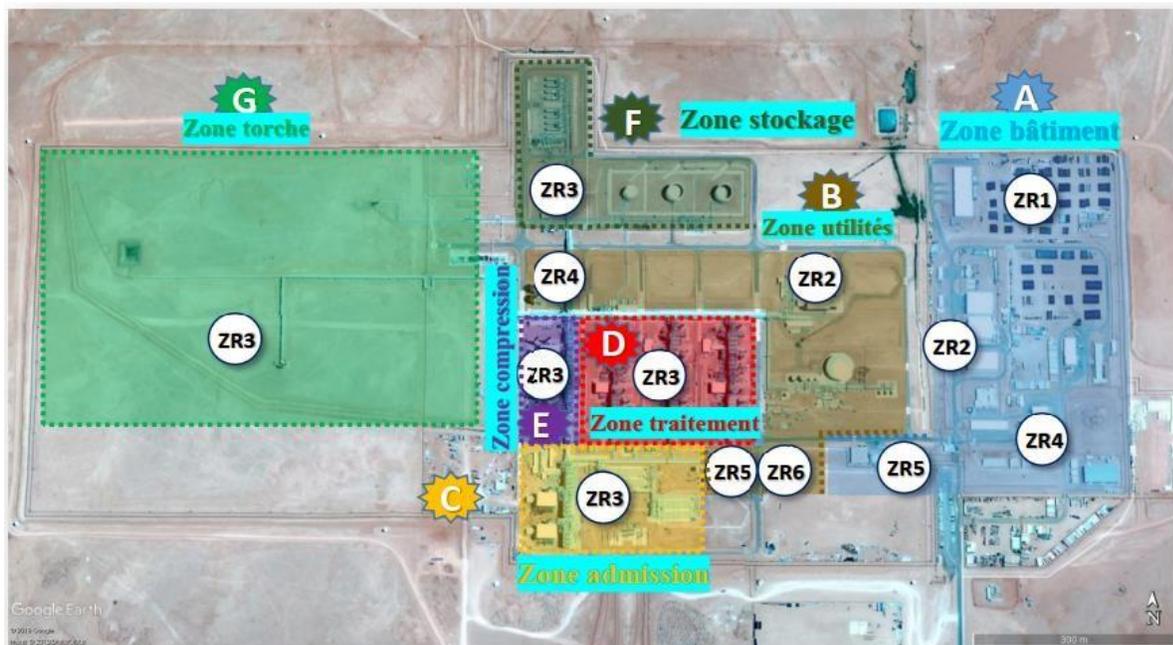


Figure 19 : Plan d'ensemble des zones de risques.

8. Identification des Systèmes à étudier :

La zone de stockage du champ gazier de TIGUNTOURINE « CPF » comporte 8 cigares de GPL Stocké sous pression de 4 on-spécification et 4 off- spécification. Et 3 Back de Condensat de 2 on-spécification et 1 off-spécification.

8.1 Stockage du GPL :

8.1.1 Descriptions du procédé :

GPL des trains de process est pompé par les pompes de reflux de tête de division de produit vers la zone de stockage à la pression au-dessus 16.3 barg et la température de 61.5°C.

Sous les circonstances normales le GPL on-spécification s'écoule à partir de refoulement des pompes de reflux de diviseur de produit à travers les vannes d'arrêt d'urgence dans chaque train à l'absorbeur de H2S de GPL.

En cas de perturbations dans le système de division de produit résultant dans la production off-spécification, GPL peut être dévié à travers les vannes d'arrêt d'urgence dans chaque train et s'écoule vers l'absorbeur de H2S de GPL.

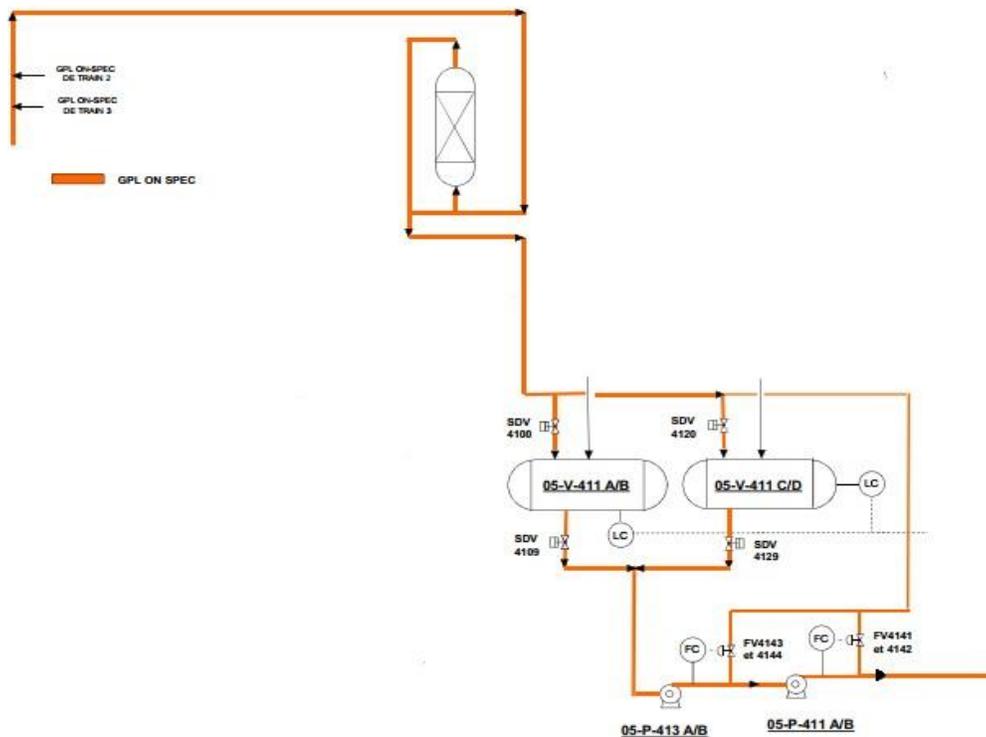


Figure 20 : Système de stockage de GPL.

Le produit GPL rentrent dans le pipeline doit rencontrer les spécifications de produit suivant :

Table 4 : Spécifications du GPL.

Caractéristiques de Produit	Spécification de Valeur
Pression Maximale de Vapeur	1434 kPag at 37.8°C
Résiduel Volatile : Température maximale à 95% évaporation	2.2°C
Ethane Maximum et Léger	3.0 mole%
Pentane Maximum et Lourd	2.0 liquide vol% 0.4 mole%
Concentration Totale Souffre	140 ppmw
Eau Libre	Rien

Les éléments des d'équipements suivants sont inclus dans le réservoir de stockage de GPL :

8.1.2 Absorbours H₂S de GPL :

Les absorbours de H₂S de GPL sont des ballons verticaux, chacun contient un lit rempli d'absorbent Puraspec. Le niveau de H₂S dans le GPL est réduit de 2.0 ppmv supposée pendant l'alimentation jusqu'à 0.1 ppmv après traitement dans l'absorbours.

8.1.3 Bac Stockage GPL On-Spec:

Description :

Type : Ballon cylindrique horizontal sous pression

Taille : 3700 mm ID x 20800 mm T/T

Capacité : Each bullet 250m³

Matériels : Acier au carbone calaminé

Type d'isolation : Anti- dépaillonrant

Le GPL est stocké dans le bac à la pression 16.3 barg et à la température de 60°C jusqu'à 91°C.

Il y a quatre (04) bacs de stockage de GPL On-Spec disposées dans deux paires parallèles. Chaque paire est conçue pour fonctionner comme unité simple, partageant les canalisations d'entrée communes et de sortie et la canalisation d'équilibrage de vapeur pour relier l'espace de vapeur de chaque bac.

Le liquide recyclé des pompes booster GPL de pipeline et Les pompes GPL principales de pipeline s'écoule dans la ligne d'aborder de GPL On-Spec. D'amont des paires de bullet de stockage.

8.1.4 Pompes Booster GPL Pipeline :

Pompes booster GPL pipeline sont des pompes verticales multi -étage équipées d'une cuvette cylindrique entraînées par des moteurs électriques. La pompe principale fonctionne à une pression d'aspiration de 16.3 barg et à une pression de refoulement normale de 21.6 barg. La température de refoulement dépend aux conditions de stockage mais est prévue d'être à l'environ 60°C.

8.1.5 Pompes Principales GPL Pipeline :

Pompes principales GPL pipeline sont des pompes centrifuge horizontales multi -étage entraînées par des moteurs électriques. La pompe principale fonctionne à une pression d'aspiration de 21.6 barg et à une pression de refoulement normale de 94.8 barg. La température de refoulement dépend aux conditions de stockage mais est prévue d'être à l'environ 60°C.

- **Skid de comptage fiscal de GPL :**

GPL provenance des pompes principales GPL est acheminé vers le skid de comptage fiscal GPL. Le skid de comptage fiscal GPL se compose de débitmètres type coriolis. Pendant le fonctionnement normal, un coriolis mètre sera en service et l'autre en réserve. Chacun de coriolis mètre est équipé des vannes d'isolation sur les côtés amont et de compteur, afin de faciliter le travail de la maintenance sur les dispositifs.

8.1.6 Bac de Stockage GPL Off-Spec:

Description :

Type : Ballon cylindrique horizontal sous pression

Taille : 3700 mm ID x 20800 mm T/T

Capacité : Each bullet 250m3

Matériels : Acier au carbone calaminé

Type d'isolation : Anti- dépavillonrant

Le GPL est stocké dans les bacs à une pression 16,3 barg et à une température entre 60°C à 91°C.

Il y a (04) quatre bacs de stockage de GPL Off-Spec disposées dans deux paires parallèles. Chaque paire est conçue pour faire fonctionner comme une unité simple, partageant les canalisations d'entrée communes et de sortie et la ligne d'équilibrage de vapeur pour relier l'espace de vapeur de chaque bullet.

Les bacs de stockage de GPL Off-Spec reçoivent GPL traité Off-Spec par l'absorbeur de H₂S de GPL. Le liquide recyclé par les pompes Retraitement de GPL s'écoule également dans la ligne aborder GPL Off-Spec d'amont des paires de bullet de stockage.

8.1.7 Pompes Retraitement GPL :

Pompes GPL Retraitement sont des pompes verticales multi -étage équipées d'une cuvette cylindrique entraînées par des moteurs électriques. La pompe sélectionnée fonctionne à une pression d'aspiration de 16.3 barg et à une pression de refoulement normale de 21.5 barg. La température de refoulement dépend aux conditions de stockage mais est prévue d'être à l'environ 60°C.

8.1.8 Pipeline Evacuation du GPL :

Le GPL du skid de comptage fiscal s'écoule à une pression environ 92,7 barg et à la température autour de 60°C dans le pipeline d'évacuation de GPL.

Le pipeline d'évacuation de GPL, qui est 12 " de diamètre et 88 kms longueur, transporte le GPL du CPF au pipeline de transport de Sonatrach au niveau de OHANET.

Le pipeline est enterré en dehors de CPF et protégé contre la corrosion externe par un revêtement anti-corrosif époxyde collé par fusion et un système courant appliqué sur le pipeline. Il y a deux stations intermédiaires de vanne de sectionnement situées à un espacement nominal de 30 kilomètres. Chaque station de vanne de sectionnement contient une vanne d'arrêt "Marche/Arrêt" à double action gaz-over-l'huile, qui peut être actionné en cas d'urgence. [32]



Figure 21 : Stockage de GPL (les cigares).

8.2 Stockage du Condensat :

8.2.1 Descriptions du procédé :

Le condensât s'écoule à partir le système de séparation de produit dans chaque train de process vers le système de stockage de condensât.

Le condensât s'écoule à travers la vanne de niveau et est normalement véhiculé à travers les vannes d'arrêt d'urgence au collecteur rundown on-spécification. La ligne rundown on-spécification fournit le condensât à la pression à l'environ 2.5 barg et 56°C pour les réservoirs de stockage de produit condensât.

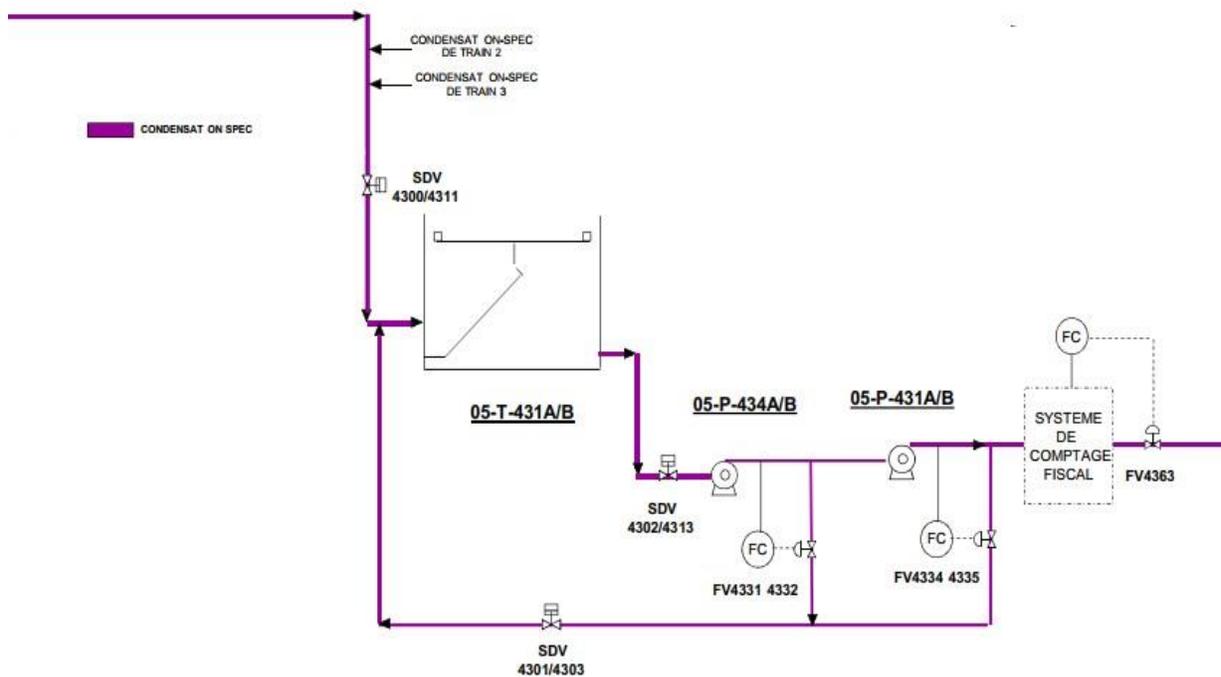


Figure 22 : Système de stockage du condensat.

Le produit condensât entrent le pipeline d'évacuation doit rencontrer les spécifications de produit suivantes :

Table 5 : Spécifications du Condensat.

Caractéristiques de Produit	Spécification de Valeur
Sulphur Total	0.005 wt%
Sell total par poids	Moine que 0.06 kg/tonne
BS&W par volume	Moine que 0.06 kg/tonne
RVP	Moine que 10psia

8.2.2 Réservoirs de stockage de produit de condensât on-Spec :

Le condensât est stocké à la pression atmosphérique et approximativement 56°C.

Description :

Type : Réservoirs de stockage à toit flottant

Taille : 22500 mm ID x 20000 mm H

Capacité : Chaque Réservoir 7950m³

Matériels : Acier au carbone calaminé

Type d'isolation : Aucun

8.2.3 Pompes Booster de Pipeline de Produit Condensât :

Les pompes booster de pipeline de produit condensât sont des pompes mono-étagé, verticales, équipées d'une cuvette cylindrique, les pompes sont entraînées par des moteurs électriques. La pompe principale fonctionne avec une pression d'aspiration de 0.05 barg et une pression de refoulement normale de 2.02 barg. La température de refoulement dépend des conditions de stockage mais est prévue pour être 57°C.

8.2.4 Pompes Principale Pipeline Produit Condensât :

Les pompes principales de pipeline de produit condensât des pompes centrifuge, horizontale, multi-étage, entraînées par les moteurs électriques. Les deux pompes fournissent une capacité 100% et fonctionnent dans une configuration principale réserve. La pompe principale fonctionne avec une pression d'aspiration de 1.7 barg et une pression de refoulement normale de 78.1 barg. La température de refoulement dépend des conditions de stockage mais est prévue pour être autour de 57°C.

8.2.5 Skid de comptage fiscal de condensât :

Le condensât provenant des pompes principales de produit condensât est acheminé vers le skid de comptage fiscal. Le skid de comptage fiscal de condensât se compose de 03 compteurs mètre, contenant coriolis mètre. Pendant le fonctionnement normal, 02 coriolis mètres seront service et l'autre en mode de réserve. Chacun de coriolis mètre est équipé de doubles vannes d'isolation sur les côtés et de compteur mètre, afin de faciliter le travail d'entretien sur les compteurs mètre.

8.2.6 Ballon de dégazage de condensât :

Au cas où, le condensât off-spécification serait produit dans le système de séparation de produit, par exemple pendant les conditions de fonctionnement anormales. Le condensât peut-être détourné à travers dans chaque train de process vers le ballon de dégazage de condensât.

Condensât Off-spec s'écoule au ballon de dégazage de condensât à travers la vanne d'arrêt située sur la ligne d'aspiration de ballon. Liquide hydrocarboné pompé à partir de la torche HP Flare de ballon Knock-Out s'écoule à travers de la ligne d'aspiration de ballon de dégazage.

8.2.7 Réservoir de Condensât Off- Spec :

Description :

Type : Réservoir horizontal à toit fixe

Taille : 17500 mm ID x 15000 mm H

Capacité : 3608m³

Matériels : Carbone Steel

Type d'isolation : Aucun

Le réservoir de condensât Off-Spec 05-T-432 est un réservoir de type toit fixe avec une capacité de 3608m³, équivalent presque 10 heures de stockage à la capacité de design.

Le réservoir fonctionne à la pression entre 22 mbarg et 12 mbarg. La pression est maintenue dans cette plage par un système de gaz de couverture. Condensât s'écoule à partir de réservoir de condensât Off-Spec à travers la vanne d'arrêt de refoulement vers l'aspiration des pompes retraitement de condensât.

8.2.8 Pompes Retraitement du Condensât :

Les pompes Retraitement de condensât sont des pompes verticales multi-étagé, équipée d'une cuvette cylindrique, entraînée par moteur électrique. Lorsque sera requise pour faire fonctionner le condensât, la pompe sélectionnée fonctionne avec une pression d'aspiration environ 0.1 barg et la pression normale de refoulement de 24.2 barg. La température de refoulement dépend des conditions de stockage, mais elle est prévue peut-être autour de 25°C.

8.2.9 Réservoir de vidange de condensât :

Le réservoir de vidange de condensât est un ballon horizontal situé dans fosse de brûlage. L'objet de réservoir de vidange est de collecter les vidanges d'entretien des équipements dans la zone de stockage de condensât. Le liquide vidangé à partir de la tuyauterie et l'équipement passe au réservoir de vidange à travers le collecteur de vidange de condensât par gravité et entre dans le ballon à travers la vanne à boisseau sphérique verrouillée à l'ouverture.

8.2.10 Pompes de vidange de Condensât :

Les pompes de vidange de condensât sont des pompes horizontales, centrifuge, monoétage, entraînée par moteur électrique. Seulement une de deux pompes est installée ; l'autre est gardée dans le magasin comme étant pompe de rechange.

8.2.11 Pipeline d'évacuation de Condensât :

Le condensât provenant de skid de comptage fiscal s'écoule à la pression environ 77 barg et la température autour de 56°C au pipeline d'évacuation de condensât. Le pipeline d'évacuation de condensât, qui est 12'' de diamètre et 92 kms de longueur, transporte-le condensât à partir de CPF vers le pipeline de transportation de Sonatrach à OHANET. Le pipeline aérien est revêtu à sa surface externe d'une bonde d'époxy par fusion. Il y a deux stations intermédiaires de vanne de sectionnement situées à un espacement nominal de 30 kilomètres.[32]



Figure 23 : Stockage de condensat on-spec.

9. Les données météorologiques :

Les données météorologiques à utiliser dans cette étude sont décrites dans le tableau ci-dessous.

Table 6 : Les données météorologiques du CPF.

Paramètres météorologiques	
Température ambiante (°C)	27°C
Humidité moyenne (%)	55%
Radiations solaires	0.6KW/m ²
Pasquil Stability	C/5

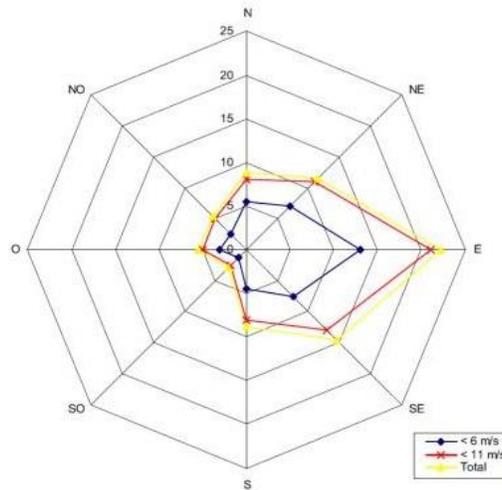


Figure 24 : Rose des vents général Région d'IA. [15]

10. Cas de Défaillance :

Les tailles de fuite représentatives suivantes ont été appliquées :

Table 7 : Les tailles de fuite représentatives.

Type de fuite	Trou équivalent	Taille d'un trou
Petite fuite	10 mm	3 à 10 mm
Fuite moyenne	50 mm	10 à 50 mm
Fuite large	+50 mm	+50 mm
Catastrophe rupture	150 mm	Plus 150 mm rupture de la guillotine

Tous les taux de rejet de chaque scénario de défaillance sont calculés à l'aide du SAFETI en fonction de la taille de ces rejets, ainsi que de la pression et de la température du rejet.[15]

11. Données de base équipe et charge de travail :

Les considérations suivantes concernent la description du poste pour les différents groupes de travail, la fraction de temps pause sur le site de la CPF d'IA et le nombre total de personne.[15]

Table 8 : Données de base équipes et charge de travail.

Nombre total de Personnel	Description du poste	Nombre moyen de jours de travail par an	Nombre total de personnel
Management du site	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 10 personnes travaillant en rotation.	183	20
Administration	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 10 personnes travaillant en rotation.	183	20
Production puits	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 35 personnes travaillant en rotation.	183	70
Process & exploitation	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 50 personnes travaillant en rotation.	183	100
Mécanique	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 15 personnes travaillant en rotation.	183	30
Pipeline	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 10 personnes travaillant en rotation.	183	20
Electricité et protection cathodique	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 15 personnes travaillant en rotation.	183	30
Instrumentation et DCS	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 20 personnes travaillant en rotation.	183	40
Telecom et SCADA	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 4 personnes travaillant en rotation.	183	8
HSE prévention	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 5 personnes travaillant en rotation.	183	10
HSE intervention	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 15 personnes travaillant en rotation.	183	30
HSE environnement	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 2 personnes travaillant en rotation.	183	4
Intégrité	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 10 personnes travaillant en rotation.	183	20

CHAPITRE 03 : PRESENTATION DE L'UNITE

Inspection	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 15 personnes travaillant en rotation.	183	30
Superviseur	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 15 personnes travaillant en rotation.	183	30
Operateur	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 30 personnes travaillant en rotation.	183	60
Laboratoire	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 4 personnes travaillant en rotation.	183	8
Magasin	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 15 personnes travaillant en rotation.	183	30
Jardinage	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 8 personnes travaillant en rotation.	183	16
Nettoyage	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 50 personnes travaillant en rotation.	183	100
Clinique médicale	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 7 personnes travaillant en rotation.	183	14
Visite technique	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 15 personnes travaillant en rotation.	183	30
Sécurité du site	12 h travaillées par jour 4 semaines travaillées, 4 semaines congé 55 personnes travaillant en rotation.	183	110
Totale			830

Conclusion :

En conclusion, l'étude de cas du champ gazier de TIGUENTOURINE « CPF » met en lumière l'importance d'une description détaillée du complexe ça structure ainsi que sa composante humaine afin de mettre en œuvre une analyse approfondie permettant la gestion des risques.

CHAPITRE 04 : EVALUATION DU QRA

Introduction :

Ce chapitre se consacre à l'analyse détaillée des résultats obtenus à partir de l'évaluation des scénarios catastrophiques dans le cadre de notre étude de Quantitative Risk Assessment (QRA) pour le complexe gazier de TIGUENTOURINE « CPF ». L'objectif principal est de décrypter l'ampleur de ces scénarios et de comprendre les risques individuels et sociétaux qui en découlent. En s'appuyant sur les résultats de l'analyse QRA. De plus, nous présenterons les mesures de sécurité efficaces mises en place pour atténuer ces risques, en utilisant la méthodologie du nœud papillon pour structurer et optimiser la gestion des dangers identifiés. Ce chapitre vise ainsi à fournir une vision globale et intégrée des résultats de l'analyse de risques, tout en mettant en lumière les stratégies de prévention et de protection du complexe.

1. Analyse de la cinétique des événements :

La cinétique, ou séquence d'événements d'un phénomène dangereux, joue un rôle crucial dans la détermination de son impact et des options de mitigation. Elle influence la rapidité et l'enchaînement des événements, influençant ainsi la gravité des dommages potentiels.

Pour les phénomènes dangereux à cinétique lente mais immédiate, il est possible de limiter les conséquences en mettant en place des mesures d'évacuation et de protection adéquates. En effet, une action rapide permet de minimiser les dommages causés par l'événement.

Pour chaque événement de rejet défini, la modélisation de la dispersion et les calculs de la taille de l'incendie sont réalisés dans PHAST, le logiciel de modélisation des conséquences de DNV.

Les résultats des conséquences sont utilisés dans le modèle de risque, SAFETI, pour calculer le risque auquel le personnel est exposé. Le logiciel PHAST calcule un large éventail de conséquences possibles à partir des événements notamment :

- Feu chalumeau (Jet Fire) provoquant un impact de radiation thermique.
- Feu de nappe (Pool Fire) provoquant un impact de radiation thermique.
- Boule de feu (Fire Ball) causant un impact de radiation thermique.
- Feu flash (Flash Fire), causant un impact de rayonnement thermique dans l'enveloppe de nuage inflammable.
- Explosion VCE (Vapour Cloud Explosion), provoquant un impact de surpression.
- Dispersion de gaz toxique ayant des effets toxiques.[15][33]

2. Présentation des différents scénarios catastrophiques et Analyse des conséquences sur PHAST :

2.1 Scénarios des effets thermiques de Cigare de GPL On-Spec:

Les scénarios abordés dans cette section se déroulent selon les seuils thermiques suivante :

Table 9: Les données de simulation de cigare de GPL.

Scenario	Météo	Débit massique [kg/s]	Température [degC]	Diamètre Élargi[m]	Vitesse[m/s]	Durée de la Diffusion[s]
Petite Fuite 10mm	Catégorie 5/c	0,348297	-14,4228	0,0219733	399,065	3600
Moyenne Fuite 50mm		8,70743	-14,4228	0,109867	399,065	1179,55
Large Fuite +50mm		78,3669	-14,4228	0,3296	399,065	131,062
Catastrophique rupture		Not applicable	-36,6912	Not applicable	98,4788	Not applicable

2.1.1 Simulation du JET FIRE (feu chalumeau) :

Les résultats de la simulation des scénarios de Cigare de GPL pour l'événement redouté JET FIRE (feu chalumeau) :



Figure 25 : Simulation du JET FIRE de cigare de GPL, Moyenne Fuites

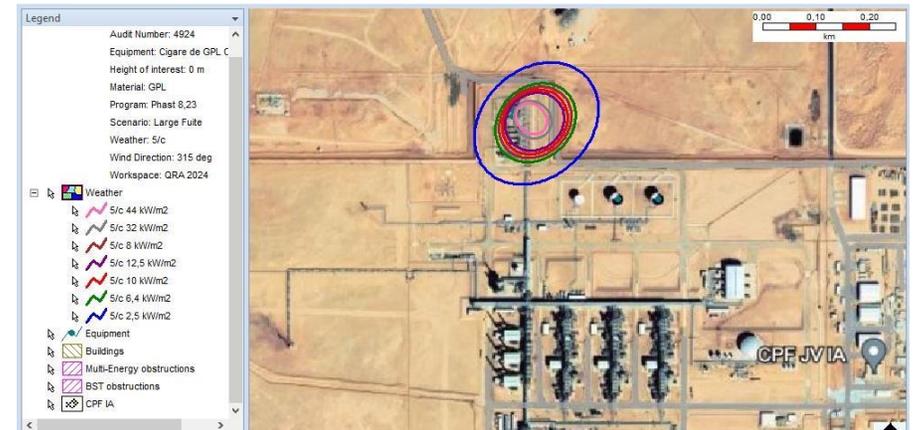


Figure 26 : Simulation du JET FIRE de cigare de GPL, Large Fuites

Table 10 : Les résultats de simulation du JET FIRE de cigare de GPL.

Météo : Catégorie 5/c	Petite Fuite 10mm	Moyenne Fuite 50mm	Large Fuite +50mm	Résultats
Longueur de la flamme[m]	7,90713	33,6312	76,6587	
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (2,5 kW/m ²)	10,2336	58,3147	162,403	L'accident peut affecter des personnes sensibles ou non averties
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (6,4 kW/m ²)	8,54132	47,7924	126,565	Conséquences graves, directes ou indirectes, immédiate ou à long terme
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (10 kW/m ²)	7,74389	44,0235	113,959	1 % de fatalité après 20 secondes pour les personnes non protégées
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (12,5 kW/m ²)	7,3211	42,338	108,423	Conséquences irréversibles ou les létales, même à court exposition
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (8 kW/m ²)	8,02608	45,8355	119,978	Dégâts aux installations non protégées
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (32 kW/m ²)	Not applicable	35,3994	88,2447	Dégâts aux installations protégées opérants à pression atmosphérique
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (44 kW/m ²)	Not applicable	33,6862	80,2917	Dégâts aux installations protégées opérants sous pression

2.1.2 Simulation du Late POOL FIRE (feu de nappe) :

Les résultats de la simulation des scénarios de Cigare de GPL pour l'événement redouté Late POOL FIRE (feu de nappe) :



Figure 27 : Simulation du Late POOL FIRE de cigare de GPL, Catastrophe rupture.

Table 11 : Les résultats de simulation du Late POOL FIRE de cigare de GPL.

Météo : Catégorie 5/c	Catastrophique rupture	Résultats
Diamètre de nappe [m]	5,74075	
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (2,5 kW/m2)	36,5045	L'accident peut affecter des personnes sensibles ou non averties
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (6,4 kW/m2)	26,0122	Conséquences graves, directes ou indirectes, immédiate ou à long terme
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (10 kW/m2)	22,1204	1 % de fatalité après 20 secondes pour les personnes non protégées
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (12,5 kW/m2)	20,2843	Conséquences irréversibles ou les létales, même à court exposition
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (8 kW/m2)	24,0118	Dégâts aux installations non protégées
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (32 kW/m2)	13,4763	Dégâts aux installations protégées opérants à pression atmosphérique
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (44 kW/m2)	9,28148	Dégâts aux installations protégées opérants sous pression

2.1.3 Simulation du FIREBALL (boule du feu) :

Les résultats de la simulation des scénarios de Cigare de GPL pour l'événement redouté FIREBALL (boule du feu) :

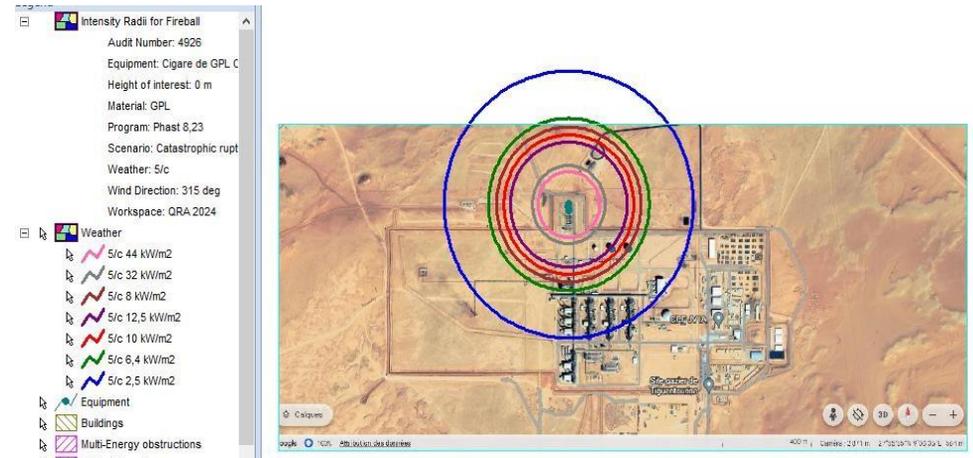


Table 12 : Les résultats de simulation du FIREBALL de cigare de GPL.

Figure 28 : Simulation du FIREBALL de cigare de GPL, Catastrophique rupture.

Météo : Catégorie 5/c	Catastrophique rupture	Résultats
Diamètre de la boule du feu [m]	126,075	
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (2,5 kW/m ²)	558,381	L'accident peut affecter des personnes sensibles ou non averties
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (6,4 kW/m ²)	360,289	Conséquences graves, directes ou indirectes, immédiate ou à long terme
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (10 kW/m ²)	291,336	1 % de fatalité après 20 secondes pour les personnes non protégées
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (12,5 kW/m ²)	261,571	Conséquences irréversibles ou les létales, même à court exposition
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (8 kW/m ²)	324,134	Dégâts aux installations non protégées
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (32 kW/m ²)	163,038	Dégâts aux installations protégées opérants à pression atmosphérique
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (44 kW/m ²)	137,819	Dégâts aux installations protégées opérants sous pression

2.2 Scénarios des effets de surpression de Cigare de GPL On-Spec :

Les scénarios abordés dans cette section se déroulent selon les seuils surpression suivante :

2.2.1 Simulation d'EXPLOSION (UVCE) :

Les résultats de la simulation des scénarios de Cigare de GPL pour l'événement redouté d'EXPLOSION (UVCE) :

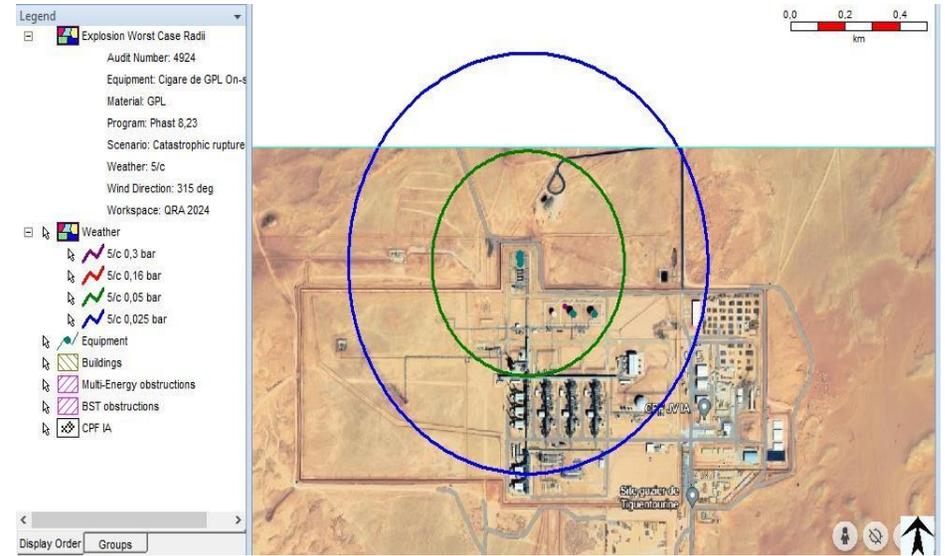


Figure 29 : Simulation d'EXPLOSION de cigare de GPL, Catastrophique rupture.

Table 13 : Les résultats de simulation d'EXPLOSION de cigare de GPL.

Météo : Catégorie 5/c	Distance Maximale [m]			Diamètre [m]			Résultats
	Moyenne Fuite	Large Fuite	Catastrophique	Moyenne Fuite	Large Fuite	Catastrophique	
	50mm	+50mm	rupture	50mm	+50mm	rupture	
Niveau de surpression 0,025 [bar]	123,155	476,846	696,649	106,309	373,691	1313,3	Domages graves
Niveau de surpression 0,05 [bar]	98,4327	389,945	391,246	56,8655	199,89	702,491	Domages irréversibles ou létaux
Niveau de surpression 0,16 [bar]	81,0087	328,697	234,144	22,0174	77,3941	8,28727	Dégâts aux structures (effet domino)
Niveau de surpression 0,3 [bar]	77,2522	315,493	232,73	14,5044	50,985	5,45942	Dégâts graves aux structures

2.3 Scénarios des effets thermiques de Bac de Condensat On-spec :

Les scénarios abordés dans cette section se déroulent selon les seuils thermiques suivante :

Table 14 : Les données de simulation du Bac de Condensat

Scenario	Météo	Débit massique [kg/s]	Température [degC]	Diamètre Élargi[m]	Vitesse[m/s]	Durée de la Diffusion[s]
Petite Fuite 10mm	Catégorie 5/c	0,631425	55,9555	0,00774597	21,0133	3600
Moyenne Fuite 50mm	Catégorie 5/c	15,7856	55,9555	0,0387298	21,0133	3600
Large Fuite + 50mm	Catégorie 5/c	142,071	55,9555	0,11619	21,0133	3600
Catastrophique rupture	Catégorie 5/c	Not applicable	55,9777	Not applicable	2,97188	Not applicable

2.3.1 Simulation du Early POOL FIRE (feu de nappe) :

Les résultats de la simulation des scénarios de Bac de Condensat pour l'événement redouté Early POOL FIRE (feu de nappe) :



Figure 30 : Simulation du Early POOL FIRE du Bac de Condensat, Petite Fuite.

CHAPITRE 04 : EVALUATION DU QRA

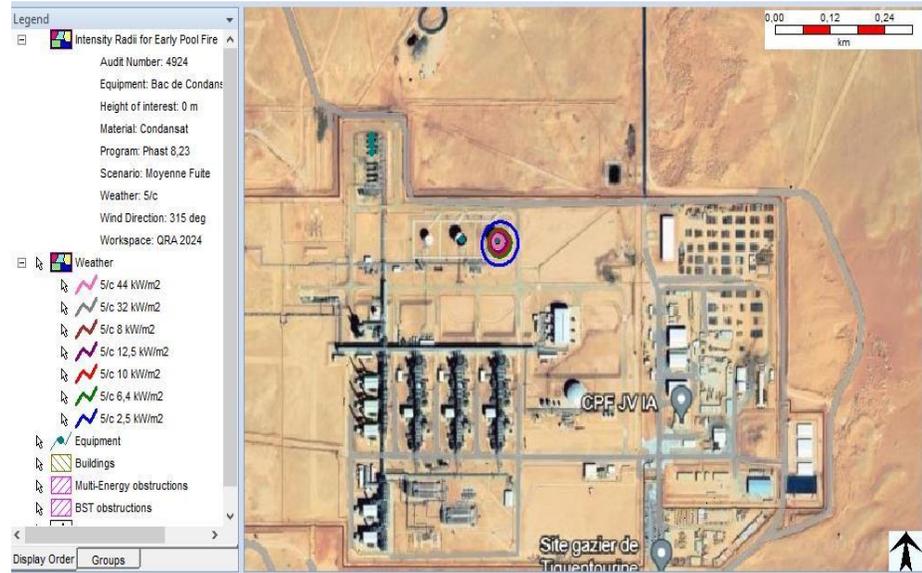


Figure 31 : Simulation du Early POOL FIRE du Bac de Condensat,

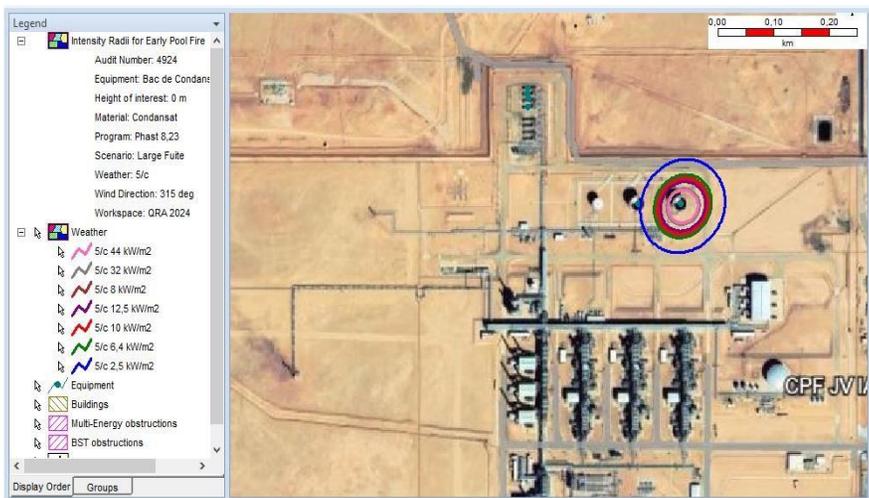


Figure 32 : Simulation du Early POOL FIRE du Bac de Condensat,

Table 15 : Les résultats de simulation Early POOL FIRE du Bac de Condensat.

Météo : Catégorie 5/c	Petite Fuite 10mm	Moyenne Fuite 50mm	Large Fuite +50mm	Résultats
Diamètre de nappe [m]	2,61196	13,0598	39,1794	
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (2,5 kW/m ²)	20,3171	47,9223	79,8287	L'accident peut affecter des personnes sensibles ou non averties
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (6,4 kW/m ²)	14,6869	33,0388	54,9339	Conséquences graves, directes ou indirectes, immédiate ou à long terme
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (10 kW/m ²)	12,5137	24,9849	46,8385	1 % de fatalité après 20 secondes pour les personnes non protégées
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (12,5 kW/m ²)	11,6325	21,8646	43,5099	Conséquences irréversibles ou les létales, même à court exposition
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (8 kW/m ²)	13,5142	28,9784	50,6273	Dégâts aux installations non protégées
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (32 kW/m ²)	5,15874	14,4796	33,5517	Dégâts aux installations protégées opérants à pression atmosphérique
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (44 kW/m ²)	3,37223	12,7426	31,0234	Dégâts aux installations protégées opérants sous pression

2.3.2 Simulation du Late POOL FIRE (feu de nappe) :

Les résultats de la simulation des scénarios de Bac de Condensat pour l'événement redouté Late POOL FIRE (feu de nappe) :



Figure 33 : Simulation du Late POOL FIRE du Bac de Condansat, Petit Fuites.

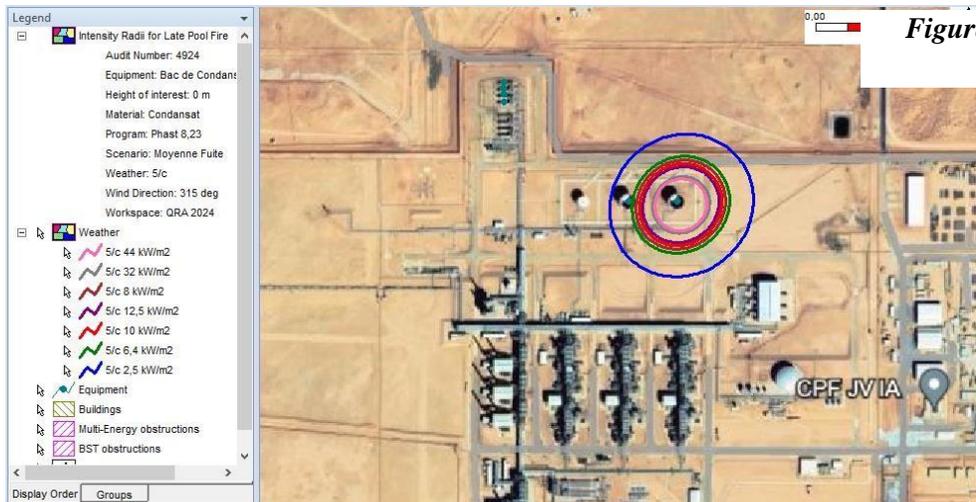


Figure 34 : Simulation du Late POOL FIRE du Bac de Condansat, Moyenne Fuites.

CHAPITRE 04 : EVALUATION DU QRA

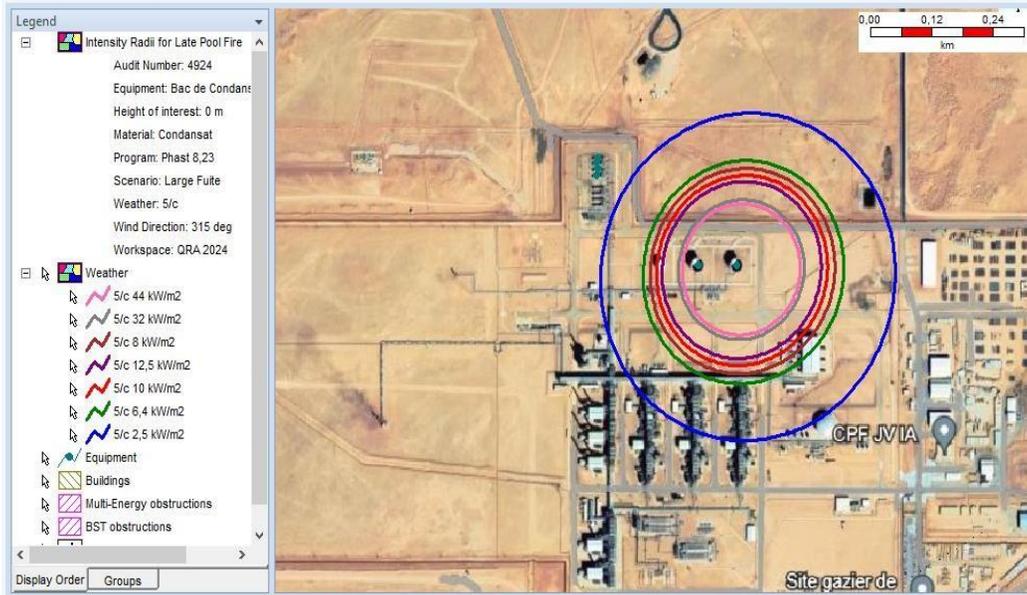


Figure 35 : Simulation du Late POOL FIRE du Bac de Condensat,

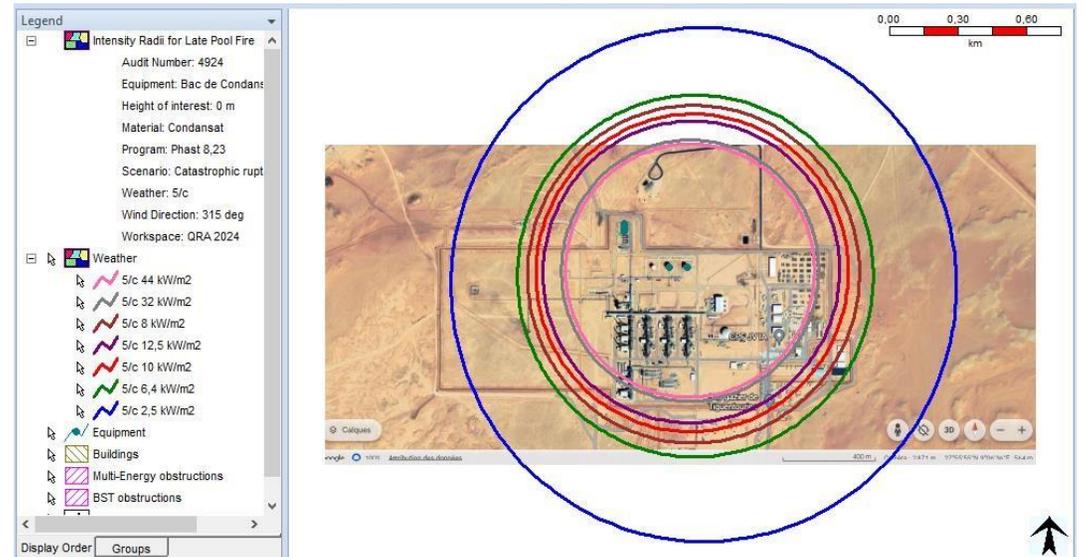


Figure 36 : Simulation du Late POOL FIRE du Bac de Condensat,

CHAPITRE 04 : EVALUATION DU QRA

Table 16 : Les résultats de simulation du Late POOL FIRE du Bac de Condensat.

Météo : Catégorie 5/c	Petite Fuite 10mm	Moyenne Fuite 50mm	Large Fuite +50mm	Catastrophique rupture	Résultats
Diamètre de nappe [m]	12,1738	64,3266	200,214	1028,87	
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (2,5 kW/m ²)	47,1985	118,223	310,827	1197,53	L'accident peut affecter des personnes sensibles ou non averties
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (6,4 kW/m ²)	32,6417	81,0428	207,327	820,188	Conséquences graves, directes ou indirectes, immédiate ou à long terme
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (10 kW/m ²)	24,7426	69,0831	174,505	702,959	1 % de fatalité après 20 secondes pour les personnes non protégées
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (12,5 kW/m ²)	21,3756	64,214	162,43	663,206	Conséquences irréversibles ou les létales, même à court exposition
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (8 kW/m ²)	29,0495	74,668	189,143	755,062	Dégâts aux installations non protégées
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (32 kW/m ²)	13,7162	49,8785	129,972	572,01	Dégâts aux installations protégées opérants à pression atmosphérique
Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité (44 kW/m ²)	11,9489	46,4074	122,861	554,783	Dégâts aux installations protégées opérants sous pression

2.4 Scénarios des effets de surpression de Bac de Condensat On-spec :

Les scénarios abordés dans cette section se déroulent selon les seuils surpression suivante :

2.4.1 Simulation d'EXPLOSION (UVCE) :

Les résultats de la simulation des scénarios de Bac de Condensat pour l'événement redouté d'EXPLOSION (UVCE) :



Figure 37 : Simulation d'EXPLOSION du Bac de Condensat, Moyenne Fuite

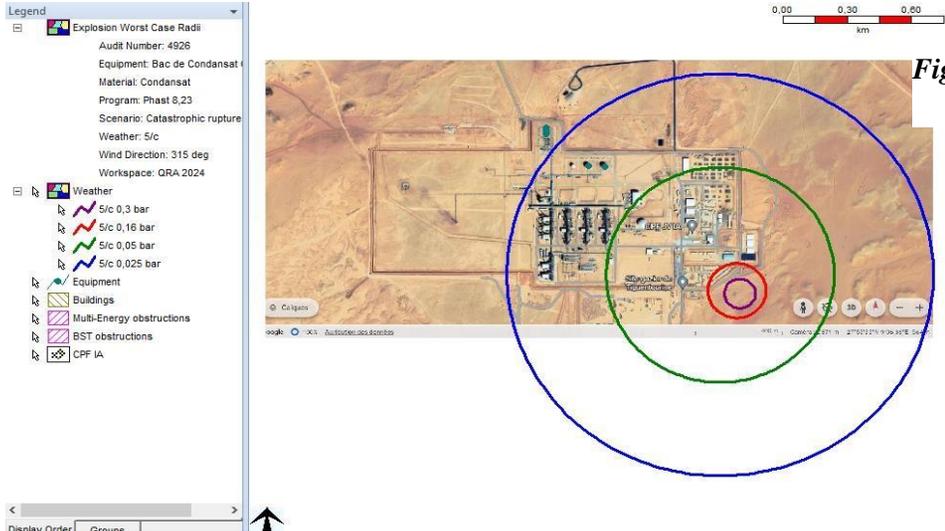
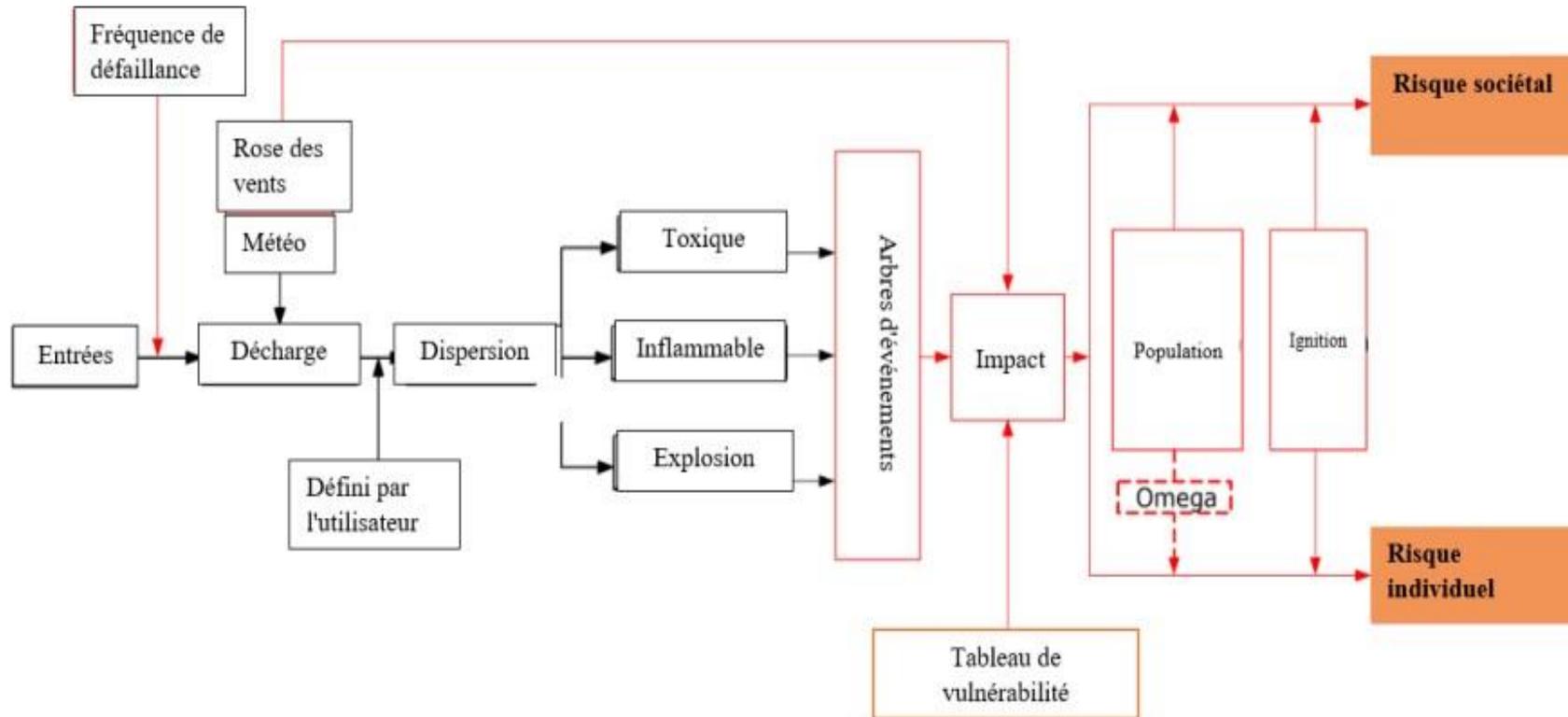


Figure 38 : Simulation d'EXPLOSION du Bac de Condensat, Catastrophe rupture

Table 17 : Les résultats de simulation d'EXPLOSION du Bac de Condensat

Météo : Catégorie 5/c	Distance Maximale [m]			Diamètre [m]			Résultats
	Moyenne Fuite	Large Fuite	Catastrophique	Moyenne Fuite	Large Fuite	Catastrophique	
	50mm	+50mm	rupture	50mm	+50mm	rupture	
Niveau de surpression 0,025 [bar]	56,5064	115,3	1736,63	33,0127	10,5998	1973,26	Dommages graves
Niveau de surpression 0,05 [bar]	48,8294	112,835	1277,75	17,6587	5,66992	1055,51	Dommages irréversibles ou létaux
Niveau de surpression 0,16 [bar]	43,4186	111,098	994,084	6,83718	2,1953	268,169	Dégâts aux structures (effet domino)
Niveau de surpression 0,3 [bar]	42,2521	110,723	951,855	4,50414	1,4462	143,711	Dégâts graves aux structures

Lors de cette modélisation sur la Cigare de GPL ainsi que le bac de condensat on constate que la rupture catastrophique a une ampleur importante sur le complexe ainsi que les personnes travaillant au niveau de ce complexe que ce soit vis avis des effets thermiques ou bien des effets de surpression d'où l'intérêt de la mise en œuvre de la méthode QRA afin de mieux évaluer le risque ainsi que de proposer des barrières de sécurité consistantes



PHAST → SAFETI

Figure 39 : Schéma explicatif de la relation entre PHAST et SAFETI.

3. Hypothèses générales pour la modélisation par simulation du logiciel de SAFETI :

3.1 Description des données nécessaires :

Concernant les données d'entrée dans le logiciel SAFETI nous avons pris en considération les mêmes données que sur modélisation par PHAST ainsi que nous avons ajouté « la fréquence d'occurrence de chaque type de fuite étudié et le scénario de rupture de l'installation » le nombre de la population se trouvant en a voisinage du site étudié d'autres données étaient nécessaires pour la simulation concernant « la probabilité de l'étincelle (ignition) » prise en considération selon le nombre de véhicule circulant à proximité du complexe ».

3.2 Les fréquences d'occurrences des fuites :

Les fréquences de rejet d'OGP 2010 sont utilisées pour calculer les fréquences de rejet de la CPF d'IA, en appliquant cette fréquence au nombre total d'éléments de process et d'équipements identifiés à partir de chaque système. Vannes et raccords (Brides).

Table 18 : Les fréquences des fuites.

Les fréquences des fuites : 12''(300mm)	
Petite fuite	1.70E-05
Fuite moyenne	4.70E-06
Fuite large	2.31E-06

3.3 Nombre de population :

La répartition moyenne du personnel est ensuite déterminée en multipliant la fraction du temps passé par chaque groupe de personnel dans un lieu spécifique au cours d'une journée active par la fraction de la journée active dans une année et le nombre total de membres du personnel au sein du groupe.

Table 19 : Nombre de population.

Populations	
Salle contrôle / Laboratoire	40 Personne
Administration	20 Personne
Atelier maintenance	40 Personne
Population au polygone	15 Personne

3.4 Les Probabilités d'ignition :

Table 20 : Probabilités d'ignition

Ignition	Probabilités
Torche basse pression	01
Turbeau compresseur	0,9
Ignition polygon	0,9
Transportation line	0,2
Electrical polyline	0,1

3.4.1 Évaluation de risques :

Les résultats en termes de risques individuels et sociétaux sont documentés et évalués par rapport aux critères de risques dans les sections suivantes selon 2 scénarios le premier scénario un emplacement des cigares près des bac de condensat ainsi que la majorité du personnel du complexe se trouve et le 2eme scénario mettre les cigares séparément du site.

3.5 Risque individuel S1 :

Les contours globaux des risques individuels pour le site gazier CFP sont présentés dans la figure suivante. À partir de l'observation de ces contours globaux de risque, les concentrations suivantes peuvent être résumées comme suite que le contour d'une moyenne d'une probabilité de 0.001 par an englobe une parcelle importante du site avec des équipements importants.

Par contre le contour d'une moyenne d'une probabilité de 1 E-9 par an englobe l'ensemble du site

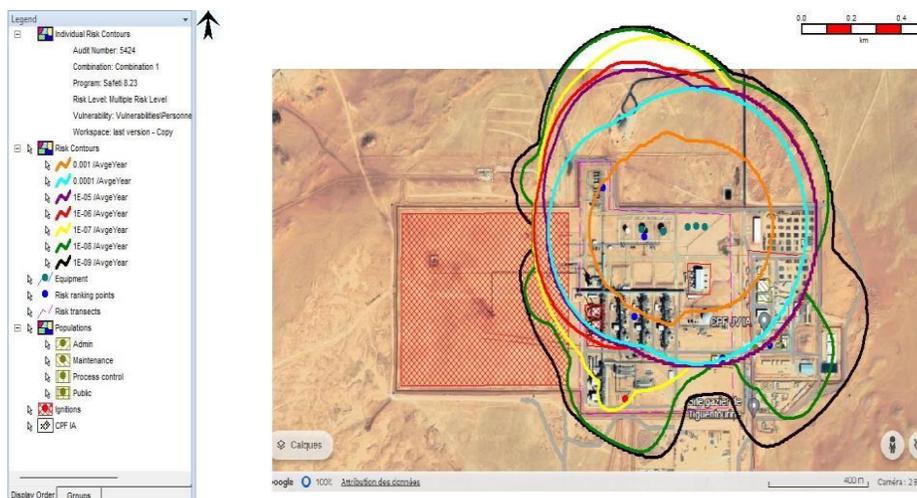


Figure 40 : Simulation de Risque Individuel S1

3.6 Risque sociétal S1 :

La courbe FN que nous étudions présente différentes zones pour évaluer le niveau de risque des fatalités. La zone située sous la ligne jaune représente la plage où le nombre de fatalités est considéré comme acceptable, allant de 0 à 30. Entre la ligne jaune et la ligne rouge se trouve la zone ALARP où le nombre de fatalités varie de 30 à 300. Au-delà de 300 fatalités, la zone est considérée comme inacceptable.

En examinant notre courbe d'étude dans la figure suivante, nous constatons que la fréquence d'avoir des fatalités en fonction du nombre de fatalité est important et se situe en zone ALARP d'où la nécessité de trouver des solutions.

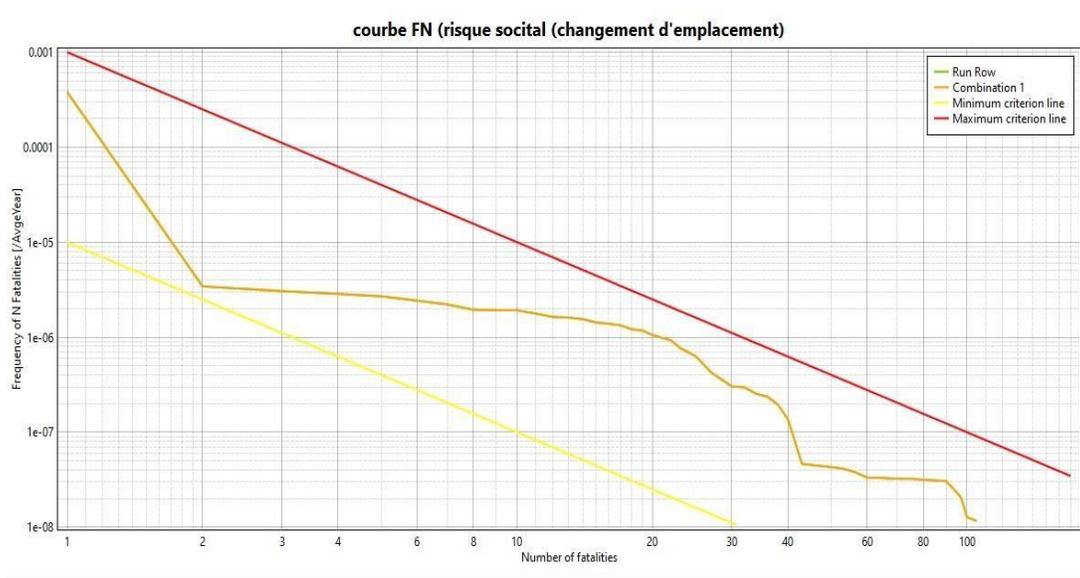


Figure 41 : Graphe de Risque Sociale S1.

3.7 Risque individuel S2 :

Les contours globaux des risques individuels pour le site gazier CFP sont présentés dans la figure suivante. À partir de l'observation de ces contours globaux de risque dans le cas où les sphères sont hors site, les concentrations suivantes peuvent être résumées comme suite que le contour d'une moyenne d'une probabilité de 0.001 par an englobe une parcelle moins importante du site avec peu d'équipement.

Par contre le contour d'une moyenne d'une probabilité de 1 E-9 par an englobe l'ensemble du site à partir de ces résultats on constate l'importance de mettre les sphères hors site ainsi que mettre les barrières nécessaires dans le bon emplacement afin d'éviter d'être exposé en permanent aux risques individuels qui représente une des probabilités élevées.

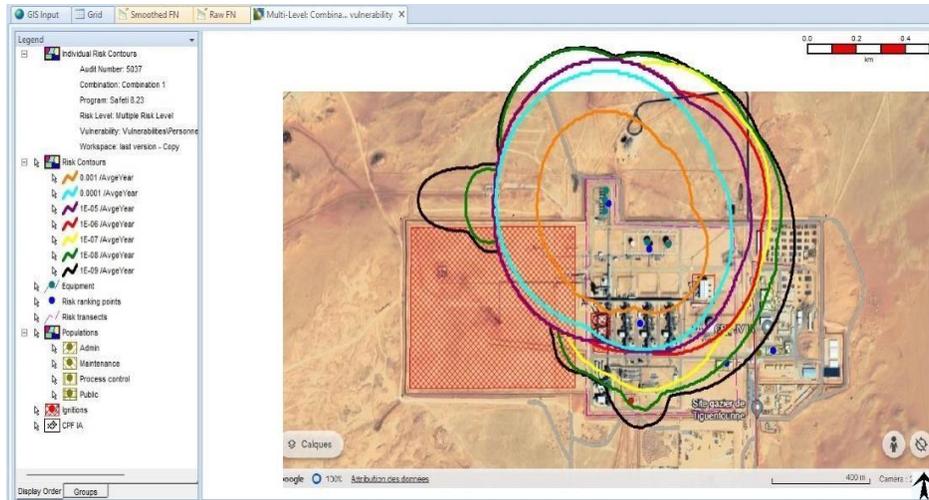


Figure 42 : Simulation de Risque Individuel S2

3.8 Risque sociétal S2 :

Une fois que les cigares sont installés off site on voit clairement que le risque est à un niveau acceptable
 D'après ces études effectuer il est vraiment important de discuter la mise en place des de prévention et de protection à entreprendre dans ce site permettant ainsi de maitriser les risques.

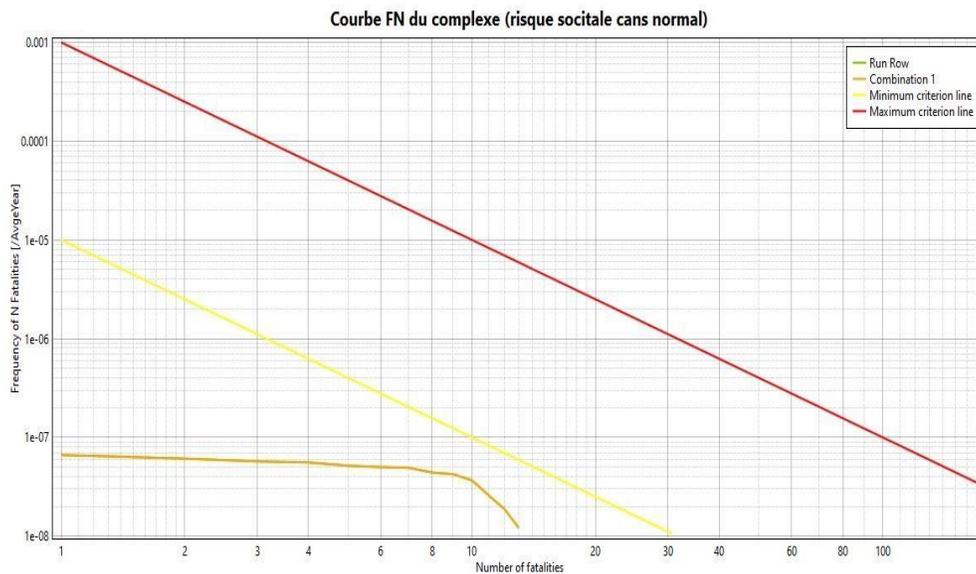


Figure 43 : Graphe de Risque Sociale S2

4. Description des systèmes de prévention et de protection du CPF :

4.1 Description du système d'inhibiteur de corrosion :

Le système d'inhibiteur de corrosion a pour but de :

- Transférer l'inhibiteur de corrosion des réservoirs de ravitaillement.
- Stocker l'inhibiteur sous une couverture d'azote avant utilisation.
- Distribuer l'inhibiteur sous pression aux points d'injection dans les systèmes de traitement.

Pour prévenir la corrosion des tuyauteries en acier au carbone dans les systèmes de gaz humide contenant du dioxyde de carbone, un inhibiteur de corrosion est injecté en continu. L'efficacité est vérifiée par des inspections régulières et des mesures d'épaisseur des parois.

L'inhibiteur est reçu dans des réservoirs portatifs, transféré vers une cuve de stockage avec une pompe de déchargement, puis distribué aux points d'utilisation via des pompes d'injection.

4.2 Description du système d'arrêt d'urgence :

Le système d'arrêt d'urgence (ESD) et le système de purge rapide préviennent l'aggravation des scénarios d'incendie et d'explosion, réduisant ainsi les conséquences sur l'usine et le personnel. Le système ESD :

- Divise l'usine en sections avec des vannes ESD.
- Arrête le flux de stock depuis les sources extérieures.
- Isole les équipements électriques pour éliminer les sources d'allumage.
- Ferme les prises d'air pour empêcher l'entrée de gaz dans les zones sûres ou chaudes.

4.2.1 Niveaux d'arrêt d'urgence :

Les fonctions d'arrêt d'urgence et d'arrêt du processus sont intégrées dans un seul système d'arrêt (système de sécurité intégré ISS). Les différents « niveaux » d'arrêt indiquent la priorité (ou la hiérarchie) des actions d'arrêt.

- Niveau 1 – Arrêt d'urgence de CPF avec purge rapide.
- Niveau 2A – Arrêt d'urgence de la production.
- Niveau 2B – Arrêt d'urgence de la zone de feu (+/- purge rapide).
- Niveau 3 – Arrêt de l'unité de traitement.
- Niveau 4 – Arrêts de processus individuels.

4.3 Description du système de dépressurisation :

Le système de dépressurisation évite l'aggravation des incendies et explosions en :

- **Éliminant le stock et réduisant la pression** via une purge rapide vers le système de torche.
- **Réduisant la durée des feux et des fuites de gaz.**
- **Contrôle et déclenchement :**
 - **Automatique :** Par le système ESD de Niveau 1.
 - **Manuel :** Par l'opérateur pour un ESD de Niveau 2B.
- **Fonctionnement :**
 - **Purge séquentielle :** Gère la charge pour respecter la capacité de la torche.
 - **Délais intégrés :** Assurent la fermeture des vannes ESD avant l'ouverture des vannes de purge rapide.
- **Scénarios spécifiques :**

ESD de Niveau 1 :

- Purge immédiate des zones non en traitement et du train 1.
- Purge du train 2 après 5 minutes.
- Purge du train 3 après 5 minutes supplémentaires.

ESD de Niveau 2B :

- Dépressurisation individuelle des zones de feu.
- **Logique du système :**
 - **Séquence de purge :** Retarde la purge des trains pour éviter de dépasser la capacité de la torche.
 - **Actions d'ESD immédiates :** Déclenchement immédiat des actions d'ESD.
 - **Armement automatique :** Purge rapide déclenchée automatiquement après le délai préconfiguré une fois activée.

4.4 Description du système de détection Feu & Gaz :

Le système de détection de feu et de gaz (F&G) a pour but de détecter rapidement les incendies et les dégagements de gaz dans l'usine, afin de protéger le personnel et les actifs. Voici un résumé des principales fonctionnalités et actions du système :

- **Détection des dangers :** Identifie les incendies et les émissions de gaz dangereuses.
- **Alertes automatiques :** Déclenche automatiquement des alarmes sonores et visuelles pour alerter le personnel en cas de détection.
- **Actions automatiques :** Initie des actions telles que l'arrêt des unités, la fermeture des registres, l'isolement électrique des zones sûres, le démarrage des pompes à incendie, l'ouverture des vannes de déluge d'eau d'incendie, et le démarrage des pompes de canalisation/recyclage via le système ESD.
- **Division en zones de feu :** Segment l'usine en zones de feu pour faciliter la détection et la gestion des incidents.
- **Interface avec d'autres systèmes :** Intégration avec d'autres systèmes de contrôle industriel (ICS) et interface homme-machine (MMI) via un réseau de communication redondant.

4.4.1 Protocole de détection de feu et de gaz :

Le protocole de détection de feu et de gaz vise à assurer une réponse rapide et sécurisée aux incidents potentiels dans l'usine. Voici un résumé des mesures clés :

- **Alertes automatiques au personnel :** Dès la confirmation d'un feu ou d'un dégagement de gaz, le système déclenche automatiquement des alarmes générales pour avertir tout le personnel de CPF.
- **Extinction automatique pour équipements spécifiques :** En cas de feu confirmé dans des modules protégés par des systèmes de suppression d'incendie gazeux fixes (comme le CO₂ pour les turbines à gaz), le système d'extinction est activé automatiquement avec des alarmes de pré-décharge correspondantes.
- **Activation manuelle du système ESD :** L'opérateur de la salle de contrôle déclenche manuellement le système ESD dès la confirmation d'un feu ou de gaz, assurant ainsi une réponse rapide et ciblée pour minimiser les risques.

4.5 Détection de feu et de gaz au CPF existante d'IA :

4.5.1 Zones de traitement de CPF :

La détection de feu et de gaz dans le processus de CPF utilise divers types de capteurs pour assurer une surveillance complète et efficace :

- **Détecteurs de flamme en CCTV** : Utilisés pour une surveillance visuelle des zones critiques comme les cuves de stockage d'hydrocarbures et les pompes de transfert de produit.
- **Détecteurs de flamme IR/UV** : Installés pour détecter les flammes à l'aide de technologies infrarouge (IR) et ultraviolette (UV), couvrant les cuves à grande capacité et autres équipements sensibles.
- **Détecteurs de gaz combustible ponctuels IR** : Positionnés près des réchauffeurs d'huile chaude pour détecter les gaz combustibles.
- **Détecteurs de gaz combustible IR à portée optique** : Placés autour de la zone de traitement et des cuves de gaz pour détecter les fuites de gaz et surveiller les déplacements de gaz sur le site.

Table 21 : Systèmes de détection de feu et de gaz existants au CPF

Type de détection	Zone(s) installée (s)
Détecteurs de flamme CCTV	Zones de l'usine de traitement ; excepté les zones d'amine, les colonnes de séparation de produit, l'accumulateur de tête, le rebouilleur, les pompes de transfert de produit, la digue du réservoir de stockage du condensat.
Détecteurs de flamme IR/UV	Zones de l'usine de traitement, colonnes de séparation de produit, accumulateurs de tête, rebouilleur, pompes de transfert de produit. Intérieur de l'enceinte des moteurs à turbine / Combustion
Détecteurs de gaz combustible IR ponctuels	Equipements de traitement proche de sources de fuites spécifiques comportant un risque élevé ; Digue des réservoirs de stockage cylindriques du GPL, réchauffeurs de l'huile chaude, digue du réservoir de stockage du condensat. Intérieur de l'enceinte des turbines à gaz, conduits de chauffage, ventilation et climatisation (HVAC) / prise d'air
Détecteurs de gaz combustible IR à portée optique	Zones de l'usine de traitement Réservoirs de stockage cylindriques du GPL
Détecteurs de fumée combines optiques / ponctuels - chaleur	Laboratoire de CPF, Salles HVAC, Salles des instruments et de l'électricité
Détecteurs ponctuels à ionisation	Sous-stations principales, SCL (salles de commutation locales), Bâtiment des commandes centrales (CCR), Sous-station de compression, Système de commutation des générateurs
Détecteurs de chaleur	Intérieur de l'enceinte des moteurs à turbine / combustion

Début de détection de fumée (Vesda)	Bâtiments industriels et bureaux (BIB) des salles d'équipement de CPF
-------------------------------------	---

4.5.2 Bâtiments industriels et bureaux (BIB) :

Dans les bâtiments industriels et bureaux (BIB), les dispositifs de détection d'incendie comprennent des détecteurs de fumée à ionisation ponctuels installés de manière spécifique :

- **Emplacement des détecteurs :**
 - Au niveau du toit pour tous les bâtiments industriels et bureaux.
 - Au niveau du faux plafond exclusivement dans les bâtiments de bureaux.

Chaque bâtiment est équipé d'un tableau d'alarme dédié pour le feu et les gaz (F&G). À proximité de ce tableau localisé se trouve un schéma détaillant l'agencement du bâtiment, permettant de localiser précisément la salle ou la zone où une alarme a été déclenchée. Cette disposition garantit une surveillance efficace et une réaction prompte en cas d'incident d'incendie ou de détection de gaz dans les installations industrielles et les bureaux.

Table 22 : Systèmes de détection de feu et de gaz existants au CPF

Type de détection	Zone(s) installée(s)
Détecteurs de fumée optiques	Bureaux, Magasins d'entreposage, Ateliers.
Détecteurs de chaleur	Ateliers
Détecteurs de gaz combustible IR ponctuels	Salles des instruments et de l'électricité
Détecteurs de fumée combinés optiques / ponctuels - chaleur	Zones de l'usine de traitement, Réservoirs de stockage cylindriques du GPL
Détecteurs ponctuels - à ionisation	Sous-stations principales, SCL (salles de commutation locales), Système de commutation des générateurs

4.6 Description du système anti-incendie :

4.6.1 Protection passive contre l'incendie :

Dans les installations centrales de traitement, la protection passive contre l'incendie (PPI) est essentielle pour sécuriser les équipements et structures critiques face aux risques d'incendie.

- Tous les matériaux utilisés pour la PPI sont conformes aux normes d'essai d'incendie BS 476 et ISO 834, assurant leur adéquation et leur efficacité pour la protection contre les incendies.
- Les membres en acier des structures de soutien peuvent être affaiblis par la chaleur rayonnante lors d'un incendie, compromettant la sécurité en cas de perte de confinement des gaz.
- Ces systèmes sont essentiels pour réduire la durée des feux chalumeaux en dépressurisant rapidement l'usine de traitement, limitant ainsi les dommages potentiels.
- Les équipements tels que les cuves de stockage d'hydrocarbures, les aérorefroidisseurs, les colonnes de séparation de produit et les réservoirs de GPL sont équipés de PPI pour prévenir les risques de BLEVE (explosion de gaz s'évaporant d'un liquide en ébullition) en cas d'exposition prolongée à la chaleur.
- La calandre et les supports des réservoirs cylindriques de GPL sont conçus avec une protection renforcée pour minimiser le risque de BLEVE, renforçant ainsi la sécurité opérationnelle.

4.6.2 Protection active contre l'incendie :

Le CPF d'IA dispose d'une série de systèmes d'extincteurs automatiques, de rideaux d'eau, de systèmes d'extinction fixes à mousse et CO₂ pour assurer une protection active contre l'incendie (PAI). Le Tableau 4.4 détaille les systèmes PAI présents au CPF d'IA.

Table 23 : PAI au CPF d'IA

Description de la protection contre l'incendie	Zone(s) protégée(s)
Systèmes d'extinction automatique par aspersion d'eau actionnés à distance	Réservoirs de condensat
	Pompes des canalisations du produit de condensat
	Condensateur de la colonne de séparation de la production
	Refroidisseur de la production de condensat
	Pompes des canalisations de GPL
	Pompes de recyclage du GPL
Systèmes de rideau d'eau actionné manuellement	Réservoirs de stockage cylindriques du GPL
Système fixe à mousse	Réservoirs de stockage du condensat

4.6.2.1 Système d'eau d'incendie :

- L'eau d'incendie est accessible pendant 12 heures avec un débit maximal nécessaire, crucial pour le refroidissement des cuves de stockage de GPL et de condensat.
- Une conduite souterraine dédiée transporte l'eau d'incendie, passant sous les zones exposées à des risques élevés d'explosion, assurant une distribution sécurisée.

- Des canons à eau sont positionnés stratégiquement autour de l'usine pour une intervention rapide en cas d'incendie, complétés par un système de vidéosurveillance (CCTV) pour une détection et une extinction automatique efficaces.
- Le système soutient divers besoins, incluant les systèmes fixes à mousse, les systèmes d'extinction automatique par eau, les postes de prise d'eau, les canons à eau d'incendie et les enrouleurs à tuyaux.
- Le système d'eau d'incendie pour le camp intégré, couvrant la base de vie, la zone des fluides utilitaires et la garde militaire, est distinct du système principal pour les installations de traitement central.

4.6.2.2 *Systèmes d'extinction automatique fixes :*

- Le système d'extinction automatique est divisé en deux parties distinctes, couvrant respectivement le nord et le sud du train dans les installations.
- Chaque partie du système est contrôlée par deux vannes semi-automatiques actionnées depuis la salle de contrôle, permettant de démarrer ou d'arrêter le système selon les besoins.
- Des systèmes d'extinction automatique fixes sont spécifiquement installés dans la zone de compression d'admission du CPF.

4.6.2.3 *Systèmes d'extinction au CO₂ :*

- Système d'extinction au CO₂ :

Il est conçu pour protéger l'enceinte des turbines de compresseur par un système fixe de noyage complet au CO₂. Ce système comprend 26 bouteilles de CO₂, avec 13 destinées au refoulement principal et 13 pour le refoulement étendu.

- Tableau d'alarme de feu et de gaz :

Installé dans la salle de contrôle, il surveille les turbines à gaz et les turbines de production d'électricité pour détecter et signaler les incidents de feu et de gaz. Il permet une gestion proactive des alertes.

- Unité d'affichage numérique :

Présente pour afficher en temps réel l'état de la détection de feu et de gaz dans les enceintes des turbines, assurant une surveillance continue et réactive.

- Tableau F&G Kidde Italia :

Dédié à la réception et à la transmission des signaux F&G depuis le système de CO₂ vers la salle de contrôle centrale (CCR), facilitant la communication des alertes et des événements critiques.

4.6.2.4 *Système fixe à mousse :*

- Le système à mousse utilise un dispositif de dosage FireDos FD 6000 monté sur une plateforme. Ce dispositif est configuré pour une induction à 3% de concentré de mousse.
- Le concentré de mousse provient de six IBC (conteneurs à grands contenants) stockés dans un logement dédié. Il est introduit dans un manifold où son débit est contrôlé par des vannes papillon quart-de-tour.
- La solution de mousse peut être dirigée vers les systèmes de mousse fixes à pleine surface pour les réservoirs de stockage ou vers une conduite de solution de mousse. Cette conduite est installée au-dessus du sol et suit le contour extérieur de la digue, assurant ainsi une distribution efficace en cas d'incident.
- Des canons à eau manuels avec une capacité de 2 500 litres par minute sont montés le long de la conduite de solution de mousse. Ces canons à eau sont utilisés pour compléter l'application de la mousse lors d'incendies ou d'urgences.

4.6.2.5 *Protection mobile contre les incendies de CPF :*

4.6.2.5.1 **Camions de lutte contre l'incendie :**

- Capacités de stockage jusqu'à 9 000 litres d'eau, 2 500 litres de mousse et 1 000 litres de poudre pour les interventions d'urgence.
- Équipé d'un canon délivrant 7 000 litres par minute à une pression de 12 barg avec une buse d'épandeur de mousse, permettant une lutte efficace contre les incendies.
- Deux enrouleurs à tuyaux encastrés fournissant 200 lpm à 7 barg, situés à l'arrière du camion.
- Deux sorties d'eau de 2½ pouces et deux sorties de mousse de 2½ pouces pour une distribution flexible pendant les opérations.

4.6.2.5.2 **Extincteurs portatifs et sur roues :**

Dans les zones du CPF où les petits incendies peuvent être gérés sans danger, divers types d'extincteurs portables ou sur roues sont disponibles :

- On trouve une variété d'extincteurs, notamment des extincteurs à poudre sèche et des extincteurs à mousse de grande capacité.
- Les extincteurs à poudre sèche et à mousse sont principalement placés autour des zones de traitement où ils peuvent être rapidement accessibles en cas d'urgence.

- Des extincteurs spécifiques au CO2 sont également positionnés à proximité des zones à risque électrique pour répondre efficacement aux incendies électriques potentiels.

Table 24 : Dispositions concernant les extincteurs d'incendie

Type d'extincteur		Capacité	Emplacement
Extincteurs portatifs	Mousse (AFFF-AR)	9 litres	Toutes zones de bâtiment y compris le CPF.
	Dioxyde de carbone (CO2)	5 kg	Salles des équipements électriques Salles de commutation Sous-stations Salles de télécommunications Salles d'informatique
	Poudre sèche	9 kg	Zones de traitement générales
Extincteurs mobiles	Mousse (AFFF-AR)	135 kg	Zones de traitement générales
	Dioxyde de carbone (CO2)	45 kg	Sous-stations (extérieures) Salles des équipements locales (extérieures)
	Poudre sèche	100 kg	Zones des équipements d'engins huile de graissage des turbines

4.7 Description de l'alimentation de secours :

En cas d'arrêt complet de la production d'électricité principale à l'installation centrale de traitement (CPF), un système d'alimentation de secours est prévu pour assurer l'approvisionnement en électricité des puits d'eau. Voici les principaux points :

- **Alimentation de secours :** L'installation est équipée pour fournir de l'électricité aux puits d'eau à partir d'une source de secours via un tableau de distribution situé à la sous-station de 11 kV des infrastructures au camp intégré.
- **Procédure de renvoi de l'alimentation :** Cette alimentation de secours est réalisée en renvoyant l'alimentation électrique par le câble d'interconnexion entre le tableau de production d'électricité de 11 kV et le tableau de distribution des infrastructures de 11 kV.

Le système d'alimentation électrique des infrastructures assure une alimentation de secours aux zones suivantes :

- Sous-station des infrastructures
- Base de Vie (BdV)
- Camp militaire
- Garde militaire
- Camp des foreurs et cabine de distribution
- Cabine de distribution des puits d'eau
- Cabine de distribution CWAA

Le système d'alimentation électrique des infrastructures comprend ce qui suit :

- Trois (3) générateurs entraînés par un moteur diesel
- Un tableau de distribution 11kV et 400V
- Des transformateurs et des équipements de contrôle

Les systèmes et équipements suivants, critiques pour la sécurité, sont reliés au système UPS :

- Système de contrôle du traitement
- Système de détection de feu et de gaz
- ESD et système de purge rapide
- Systèmes d'alarme générale (pour les alarmes de feu et de gaz)
- Systèmes de communication

4.8 Description du système de contrôle et communications :

La salle de contrôle opère en continu 24 heures sur 24, intégrant un système de contrôle intégré (ICS) comprenant plusieurs sous-systèmes essentiels :

- **Console de contrôle intégrée (MMI) :** Située dans la salle de contrôle CPF, elle offre une interface unifiée pour les opérateurs, facilitant la gestion opérationnelle de tous les sous-systèmes ICS.
- **Système de contrôle et de surveillance (CMS) :** Responsable de la régulation et de la surveillance des installations de traitement et des fluides utilitaires selon des séquences réglementaires.

- **Système de sécurité intégré (ISS) :** Inclut un arrêt d'urgence (ESD) conforme aux exigences de sécurité fonctionnelle SIL1 à SIL3, un système d'arrêt du traitement adapté aux exigences SIL1, ainsi que la détection et la protection contre le feu et le gaz (F&G).
- **Unité terminale maîtresse (MTU) :** Contrôle et acquisition de données via le système de contrôle et d'acquisition de données (SCADA) spécifique au CPF.
- **Unités terminales à distance (RTU) SCADA :** Déployées aux postes de vannes de la canalisation d'évacuation, aux sites de réception et de raccordement de la canalisation à OHANET, ainsi qu'à tous les sites de puits pour assurer le contrôle à distance.
- **Système de détection des fuites :** Surveille les canalisations d'évacuation du produit pour détecter les fuites potentielles.
- **Système CCTV de détection de flamme :** Utilisé pour détecter les flammes dans l'installation, renforçant ainsi la sécurité contre les incendies.

4.8.1 Système de contrôle et de surveillance :

Le système de contrôle et de surveillance (CMS) situé au CPF est conçu pour assurer plusieurs fonctions critiques liées au contrôle du traitement et à la gestion des canalisations, incluant :

- **Contrôle réglementaire :** Inclut les stratégies de contrôle telles que PID (proportionnel-intégral-dérivé), aggravation, action directe vers l'avant, commande de rapport, et autres techniques de contrôle pour maintenir les opérations conformes aux normes réglementaires.
- **Contrôles de séquençage et de logique :** Gère les séquences opérationnelles et les logiques programmées pour assurer le bon fonctionnement des processus.
- **Affichages et gestion des alarmes :** Fournit des interfaces pour visualiser et gérer les alarmes, permettant une réponse rapide aux événements critiques.
- **Tendances des données en temps réel et historiques :** Collecte et affiche les données en temps réel pour surveiller les performances actuelles, ainsi que les données historiques pour l'analyse et le suivi des tendances sur une période prolongée.
- **Communications avec d'autres dispositifs et sous-systèmes :** Établit des communications bidirectionnelles avec d'autres systèmes et dispositifs au sein de l'installation pour une intégration et une coordination efficace.

- **Acquisition de données :** Collecte des données à partir de capteurs et d'instruments dispersés dans tout le CPF pour fournir une vue complète des opérations.
- **Production de rapports opérationnels et de poste :** Génère des rapports détaillés sur les performances opérationnelles et les conditions du site, essentiels pour la gestion et la prise de décision stratégique.

4.8.2 Système de détection des fuites sur les canalisations :

Pour les canalisations d'évacuation, un système de détection des fuites basé sur un modèle informatique transitoire « en temps réel ».

4.9 Description des équipements de protection personnelle :

4.9.1 Douches de sécurité et postes de rinçage oculaire :

Les équipements de sécurité dans les BIB sont principalement concentrés autour des zones de stockage de produits chimiques, comprenant deux douches d'urgence, des stations de rinçage oculaire et des kits de premiers secours.

Au CPF, des douches d'urgence et des stations de rinçage oculaire sont également installées dans les magasins de produits chimiques et dans la zone de traitement de l'amine, ainsi que dans les salles des batteries locales.

4.9.2 Description de l'intervention d'urgence, sorties de secours, systèmes d'évacuation et de sauvetage :

4.9.2.1 Éclairage de secours :

Des voies de sortie de secours, des postes d'urgence et des points de rassemblement seront obligatoirement fournis avec un éclairage de secours et devraient voir un niveau d'éclairage moyen de 40 Lux. Cela est basé sur les unités d'éclairage fournies avec la puissance électrique par des blocs-batteries intégrés. Les équipements d'éclairage seront obligatoirement fournis selon la classification de zone dangereuse.

4.9.2.2 Signaux d'alarme :

Un signal de feu ou de gaz confirmé déclenchera obligatoirement automatiquement une alarme générale (AG) sonore. Toutes les conditions de feu détectées au camp de construction annonceront une condition d'alarme incendie sur le tableau de contrôle des incendies situé dans le poste d'entrée et, simultanément, déclencheront automatiquement les alarmes sonores dans le bâtiment d'origine ou dans la « zone » désignée au minimum.

4.9.2.3 Points d'alerte manuels (PAM) :

Les points d'alerte manuels (PAM) sont installés dans toutes les zones de l'usine de traitement, y compris les bâtiments, les zones de compression d'admission, et les voies de secours. Ils doivent avoir une capacité IP 65, être espacés de maximum 50 m dans les zones de CPF, et se trouver à chaque porte de sortie des bâtiments. En

cas de danger, le PAM alerte la CCR et le poste d'incendie, et une alarme générale peut être déclenchée manuellement si nécessaire.

4.9.3 Description des installations médicales :

In Amenas dispose de deux centres médicaux, situés à la Base de Vie et au CPF/BIB, équipés de matériel moderne pour les urgences. En cas de nombreuses victimes, une équipe de triage peut préparer une zone dans le garage du poste d'incendie des BIB, où se trouve le centre médical. Pour le transport médical, il y a deux grandes ambulances et un petit véhicule 4x4 pouvant transporter des civières. Tous les patients, expatriés ou nationaux, seront évacués vers des hôpitaux appropriés selon la gravité et la nature de leur condition.

- Hôpital d'In Amenas pour les traumatismes ou les urgences extrêmes (durée du trajet depuis le site : 1,5 heure). Spécialités disponibles : gynécologie, ophtalmologie, interne en cardiologie, pédiatrie, soins intensifs, radiographie, doppler.
- L'hôpital d'Illizi pour les traumatismes ou les urgences extrêmes (durée du trajet depuis le site : 2 heures). Spécialités disponibles : gynécologie, ophtalmologie, chirurgie générale, orthopédie, ORL, neurologie, urologie, endocrinologie, physiothérapie, psychiatrie, biologie.
- Clinique Oasis de Ghardaia pour les malaises et traumatismes médicaux. Il faut un maximum de 5 heures au total pour se déplacer d'IA à la clinique (1,5 heure de trajet par la route jusqu'à l'aéroport, 1 heure d'attente pour l'avion et 2 heures de voyage en avion).
- Les victimes de brûlures seront transportées vers le Centre des Brûlés de l'Hôpital Militaire à Alger.
- Les patients recevront les premiers soins salutaires et seront stabilisés à IA, à l'exception des blessures par brûlure, avant d'être déplacés.

Comme meilleure synthèse à ce travail nous avons développé les nœud papillons pour chaque cas étudié lors de ce travail permettant de mettre en évidence l'importance de ces barrières en termes de prévention dans le cas où les barrières maîtrisent les causes afin de mettre terme au scénario redouté soit perte de confinement ou bien comme des barrières de protection afin de limiter l'ampleur des scénarios catastrophiques. Comme montré dans les pages suivantes.

5. Nœud Papillon du cigare de GPL On-spec :

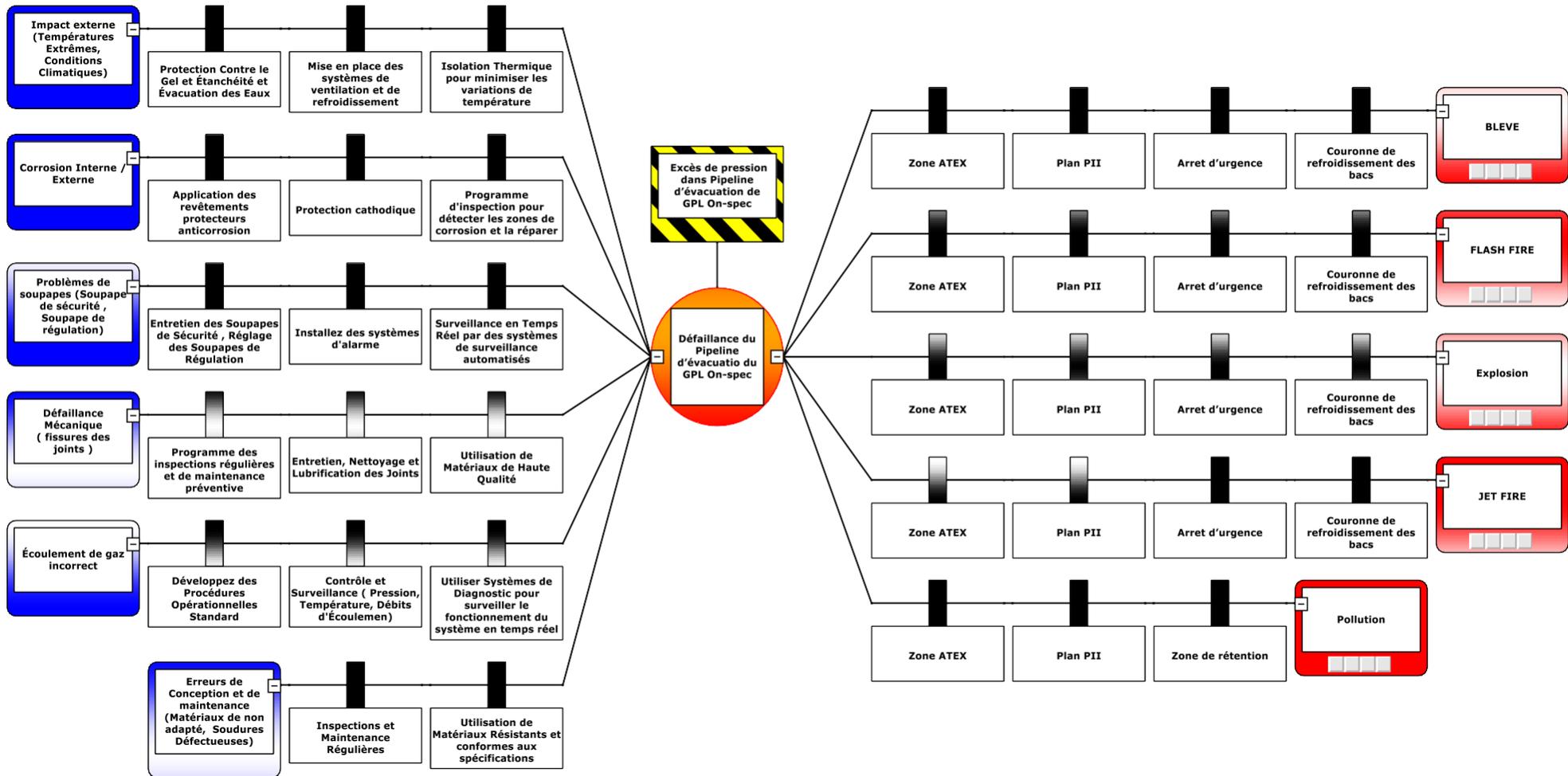


Figure 44 : Nœud Papillon du Cigare de GPL On- Spec

6. Nœud Papillon du Bac du Condensat On-spec :

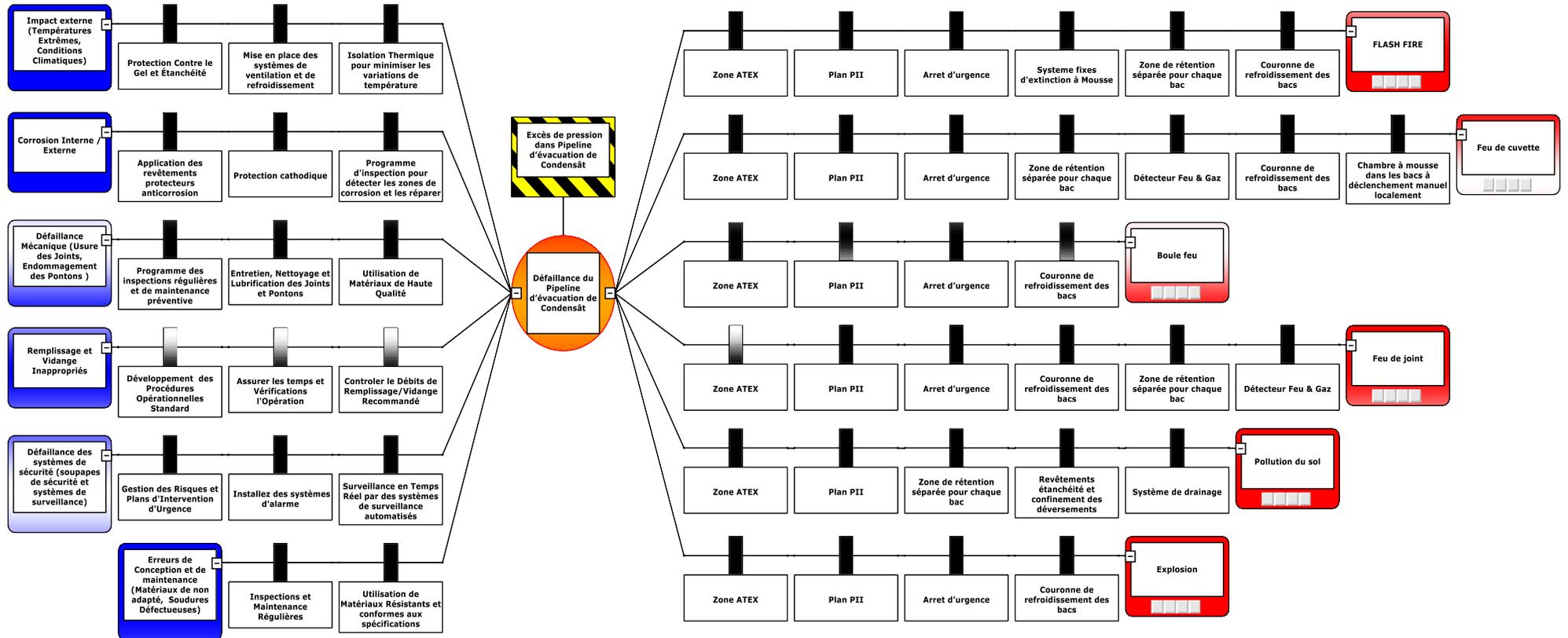


Figure 45 : Nœud Papillon du Bac du Condensat On-Spec

Conclusion :

L'analyse des résultats des scénarios catastrophiques réalisée dans ce chapitre a permis de mettre en évidence l'ampleur et la nature des risques individuels et sociétaux associés aux opérations du complexe gazier de TIGUENTOURINE « CPF ». Grâce à l'application rigoureuse de la démarche QRA, nous avons pu identifier et quantifier les principaux risques, offrant ainsi une base solide pour la prise de décision en matière de sécurité.

Les mesures de sécurité élaborées à partir de la méthodologie du nœud papillon ont démontré leur efficacité dans la prévention et la gestion des risques. Cette approche structurée permet non seulement de visualiser les causes et les conséquences des scénarios dangereux, mais aussi de mettre en place des barrières de sécurité robustes et efficaces.

Conclusion Générale

L'étude de danger menée pour les installations pétrolières du site de TIGUENTOURINE a permis de mettre en lumière les divers scénarios catastrophiques pouvant survenir dans les zones ATEX, ainsi que les défis associés à la gestion de ces scénarios.

Les résultats de cette étude montrent que les scénarios catastrophiques tels que les émissions de gaz, les incendies, et les explosions peuvent avoir des conséquences graves et immédiates pour les travailleurs, les installations, et l'environnement. L'analyse a révélé que ces phénomènes dangereux, qu'ils soient instantanés ou à effets continus, nécessitent une attention particulière et une planification rigoureuse pour leur prévention et leur gestion.

La méthodologie QRA (Quantified Risk Assessment) utilisée dans cette étude a prouvé son efficacité pour évaluer quantitativement les risques associés à ces scénarios catastrophiques. Elle a permis de mettre en évidence les probabilités de risque impactant l'individu ainsi que l'ensemble travailleurs, offrant ainsi une vision claire des priorités en matière de prévention et de protection.

Cependant, l'étude a également mis en évidence certaines difficultés qui peuvent être rencontrées dans la gestion des risques, notamment la complexité de la modélisation des scénarios, prise en considération des facteurs humains. Ces défis soulignent l'importance d'une approche méthodologique rigoureuse et intégrée pour consolider et compléter l'étude de danger d'où l'intérêt à l'utilisation de la méthode QRA.

A la fin de ce projet, cette étude a permis de développer une compréhension approfondie des risques dans les zones ATEX des sites pétroliers et de proposer des mesures adéquates pour leur gestion.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Boualem Ikram et Deroua Amina, « Mise en œuvre d'une étude de danger dans le domaine des hydrocarbures selon le nouveau décret exécutif », MÉMOIRE Pour l'obtention du diplôme de Master, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed. Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, 2021.
- [2] *Dictionnaire QHSE*, Le Glossaire QHSE. 2011.
- [3] MOUFFOK Hayet Fatma et RAHAL Nadia, « Elaboration d'une approche FDMS pour l'optimisation des performances d'un système de sécurité », MÉMOIRE Pour l'obtention du diplôme de Master, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, 2022.
- [4] « Le risque industriel : définition et gestion des risques industriels - LE GARREC ». Consulté le: 18 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.legarrec.com/entreprise/le-risque-industriel-definition-et-gestion-des-risques-industriels/>
- [5] « Dommages, endommagement », Géoconfluences. Consulté le: 19 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/dommages-endommagement>
- [6] *Dictionnaire de management des Projets*, AFNOR Éditions. 2010.
- [7] Nichan Margossian, *RISQUES ET ACCIDENTS INDUSTRIELS MAJEURS Caractéristiques Réglementation Prévention*, Dunod. in ENVIRONNEMENT ET SÉCURITÉ. Paris, 2006.
- [8] « Guideline etude de dangers & termes de ref ». Groupe Sonatrach Direction Centrale Santé, Sécurité & Environnement, juillet 2004.
- [9] « Analyse des accidents du travail. Analyse des accidents du travail - Démarches de prévention - INRS ». Consulté le: 18 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/demarche/analyse-accidents-travail/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- [10] « Décret exécutif n° 21-319 », *JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 64*, 22 août 2021.
- [11] « Qu'est-ce qu'une zone ATEX ? », OfficeEasy. Consulté le: 20 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.officeeasy.fr/reglementation-norme-atex>
- [12] M. A. Haddad, « Contribution théorique et modélisation des phénomènes instantanés dans les opérations d'autovaporisation et de déshydratation », mars 2024.
- [13] DEBBAKH Med.Faycal BENATALLAH Ismail, « Identification des risques d'explosion sur le bac de stockage condensat off-spec de GTFT Application la méthode HAZOP », Université KasdiMerbah OUARGLA Institut de technologie, 2016.
- [14] « INRS Santé et sécurité au travail EXPLOSION SUR LE LIEU DE TRAVAIL ». INRS 2024, 31 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.inrs.fr/risques/explosion>
- [15] « Rapport de l'étude de dangers (EDD) CPF d'In Amenas ». mars 2021.
- [16] « BLEVE – Causes et mesures de prévention », Techniques de l'Ingénieur. Consulté le: 26 mars 2024. [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/>
- [17] « LE BLEVE ». GROUPE DE TRAVAIL SECTORIEL « GPL », 7 décembre 2006.
- [18] « Phénomènes dangereux dans les dépôts de liquides inflammables - Incendies et explosions : Jet enflammé | Techniques de l'Ingénieur ». Consulté le: 29 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/risques-d-explosion-phenomenologie-et-effets-42157210/phenomenes-dangereux-dans-les-depots-de-liquides-inflammables-se5086/jet-enflamme-se5086niv10006.html>

- [19] « Phénomènes dangereux dans les dépôts de liquides inflammables - Incendies et explosions : Feu de nappe/feu de bac | Techniques de l'Ingénieur ». Consulté le: 29 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/risques-d-explosion-phenomenologie-et-effets-42157210/phenomenes-dangereux-dans-les-depots-de-liquides-inflammables-se5086/feu-de-nappe-feu-de-bac-se5086niv10005.html>
- [20] « Débordement d'un mélange d'hydrocarbures. - La référence du retour d'expérience sur accidents technologiques ». Consulté le: 19 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/32693/>
- [21] « Fuite sur un bac à toit flottant - La référence du retour d'expérience sur accidents technologiques ». Consulté le: 19 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/26740/>
- [22] « Raffinage de pétrole / Stockage et distribution de produits pétroliers Archives - Page 4 of 5 », La référence du retour d'expérience sur accidents technologiques. Consulté le: 19 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accidentologie/raffinage-de-petrole-stockage-et-distribution-de-produits-petroliers/>
- [23] « INTERNATIONAL STANDARD NORME INTERNATIONALE IEC 31010 ».
- [24] M. Guetarni Islam Hadj Mohamed, « Analyse Quantitative des Risques : Application sur les Bacs de Stockage », THÈSE Pour l'obtention du diplôme de Doctorat « L.M.D » En Sécurité Industrielle et Environnement, Université d'Oran 2 Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, 2019.
- [25] « Différences entre études qualitatives et quantitatives », SurveyMonkey. Consulté le: 18 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.surveymonkey.com/mp/quantitative-vs-qualitative-research/>
- [26] *Techniques de l'Ingénieur ; Méthodes d'analyse des risques*. in Ti 112.
- [27] B.DEBRAY, S.CHAUMETTE, S. DESCOURIERE, V. TROMMETER, *Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle*, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD). in INERIS. INERIS.
- [28] Ismail DAMMAK, « Presentation de la methode de HAZID ».
- [29] Mr. MOUSSAOUI Toufik, « Evaluation Quantitative Des Risques Industriels QRA: Application dans une unité de traitement de gaz naturel », Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme D'Ingénieur d'état en QHSE-GRI, ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE, 2015.
- [30] Jan-Erik Vinnem, *Offshore Risk Assessment vol 2 Principles, Modelling and Applications of QRA Studies*, Third Edition. Springer Series in Reliability Engineering, 2014.
- [31] B. MAZARI, « Augmentation du rendement des pompes d'huiles suivant la recommandation constructeur sulzer », Projet professionnel de fin de stage MSP, formation avant recrutement, Institut Algerien du Petrole, 2017.
- [32] « MANUEL D'EXPLOITATION ». JK Project Approval, 4 avril 2022.
- [33] AMARNI Amina ET BAHLOUL Hadjer, « L'approche QRA pour l'estimation du niveau des risques individuel et sociétal d'une installation », Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, 2022.

ANNEXES

Annexe A

Caractéristique des phénomènes dangereux :

La cinétique d'un scénario d'accident correspond à la vitesse de la séquence d'événements, de l'événement déclencheur jusqu'aux conséquences sur les éléments vulnérables.

Tableau 1 : Échelle cinétique des phénomènes dangereux.

Phénomènes dangereux	Caractéristique
EXPLOSION (VCE)	Phénomène à cinétique très rapide, se caractérise par la brièveté des phases pré-accidentelle et post-accidentelle.
FLASH FIRE (Feu Flash)	Phénomène à cinétique très rapide, se caractérise brièveté des phases pré-accidentelle et post-accidentelle.
POOL FIRE (Feu De Nappe)	Phénomène à cinétique long mais immédiat, se caractérise par une cinétique particulière : un événement initiateur rapide suivi d'une combustion durable.
JET FIRE (Feu Chalumeau)	Phénomène à cinétique long mais immédiat, se caractérise par une cinétique particulière : un événement initiateur rapide suivi d'une combustion durable, dont la durée dépend de la capacité à couper l'alimentation du feu.
FIRE BALL (Boule De Feu)	Phénomène à cinétique rapide mais retardé, se caractérise par une phase pré-accidentelle lente suivie d'une phase post-accidentelle extrêmement rapide.
BLEVE	Phénomène à cinétique rapide mais retardé, se caractérise par deux types distincts avec des cinétiques différentes : le BLEVE froid et le BLEVE chaud.

Synthèse de criticité des scenarii sur l'homme :

Equipement	Phénomène	Effets létaux Significatifs
Réservoirs de stockage du GPL On-Sept	Feu chalumeau	1 à 10 décès
	Feu flash	Plusieurs blessures
	BLEVE	10 à 100 décès ou plus
	Explosion	10 à 100 décès ou plus
Réservoirs de stockage du Condensat On-Sept	Feu de cuvette	Blessure unique
	Feu flash	Blessure unique
	Boule feu	Blessure unique
	Feu de joint	Blessure unique
	Explosion	Plusieurs blessures

Seuils de référence pour les effets thermiques :

Pour les effets thermiques, les seuils retenus sont les suivants :

Tableau 2 : Seuils thermiques des effets sur l'homme.

Seuils pour les effets sur L'homme	
2,5 kW/ m²	L'accident peut affecter des personnes sensibles ou non averties
6,4 kW/ m²	Conséquences graves, directes ou indirectes, immédiate ou à long terme
10 kW/ m²	1 % de fatalité après 20 secondes pour les personnes non protégées
12,5 kW/ m²	Conséquences irréversibles ou les létales, même à court exposition

Tableau 3 : Seuils thermiques des effets dominos.

Seuils pour les effets dominos	
8 kW/ m²	Dégâts aux installations non protégées
32 kW/ m²	Dégâts aux installations protégées opérants à pression atmosphérique
44 kW/ m²	Dégâts aux installations protégées opérants sous pression

Seuils de référence pour les effets surpression :

Pour les effets de surpression, les seuils retenus sont les suivants :

Tableau 4 : Seuils de surpression des effets sur L'homme.

Seuils pour les effets sur L'homme	
25 mbar	Dommages graves
50 mbar	Dommages irréversibles ou létaux

Tableau 5 : Seuils de surpression des effets dominos.

Seuils pour les effets dominos	
160 mbar	Dégâts aux structures (effet domino)
300 mbar	Dégâts graves aux structures

Annexe B

Modélisation par le logiciel PHAST8.0 :

Présentation du logiciel de simulation PHAST :

PHAST, développé par DNV, est un logiciel spécialisé dans l'évaluation des conséquences potentielles des incidents industriels, tels que les fuites de gaz, les incendies, les explosions et les risques toxiques. Son nom, PHAST, signifie "Process Hazard Analysis Software Tool". Ce logiciel permet une analyse exhaustive des risques dans les installations industrielles en simulant les scénarios d'accidents depuis la fuite initiale jusqu'à la dispersion atmosphérique en champ lointain. Il prend en compte des éléments comme l'épandage et l'évaporation de flaques. PHAST peut modéliser divers types de rejets, y compris ceux provenant de fuites de réservoirs ou de ruptures de canalisations. Il utilise le modèle de dispersion intégral, appelé Unified Dispersion Model (UDM), pour calculer des informations cruciales, telles que les distances de sécurité en cas de seuils toxiques et l'empreinte du nuage au sol à un moment donné.

Description des données nécessaires :

Les données entrées dans le logiciel SAFETI ont inclus les mêmes informations que celles utilisées dans la modélisation par PHAST, auxquelles nous avons ajouté la fréquence d'occurrence de chaque type de fuite étudiée ainsi que le scénario de rupture de l'installation. Nous avons également pris en compte le nombre de personnes résidant à proximité du site étudié. Pour compléter la simulation, d'autres données étaient nécessaires, notamment la probabilité d'ignition, qui a été évaluée en fonction du nombre de véhicules circulant à proximité du complexe industriel.

Etapes d'une simulation par PHAST :

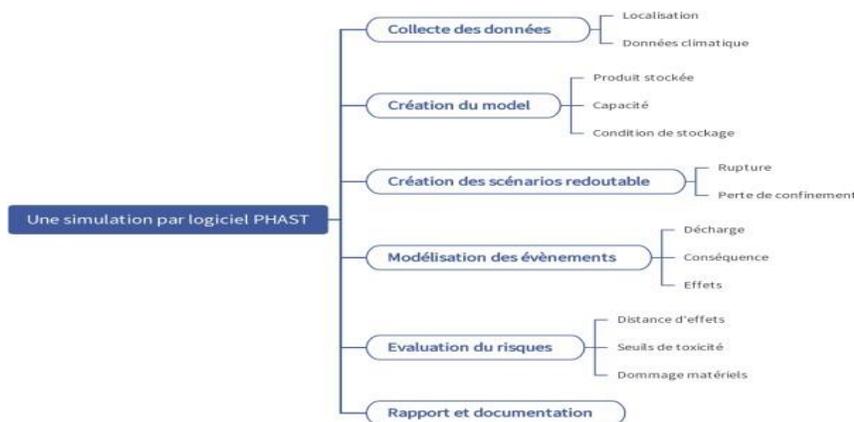


Figure 1: Les étapes d'une simulation par PHAST

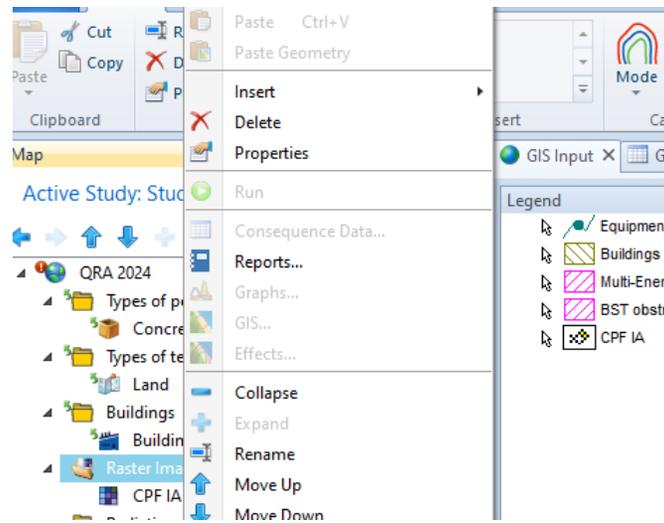


Figure 2: L'insertion d'une photo

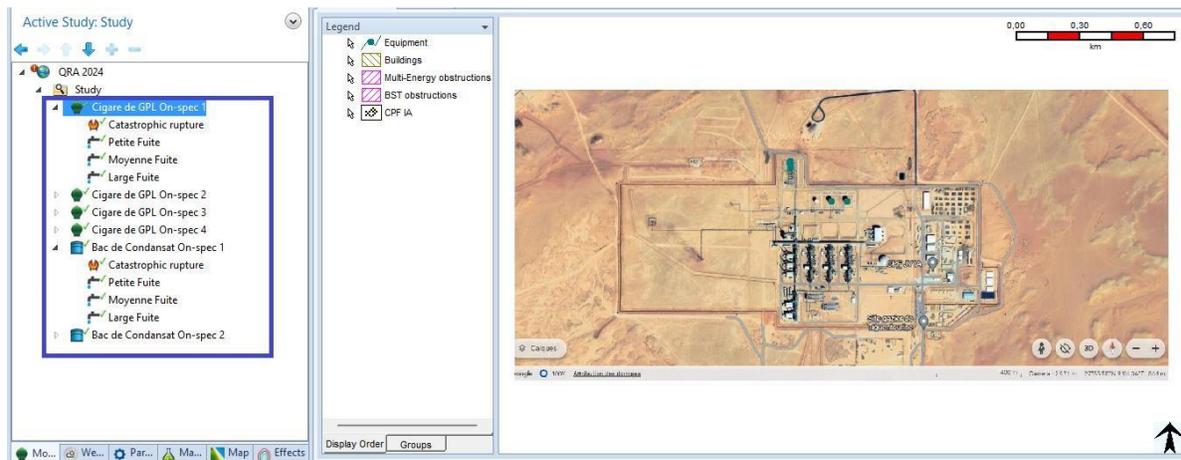


Figure 3 : Introduction du modèle général

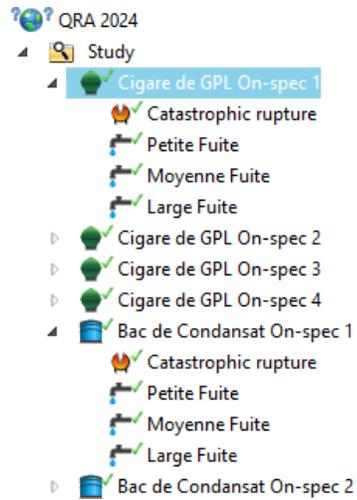


Figure 4 : Différents types de scénarios

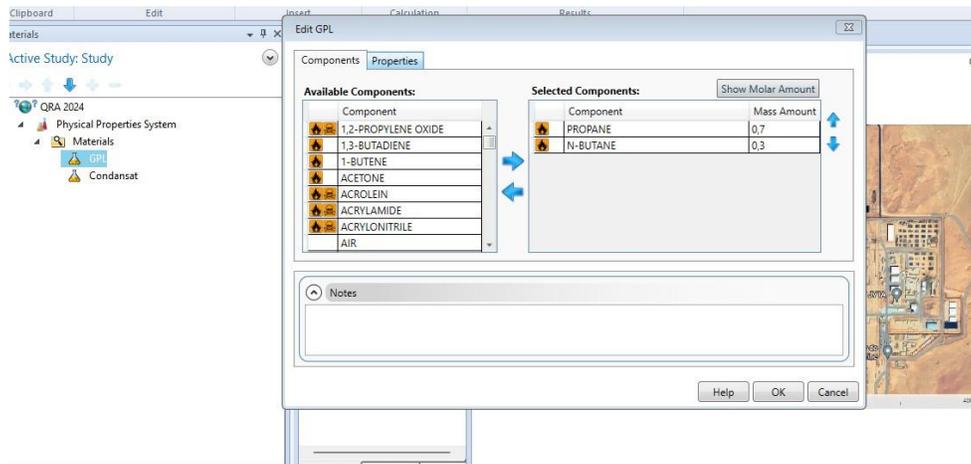


Figure 5: Insertion des données de matériel

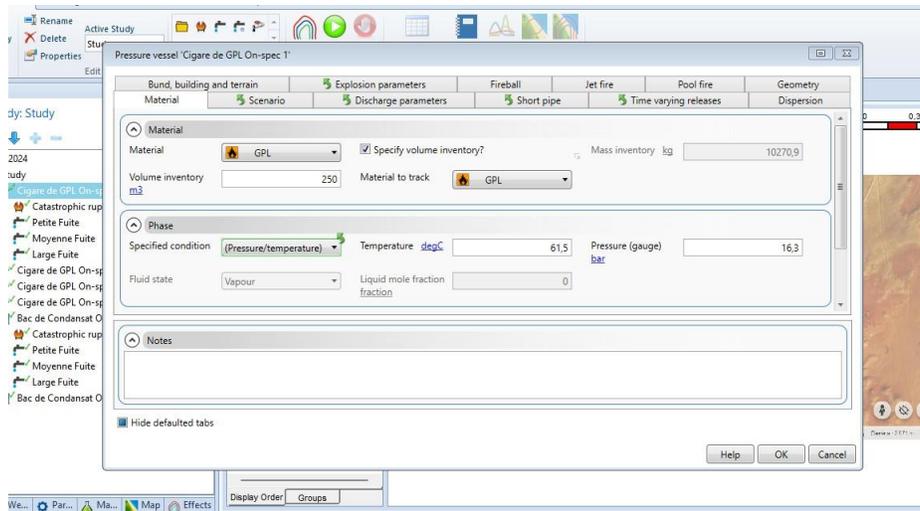


Figure 6 : Données importantes équipement

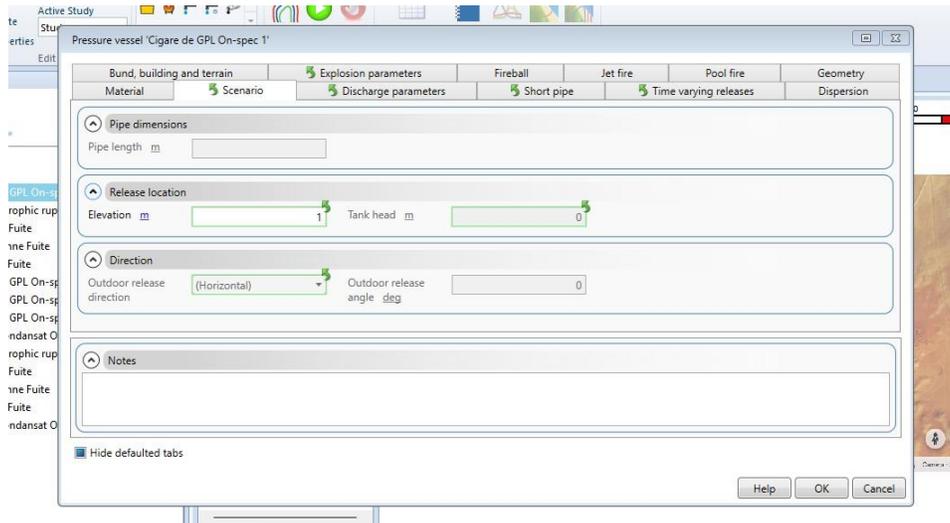


Figure 7 : Données importantes scénario

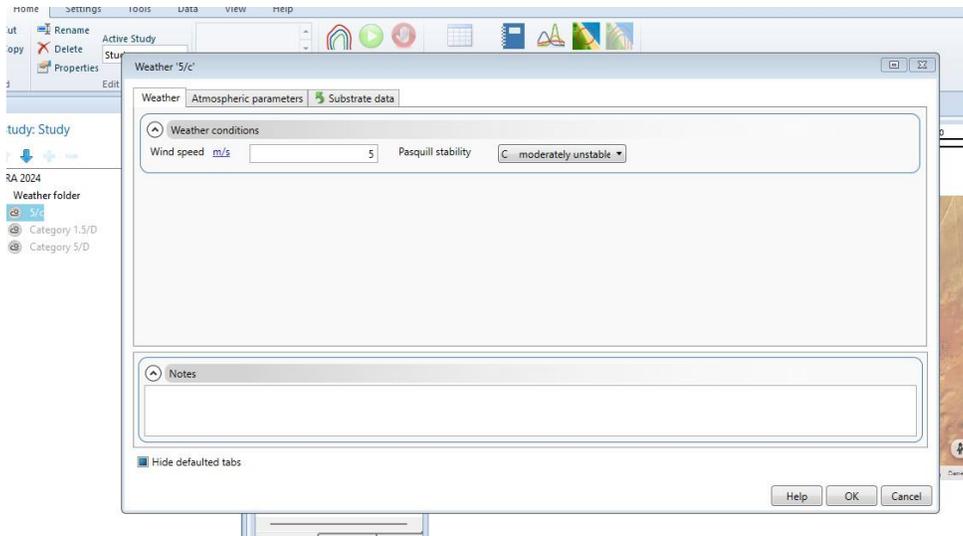


Figure 8 : Données climatique

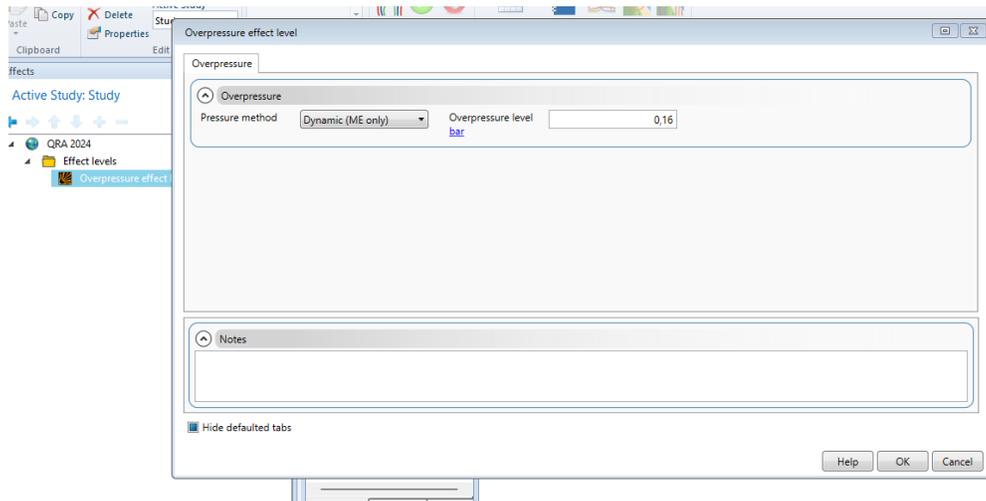


Figure 9: Niveau d'effets

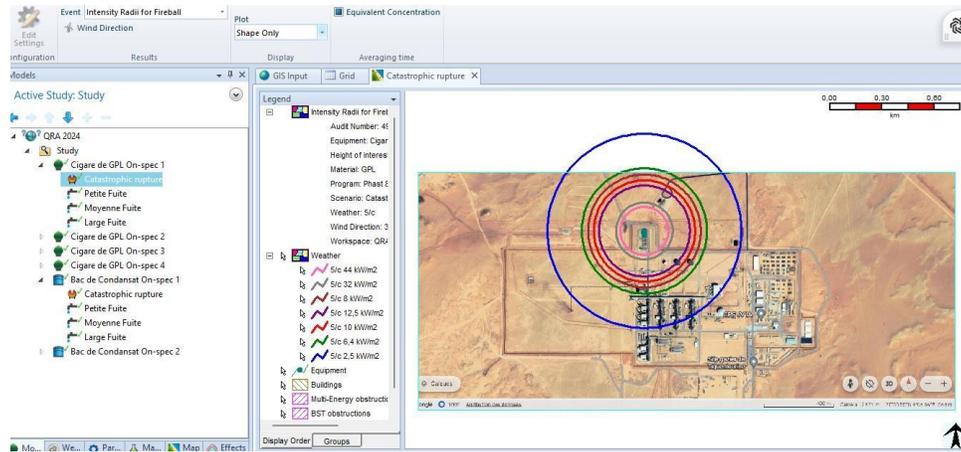


Figure 10: conséquences de GIS

Modélisation par le logiciel SAFETI 8.0 :

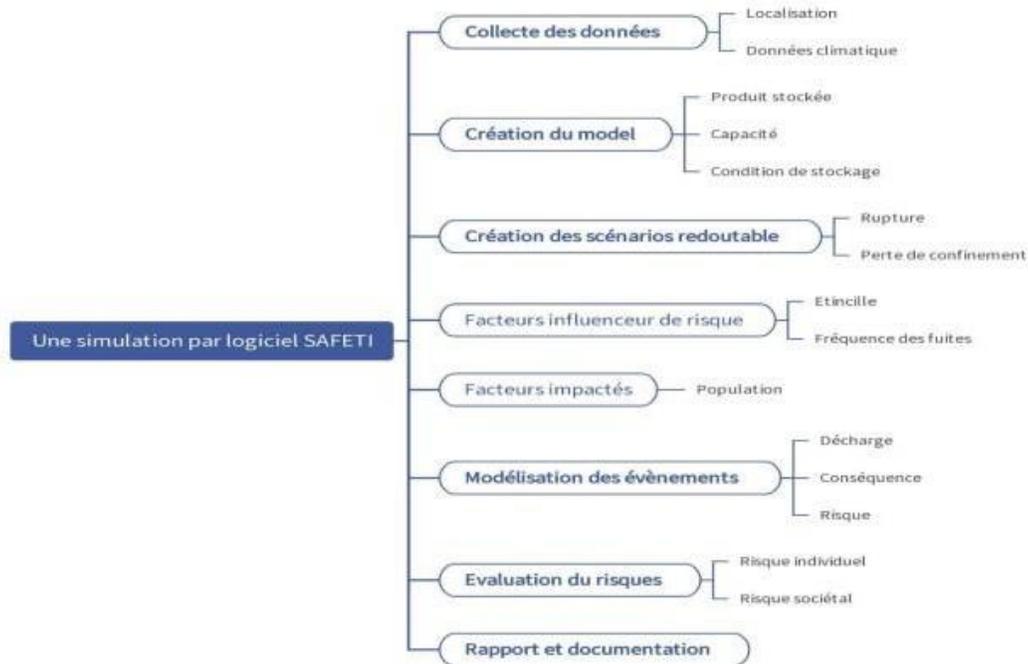
Présentation du logiciel de simulation SAFETI :

SAFETI, qui signifie "Safety Analysis Framework for the Evaluation of Technology and Installation", offre une approche systématique pour évaluer les risques et comprendre les impacts potentiels sur les personnes, les biens et l'environnement. En utilisant SAFETI 8.0, nous avons pu créer des modèles virtuels pour notre installation industrielle, en tenant compte du nombre de personnes et de leur emplacement à l'intérieur et à l'extérieur du complexe CPF IA. Il nous aide à simuler des scénarios d'accidents spécifiques pour évaluer les conséquences probables, telles que les risques individuels et sociétaux, les niveaux d'exposition aux risques et les effets sur l'environnement. SAFETI permet d'effectuer une évaluation approfondie des risques industriels en modélisant et en simulant différents scénarios d'accidents.

Description des données nécessaires :

En ce qui concerne les données que nous avons entré dans le logiciel SAFETI nous avons pris en considération les même données que sur modélisation par PHAST ainsi que nous avons ajouté « la fréquence d'occurrence de chaque type de fuite étudié et le scénario de rupture de l'installation » le nombre de la population se trouvant en a voisinage du site étudié d'autre données étaient nécessaire pour la simulation concernant « la probabilité de l'étincelle (ignition) » prise en considération selon le nombre de véhicule circulant à proximité du complexe»

Étapes d'une simulation par SAFETI :



Présentation du logiciel BOW TIE XP :

BowTieXP est le logiciel d'évaluation des risques le plus utilisé, cet outil est basé sur la méthode nœud papillon. Il vous permet de créer facilement des diagrammes nœud papillon pour évaluer le risque. BowTieXP est unique dans sa capacité à visualiser des risques complexes de manière compréhensible, mais permet également d'élaborer des plans d'amélioration détaillés basés sur les risques. Un diagramme nœud papillon permet de visualiser le risque, auquel vous faites face, dans un seul schéma compréhensible. Le diagramme a la forme d'un nœud papillon et crée une distinction claire entre les aspects proactifs et réactifs de la gestion des risques. Dans BowTieXP, le diagramme nœud papillon vous donne un aperçu de plusieurs scénarios d'incidents plausibles et indique quelles barrières vous avez mis en place pour contrôler ces scénarios. Le logiciel BowTieXP est développé pour l'utilisateur final, ce qui en fait l'un des outils d'évaluation des risques les plus simples à utiliser. Il est facile de créer un diagramme dans BowTieXP, mais le logiciel vous permet également d'actualiser le diagramme pour qu'il reflète toujours l'état actuel de vos barrières de sécurité.

Étapes d'une simulation par BOW TIE XP :

- Définir le périmètre :
 - Identifier le danger et le top événement.
- Construire le diagramme BowTie :

- Lister les causes et les conséquences du top événement.
- Ajouter les barrières de prévention et de récupération.
- Analyser les barrières :
 - Vérifier l'efficacité et documenter les barrières.
- Évaluer et simuler les scénarios :
 - Simuler les scénarios de risque et analyser les résultats.
- Recommandations et actions correctives**
 - Proposer des améliorations et planifier des actions correctives.
- Documentation et suivi**
 - Documenter l'analyse et mettre en place un suivi régulier.

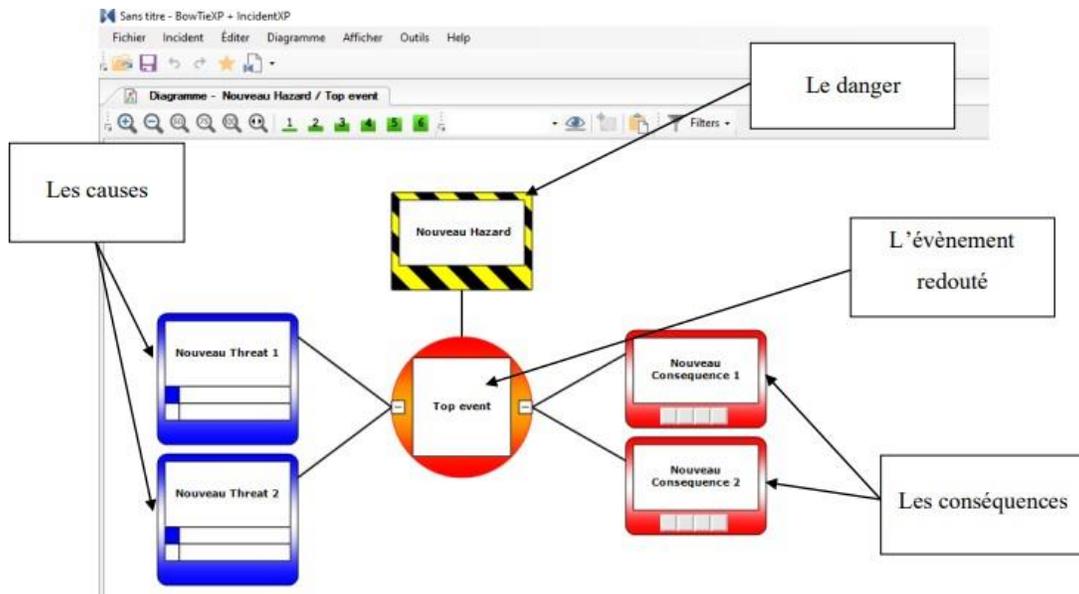


Figure 11 : Introduction du modèle général

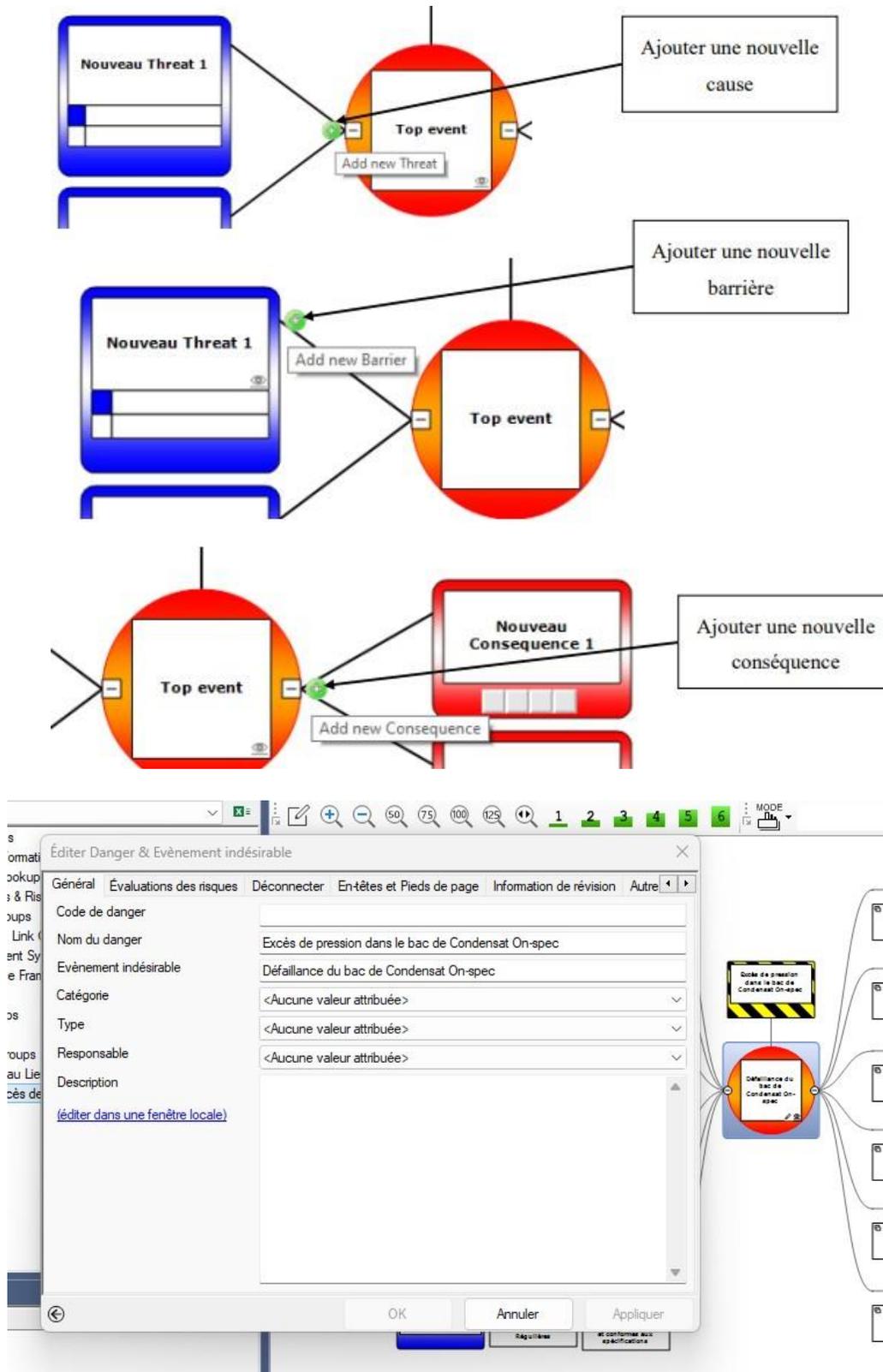


Figure 12: Identification de danger et de top événement.

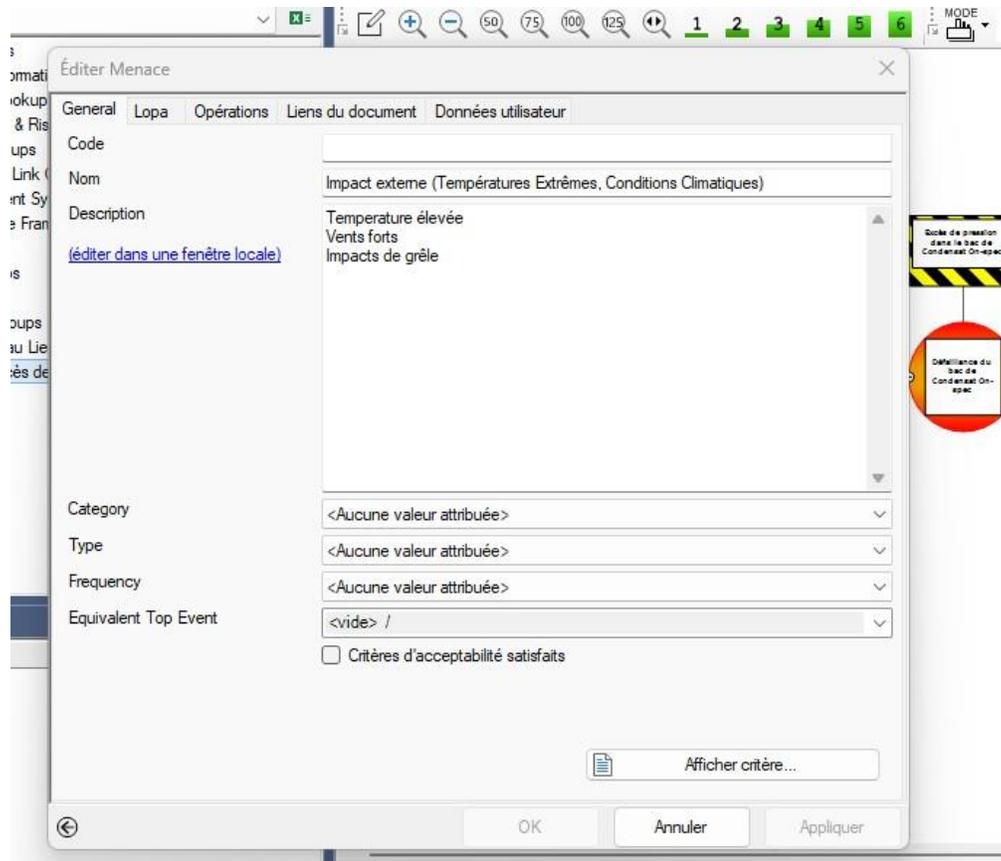


Figure 13: Identification des causes