



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

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

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement
MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

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

Thème

**L'approche QRA pour l'estimation du niveau des
risques individuel et sociétal d'une installation**

Présenté et soutenu publiquement par :

Nom Prénom
AMARNI Amina ET BAHLOUL Hadjer

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Khadija BELOUFA	MAA	IMSI	Présidente
Islam Hadj Mohamed GUETARNI	MCB	IMSI	Encadreur
Mohamed EL amine NADJI	MAA	IMSI	Examineur
Fatima Zohra SERAT	MCB	IMSI	Invitée

Année 2022/2023

Remerciement :

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier sincèrement Mr. GUETARNI.I, qui en tant que Directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.

Par ailleurs nous remercions Mme.BELADJINE Lilia ingénieur HSE service prévention du complexe GNL2Z SONATRACH, Mme.Bahloul Zahra ingénieur process département technique du complexe GNL2Z SONATRACH, Mme. AMARNI Amira ingénieur en génie civil pour toute l'aide qu'elles ont bien voulu nous apporter.

Dédicace :

A mes très chers parents qui ont toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

A mes frères Elhachemi et Amin.

A mes sœurs Zahra, Khaoula, Besma et Samia pour leur soutien moral.

Sans oublier mes collègues.

« HADJER »

Dédicace :

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
« أَنْ اشْكُرْ لِي وَلِوَالِدَيْكَ إِلَيَّ الْمَصِيرُ »

Je dédie ce travail à ma mère Allah yarhemha et à mon cher père.

« AMINA »

Résumé :

Ce mémoire met en avant l'approche QRA (Evaluation Quantitative des Risques) pour évaluer le niveau de risque individuel et sociétal d'un bac de stockage de GNL au niveau du complexe GNL2Z. la méthodologie est développée par l'utilisant des outils essentiels dans le domaine des études de danger tels que HAZOP, ADE, PHAST et SAFETI, permettant la mise en œuvre des différentes étapes de l'Evaluation QRA. L'étude a permis d'identifier les sources de dangers, d'évaluer les probabilités d'occurrence des accidents, de modéliser les conséquences et d'estimer les niveaux de risque associés.

Lors de ce projet de fin d'étude l'étude QRA a été mise en avant comme méthodologie d'évaluation des risques individuel et sociétal suite à une modélisation des conséquences dans le cadre de la prise de décisions en matière de mesures de sécurité.

Mots clés : QRA, HAZOP, Bac de stockage, GNL, modélisation des conséquences, Risque individuel, Risque sociétal

Abstract:

This dissertation highlights the implementation of the QRA (Quantitative Risk Assessment) technique to evaluate the risk levels of an LNG storage tank at the GNL2Z complex, on both an individual and societal risks level. The approach was developed using fundamental tools in the field of hazard studies, such as HAZOP, ADE, PHAST, and SAFETI, which enable the various stages of the QRA Evaluation to be implemented. The study facilitated the identification of hazard sources, assessment of accident probability, modeling of consequences, and estimation of associated risk levels.

Throughout this studies project, the QRA was highlighted as a methodology to evaluate individual and societal risks by modeling consequences in the context of security decision-making.

Keywords: QRA, HAZOP, Storage tank, LNG, consequence modelling, individual risk, societal risk

Liste des abréviations :

AAE : Analyse par Arbre d'Evénements.

AAD : Analyse des Arbres de Défaillance.

ADE: Arbre Des évènements.

ALARP: As Low As Reasonably Practicable.

AMDE : L'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets.

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

APR : L'Analyse Préliminaire.

ARH : Autorité de Régulation des Hydrocarbures.

ATEX : Atmosphère Explosive .

BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion.

CE : Conformité Européenne.

EDD : Etude De Danger.

EIE : Etudes d'Impact sur l'Environnement.

EPI : Equipements de Protection Individuelle.

FMEA: Failure Modes and Effects Analysis.

GN : Gaz Naturel.

GNL : Gaz Naturel Liquéfié.

HAZOP : HAZard and Operability.

ICPE : Installation Classées pour la Protection de l'Environnement.

ISO: International Organization for Standardization (Organisation Internationale de Normalisation).

LFL: Upper Flammable Limit.

MEA: Mono-Ethanol-Amine.

OHSAS: Occupational Health and Safety Assessment Series.

PGE : Prêt Garanti par l'État

PHA : Process Hazard Analysis.

PHAST: Process Hazard Analysis Software Tools.

POI : Plan d'Opération Interne.

PPI : Plans Particulier d'Intervention.

QRA : Quantitative Risk Assessment (Evaluation Quantitative des Risques).

REX: Retour experience.

SAFETI: Safety Analysis Framework for the Evaluation of Technology and Installation.

SDF : Sûreté De Fonctionnement.

SGS : Système de Gestion de Sécurité.

SONATRACH : Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures.

SST : Santé Sécurité au Travail.

UVCE : Unconfined Vapour Cloud Explosion.

UDM : Unified Dispersion Model.

UFL : Lower Flammable Limit.

VCE : Vapour Cloud Explosion.

Table des matières

Remerciement :	1
Dédicace :	2
Dédicace :	3
Résumé :	4
Abstract:	4
Liste des abréviations :	5
Liste des figures:	12
Liste des tableaux:	14
Introduction générale :	18
CHAPITRE I : Contribution de l'étude de danger à la maîtrise des risques industriels. ...	20
Introduction :	20
I.1. Concepts généraux :	21
I.1.1. Danger :	21
I.1.2. Exposition :	21
I.1.3. Incertitude :	21
I.1.4. Risque :	22
I.1.5. Risque industriel :	22
I.1.6. Facteur de risque industriel :	22
I.1.6.1. Facteurs techniques de risque	22
I.1.6.2. Facteurs de risque humains	23
I.1.6.3. Les facteurs organisationnels de risque :	24
I.1.7. Zones ATEX :	24
I.1.7.1. Règlementation ATEX :	25
I.1.8. Scénario-catastrophe :	25
I.1.8.1. Effets d'une catastrophe industrielle :	25
I.1.9. Incendie (Le mécanisme de la combustion) :	25
I.1.10. Explosion :	26
I.1.11. Explosion de gaz en milieu ouvert (UVCE) :	26
I.1.12. Feux de nappe :	27
I.1.13. Boiling Liquid Expanding Vapor (BLEVE):	27
I.1.14. Retour d'expérience :	28
I.1.14.1. Objet du retour d'expérience :	28

I.1.14.2. Constituer une base de données :	29
I.1.15. Accidentologie : Stockages de gaz inflammable liquéfier :	29
I.2. Réglementation européenne relative aux EDD :	31
I.3. Réglementation algérienne relative aux EDD :	31
I.3.1. Nouvelle réglementation (Décret 21-319) :	33
I.3.1.1. Contexte de la nouvelle réglementation :	33
I.3.1.2. Application du DE 21-319 :	33
I.3.1.3. Principaux changements :	33
I.3.1.4. Impacts de nouvelle réglementation :	35
I.4. Etude de danger :	36
I.4.1. Définition :	36
I.4.2. Objectifs :	38
I.4.3. Structure de l'étude de dangers :	38
I.4.4. Méthodologie de l'étude :	39
I.4.5. Technique et outils utilisés dans L'étude de danger :	40
I.4.5.1. Analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) :	40
I.4.5.2. Analyse des risques :	40
I.4.5.3. Cartographie des risques :	41
I.4.5.4. Analyse de l'accidentologie :	41
I.4.5.5. Modélisation des scénarios d'accident :	41
I.4.5.6. Analyse des barrières :	41
I.4.5.7. Analyse préliminaire :	42
I.4.5.8. Méthode nœud papillon :	43
I.4.5.9. Méthode « HAZOP » (HAZard and OPerability):	45
I.4.5.10. Analyse par arbre d'événements :	46
I.4.6. Contexte de l'étude de danger :	48
I.4.7. Limites et critiques :	48
I.4.8. Prévention :	51
I.4.8.1. Rôle des professionnels de la prévention :	51
I.4.9. Protection :	52
Conclusion :	52
CHAPITRE II : Méthodologie de QRA pour une évaluation plus réelle des risques industriels.	55
Introduction :	55

II.1. Principes de base de l'approche QRA :.....	56
II.1.1. Quantification des risques :	56
II.1.2. Évaluation des conséquences potentielles :.....	56
II.1.2.1. Gravité de l'événement :	56
II.1.2.2. Nombre de personnes touchées :	57
II.1.2.3. Durée des conséquences :	57
II.1.3. Évaluation des probabilités d'occurrence :	58
II.1.4. Risque et évaluation des risques :.....	59
II.1.4.1. Évaluation qualitative des risques :	59
II.1.4.2. Évaluation quantitative (ou quantifiée) des risques :.....	60
II.2. Aperçu de QRA :	61
II.2.1. Définir le périmètre d'étude, les objectifs et les critères d'acceptation des risques :	61
II.2.1.1. Définir le périmètre d'étude	61
II.2.1.2. Définir les objectifs :	61
II.2.1.3. Définir les critères d'acceptation des risques :.....	62
II.2.2. Identification des risques et des scénarios :.....	62
II.2.2.1. Identification des risques :.....	62
II.2.2.2. Identification des scénarios :	62
II.2.3. Détermination de la fréquence et de la probabilité :.....	63
II.2.4. Modélisation et évaluation des conséquences :	64
II.2.5. Calcul des valeurs de risque :	65
II.2.5.1. Analyse de sensibilité :	65
II.2.5.2. Présentation des valeurs de risque prédites :	65
II.2.5.2.1. Risque individuel.....	65
II.2.5.2.2. Risque sociétal :.....	66
II.2.5.2.3. Zones à risque	67
II.2.6. Comparaison des prédictions QRA avec les critères de risque :	67
Conclusion :.....	67
CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude et analyse des scénario catastrophe.	69
Introduction :.....	69
III.1. Localisation de l'ouvrage ou l'installation dans son environnement.....	69
III.1.1. Situation géographique :.....	69
III.1.2. Environnement physique :.....	70

III.1.3. Environnement humain :	71
III.1.4. Production du complexe :	72
III.1.5. Stockage du GNL :	74
III.1.5.1. Construction des bacs :	75
III.1.5.2. Sécurité des bacs et instruments de mesure :	75
Conclusion :	76
CHAPITRE IV : Evaluation du QRA	78
Introduction :	78
IV.1. Application de la méthode HAZOP sur la section stockage GNL :	78
IV.1.1. Choix de la matrice :	78
IV.1.2. Élaboration d'un tableau HAZOP :	79
IV.1.3. Interprétation des résultats :	112
IV.2. Appréciation des fréquences des évènements initiateurs et développement des arbres des évènements :	113
IV.3. Modélisation par le logiciel PHAST8.0 :	117
IV.3.1. Hypothèses générales pour la modélisation :	117
IV.3.1.1. Présentation du logiciel de simulation PHAST :	117
IV.3.1.2. Etapes d'une simulation par PHAST :	118
IV.3.2. Description des données nécessaires :	119
IV.3.2.1. Conditions atmosphériques :	119
IV.3.2.2. Caractéristique d'équipement étudié :	119
IV.3.2.3. Seuils de référence pour les effets thermiques :	120
IV.3.2.4. Seuils de références pour les effets de surpression :	121
IV.3.3. Analyse de la cinétique des événements :	121
IV.3.4. Présentation des différents scénarios catastrophiques et Analyse des conséquences :	123
IV.3.4.1. Scénario N°1 :	123
IV.3.4.2. Scénario N°2 :	129
IV.3.4.3. Scénario N°3 :	136
IV.3.5. Discussion :	141
IV.3.6. Simulation des effets dominos pour les trois Bacs de stockage de GNL du complexe GL2/Z :	142
IV.3.5.1. Scénario :	142
IV.4. Modélisation par le logiciel SAFETI 8.0 :	144

IV.4.1. Hypothèses générales pour la modélisation :.....	144
IV.4.1.1. Présentation du logiciel de simulation SAFETI :.....	144
IV.4.1.2. Description des données nécessaires :.....	144
IV.4.1.3. De PHAST à SAFETI :.....	146
IV.4.1.4. Les étapes d'une simulation par SAFETI :.....	147
IV.4.2. Évaluation de risques :	148
IV.4.2.1. Risque individuel :	148
IV.4.2.2. Risque sociétal :	149
Conclusion :.....	150
Conclusion générale :	151
Annexes :.....	155
Annexe A	155
Annexe B :.....	157
Annexe C :.....	160

Liste des figures:

Figure I.1: risque = Exposition x Danger	21
Figure I.2: Triangle du feu	26
Figure I.3:Feu de nappe (pool fire)	27
figure I.4:BLEVE - Boiling liquid expanding vapor explosion -.....	27
Figure I.5:Accidents survenus sur le complexe GL2Z.....	30
Figure I.6:Accidents survenus sur le complexe GL2Z.....	30
Figure I.7: exemple nœud papillon	43
Figure I.8:Schéma d'un nœud papillon	44
Figure I.9: Exemple HAZOP	46
Figure II.1 : les étapes de QRA	61
Figure II.2:Exemple d'arbre des événements	63
Figure II.3:Modélisation des conséquences pour un événement impliquant une ignition .	64
Figure II 4:Exemple de contour de risque individuel associé à un Bac GNL.	66
Figure II 5:Exemple F-N	66
Figure III. 1: Localisation du complexe GL2Z dans son environnement	70
Figure III. 2: Situation géographique du complexe GL2/Z.....	71
Figure III. 3:Carte hypsométrique de la zone d'étude GL2	72
Figure III. 4:Carte hypsométrique de la zone d'étude GL2Z	73
Figure III. 5:Carte hypsométrique de la zone d'étude GL2Z	73
Figure III. 6:Carte hypsométrique de la zone d'étude GL2Z	73
Figure III. 7: bacs de stockage de GNL /GNL2Z.....	74
Figure III. 8: Schéma du bac de stockage	75
Figure III. 9:System sécurité du bac.....	76
Figure IV. 1:-La matrice des risques.	78
Figure IV. 2: Graphe nombre de conséquences en fonction de la gravité et de la probabilité	112
.....	
Figure IV. 3: ADE petite fuite.....	113
Figure IV. 4: ADE fuite moyenne	114
Figure IV. 5: ADE Rupture catastrophique.....	115
Figure IV. 6:Les étapes d'une simulation par PHAST	118
Figure IV. 7:Rose des vents de la région	119

Figure IV. 8: Bacs de stockage GNL / GNL2Z.....	120
Figure IV. 9: Simulation du Dispersion S1	123
Figure IV. 10: Simulation du early Pool fire S1	124
Figure IV. 11: Simulation du late Pool fire S1	125
Figure IV. 12:Simulation du Jet fire s1	126
Figure IV. 13:Simulation du Jet fire s1	126
Figure IV. 14:Simulation de l'explosion S1	127
Figure IV. 15:Simulation de Flash Fire S1	128
Figure IV. 16:. Simulation de Dispersion S2	130
Figure IV. 17:Simulation du early Pool fire S2	131
Figure IV. 18:Simulation du late Pool fire S2.....	132
Figure IV. 19: Simulation du Jet fire S2	133
Figure IV. 20:Simulation de l'explosion S2.....	134
Figure IV. 21: Simulation de Flash Fire S2	135
Figure IV. 22: Simulation de Flash Fire S2	135
Figure IV. 23: Simulation du Dispersion S3	137
Figure IV. 24:Simulation du Pool fire S3	138
Figure IV. 25: Simulation de l'explosion S3.....	139
Figure IV. 26:. Simulation de Flash Fire S3	140
Figure IV. 27:. Simulation de Flash Fire S3	140
Figure IV. 28: Simulation de niveau d'effet de flash fire pour 03 bacs.....	142
Figure IV. 29:. Simulation de niveau d'effet de pool fire pour 03 bacs	143
Figure IV. 30:. Simulation de niveau d'effet d'explosion pour 03 bacs	143
Figure IV. 31 : Schéma explicatif de la relation entre PHAST et SAFETI	146
Figure IV. 32 : Schéma explicatif sur les étapes d'une simulation par SAFETI	147
Figure IV. 33 : Schéma explicatif sur les étapes d'une simulation par SAFETI	147
Figure IV. 34: Les contours globaux des risques individuels pour le terminal de GNL2Z	149
Figure IV. 35: La courbe F-N pour risque sociétal	150

Liste des tableaux:

Tableau I.1: les différents niveaux d'ATEX	24
Tableau I.2:L'évolution de la réglementation algérienne relative à l'EDD au cours des années	32
Tableau I.3:Tableau expliquant le processus d'approbation des études	36
Tableau I.4: niveau de gravité et leur effet sur le fonctionnement.....	43
Tableau I. 5:Définition des événements composant un nœud papillon.....	44
Tableau III. 1 : Localisation et contiguïtés du COMPLEXE GL2Z	69
Tableau III. 2:la démographie des agglomérations les plus proches du site.	71
Tableau IV. 1:Description de la gravité et la probabilité	78
Tableau IV. 2: HAZOP partie 01	80
Tableau IV. 3:HAZOP partie 02	87
Tableau IV. 4:HAZOP partie 03	91
Tableau IV. 5:HAZOP partie 04	93
Tableau IV. 6: HAZOP partie 05	94
Tableau IV. 7:HAZOP partie 06	101
Tableau IV. 8: HAZOP partie 07	103
Tableau IV. 9:HAZOP partie 08	106
Tableau IV. 10:HAZOP partie 09	109
Tableau IV. 11: Les données météorologiques	119
Tableau IV. 12: Caractéristique d'équipement étudié	120
Tableau IV. 13:Seuils thermiques des effets sur l'homme.....	120
Tableau IV. 14:Seuils thermiques des effets dominos	121
Tableau IV. 15:Seuils de surpression des effets sue l'homme.....	121
Tableau IV. 16:Seuils de surpression des effets dominos.....	121
Tableau IV. 17:La cinétique des phénomènes possibles.....	122
Tableau IV. 18:Les données de simulation de S1	123
Tableau IV. 19: Les résultats de simulation du dispresion S1	124
Tableau IV. 20:Les résultats de simulation du early pool fire S1	125
Tableau IV. 21:Les résultats de simulation du late pool fire S1	126
Tableau IV. 22:Les résultats de simulation du Jet fire dispresion S1	127
Tableau IV. 23:Les résultats de simulation de l'explosion S1.....	128
Tableau IV. 24:Les résultats de simulation du Flash fire S1.....	129
Tableau IV. 25: Les données de simulation de S2	129
Tableau IV. 26:Les résultats de simulation du dispersion S2	130
Tableau IV. 27: Les résultats de simulation de early pool fire S2	132
Tableau IV. 28:Les résultats de simulation de late pool fire S2.....	133
Tableau IV. 29 : Les résultats de simulation du Jet fire S2.....	134
Tableau IV. 30: Les résultats de simulation d'explosion S2.....	135
Tableau IV. 31:Les résultats de simulation de Flach fire S2.....	136

Tableau IV. 32:Les données de simulation de S3	136
Tableau IV. 33: Les résultats de simulation du dispersion S3	137
Tableau IV. 34: Les résultats de simulation du pool fire S3	138
Tableau IV. 35: Les résultats de simulation d'explosion S3.....	140
Tableau IV. 36: Les résultats de simulation de Flash fire S3.....	141
Tableau IV. 37:Les paramètres relatifs aux étincelles	144
Tableau IV. 38:Probabilité relative d'inflammation dans le temps, t (s) [46].....	144
Tableau IV. 39: Données humaines	145

Introduction générale :

Depuis de nombreuses décennies, la question de la sécurité des installations industrielles est devenue une préoccupation majeure pour les sociétés modernes. Les accidents majeurs survenus dans des installations industrielles, tels que les explosions, les fuites de produit inflammable et toxiques et les incendies, ont eu des conséquences dévastatrices sur la santé humaine, l'environnement et l'économie. Dans ce contexte, l'évaluation des risques est devenue un outil essentiel pour prévenir ces accidents et minimiser leurs impacts.

L'approche de l'évaluation quantitative des risques (QRA) s'est révélée être une méthode scientifique et rigoureuse pour évaluer les risques associés aux installations industrielles. Elle permet d'estimer de manière quantitative le niveau de risque individuel et sociétal lié à une installation donnée. L'objectif principal de l'approche QRA est d'identifier et d'évaluer les différents scénarios d'accidents possibles, d'estimer leurs probabilités d'occurrence et d'évaluer les conséquences associées.

Cependant, malgré les progrès réalisés dans le domaine de l'évaluation des risques, il subsiste encore des défis majeurs. Une problématique essentielle à aborder dans ce mémoire est la prise en compte du niveau de risque individuel et sociétal d'une installation. Comment évaluer de manière précise et équilibrée les impacts des accidents industriels sur les individus et la société dans son ensemble ? Comment intégrer ces aspects dans l'approche QRA existante ?

Cette problématique soulève plusieurs questions clés. Tout d'abord, comment définir et mesurer le niveau de risque individuel associé à une installation ? Quels sont les paramètres pertinents à prendre en compte, tels que la distance par rapport à l'installation, la vulnérabilité des populations avoisinantes, et les scénarios d'accidents envisagés ? De plus, comment évaluer le niveau de risque sociétal, qui englobe les impacts sur l'environnement, l'économie locale et la qualité de vie des communautés ?

Ce mémoire a pour principal objectif à répondre à ces questions en explorant les approches existantes de l'estimation du niveau de risque individuel et sociétal d'une installation à travers l'approche QRA. Il examine les différentes méthodes utilisées pour évaluer les conséquences des accidents sur les individus et la société, en prenant en compte à la fois les aspects techniques et les considérations sociales. L'objectif est de proposer des recommandations et intégrer de manière plus complète et équilibrée les dimensions individuelles et sociétales dans l'évaluation des risques.

Ce mémoire met en lumière la problématique de l'estimation du niveau de risque individuel et sociétal d'une installation à travers l'approche QRA. Il souligne l'importance de prendre en compte ces dimensions dans l'évaluation des risques industriels et propose d'explorer les approches existantes pour relever ce défi. Avec cette évaluation quantitative, ce travail contribue à renforcer la sécurité des installations industrielles et à prévenir les accidents.

CHAPITRE I :

**Contribution de l'étude de danger à la maîtrise
des risques industriels.**

CHAPITRE I : Contribution de l'étude de danger à la maîtrise des risques industriels.

Introduction :

Dans ce chapitre, nous explorerons les concepts généraux liés au risque, au danger et à l'étude de danger. Nous examinerons également les réglementations et les normes associées à l'évaluation des risques industriels, en mettant l'accent sur les objectifs, les exigences et les meilleures pratiques en matière d'étude de danger. Comprendre ces concepts et ces réglementations est essentiel pour garantir une approche cohérente et efficace dans la gestion des risques industriels et la sécurité des installations.

I.1. Concepts généraux :

I.1.1. Danger :

Le terme « danger » est défini dans la directive ISO/CEI/82/96 comme une propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine et/ou l'environnement.

Le même terme est défini selon le référentiel OHSAS 18001 comme une source où une situation pouvant nuire par blessure ou atteinte à la santé, dommage à la propriété et à l'environnement du lieu de travail ou une combinaison de ces éléments.

On définit le danger comme étant un état ou situation comportant une potentialité de dommage inacceptable. Situation d'un système où sont réunis les facteurs pouvant conduire à la réalisation d'un accident potentiel. [1]

I.1.2. Exposition :

Dans le présent contexte, quand on parle d'exposition, il s'agit du contact entre le danger et une personne, pouvant dès lors entraîner un dommage. Sans exposition, pas de possibilité de dommage

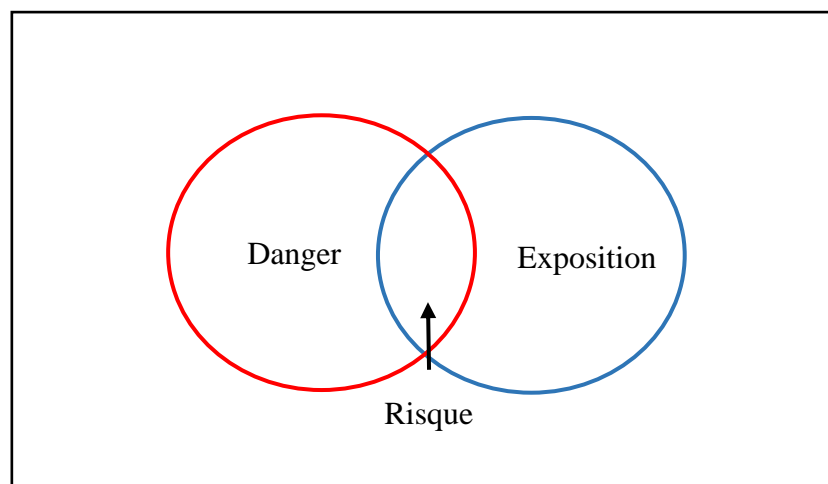


Figure I.1: risque = Exposition x Danger

I.1.3. Incertitude :

Le terme "incertitude" englobe de nombreux concepts sous-jacents. Les types d'incertitudes ont fait, et continuent de faire, l'objet de nombreuses tentatives de catégorisation, notamment :

- L'incertitude qui reconnaît la variabilité intrinsèque de certains phénomènes et qui ne peut pas être réduite par une recherche approfondie (parfois appelée incertitude aléatoire), comme un jet de dés ;
- L'incertitude qui, en règle générale, est le fruit d'un manque de connaissances et qui peut donc être réduite en collectant plus de données, en affinant des modèles, en améliorant les techniques d'échantillonnage (parfois appelée incertitude épistémique) ;

Les incertitudes suivantes sont d'autres formes d'incertitude couramment admises :

- L'incertitude linguistique, qui reconnaît le caractère vague et ambigu inhérent aux langues parlées ;
- L'incertitude de décision, qui revêt une importance particulière pour les stratégies de management du risque, et qui identifie l'incertitude liée aux systèmes de valeur, au jugement professionnel, aux valeurs d'entreprise et aux normes sociétales ; [2]

I.1.4. Risque :

Le risque est souvent décrit en termes de sources de risques, d'événements potentiels, de leurs conséquences et de leurs vraisemblances. Un événement peut avoir plusieurs causes et conduire à de multiples conséquences. Les conséquences peuvent avoir un certain nombre de valeurs discrètes, être des variables continues ou être inconnues.

Les conséquences peuvent ne pas être discernables ou mesurables à première vue, mais peuvent s'accumuler au fil du temps. Les sources de risques peuvent inclure la variabilité inhérente ou les incertitudes relatives à divers facteurs, notamment le comportement humain et les structures organisationnelles ou les influences sociétales, pour lesquels il peut être difficile de prévoir si un événement particulier est susceptible de se produire.[2]

I.1.5. Risque industriel :

Le risque industriel désigne la probabilité qu'un événement imprévu ou accidentel se produise dans une entreprise ou une industrie qui pourrait causer d'importants dommages matériels, environnementaux ou humains.

Ces risques peuvent être liés à des activités de production, de stockage, de transport ou de traitement de matières dangereuses ou potentiellement dangereuses, tels que des produits chimiques, des explosifs, des gaz ou des matières radioactives. Les risques industriels peuvent aussi être associés à des défauts de conception ou d'entretien des installations, à des erreurs humaines ou à des défaillances techniques.

Les entreprises et les autorités publiques ont pour responsabilité de minimiser ces risques et de mettre en place des mesures de prévention et de protection pour assurer la sécurité des travailleurs, des populations avoisinantes et de l'environnement.

I.1.6. Facteur de risque industriel :

Un facteur de risque est un élément qui peut révéler le danger et entraîner la survenue du risque. Le facteur de risque augmente la probabilité du dommage, c'est-à-dire celle de la concrétisation du risque. Il y a facteurs techniques, humains, et des facteurs organisationnels

I.1.6.1. Facteurs techniques de risque : sont des éléments qui peuvent contribuer à la survenue d'un risque dans le cadre d'une activité technique ou industrielle. Ces facteurs peuvent inclure des caractéristiques techniques des équipements, des matériaux, des processus, des installations ou des systèmes, ainsi que des conditions environnementales.

Les facteurs techniques de risque peuvent inclure :

- La conception, la construction et l'entretien des équipements et des installations ;
- Les caractéristiques des matériaux utilisés ;
- Les conditions environnementales, telles que la température, la pression, l'humidité, l'éclairage, etc. ;
- Les processus de travail, y compris les méthodes et les procédures de travail ;
- Les technologies utilisées, y compris les logiciels, les automates, les robots, etc. ;
- Les facteurs humains, tels que la formation, l'expérience, la fatigue, l'erreur humaine, etc.

La prise en compte des facteurs techniques de risque est essentielle pour identifier, évaluer et gérer les risques dans les activités techniques ou industrielles. Une approche systématique et rigoureuse permet de réduire les risques et de garantir un environnement de travail sûr pour les employés et les parties prenantes.

I.1.6.2. Facteurs de risque humains : sont des éléments qui ont trait aux comportements, aux attitudes, aux aptitudes et aux capacités physiques et mentales des travailleurs susceptibles d'accroître le risque d'accidents ou de blessures sur les lieux de travail.

Les facteurs de risque anthropiques peuvent inclure :

- Manque de formation ou d'aptitudes particulières à exécuter une tâche ;
- La fatigue, le stress et la surcharge de travail ;
- Comportement à risque, comme la non-conformité aux règles de sécurité, la hâte ou la négligence ;
- La distraction, l'inattention ou la sur-confiance ;
- Facteurs physiologiques, comme une déficience visuelle, une déficience auditive ou des problèmes de coordination motrice ;
- Les problèmes de santé mentale tels que l'anxiété, la dépression ou la toxicomanie ;
- Facteurs environnementaux, comme le bruit, un éclairage inapproprié ou des températures extrêmes ;

Il est essentiel de tenir compte des facteurs de risque humains pour cerner, évaluer et gérer les risques dans le milieu de travail. Les entreprises peuvent mettre en œuvre des programmes de sensibilisation et de formation pour inciter les travailleurs à adopter des comportements sécuritaires et à signaler les situations dangereuses.

Les entreprises peuvent également utiliser des techniques de gestion du stress et de la fatigue, ainsi que des programmes de promotion de la santé pour aider les travailleurs à maintenir leur bien-être physique et mental.

I.1.6.3. Les facteurs organisationnels de risque : sont des éléments liés à la structure, à la culture et aux processus de l'organisation qui peuvent augmenter le risque d'accidents ou de blessures sur le lieu de travail. Ces facteurs peuvent inclure :

- Une communication inadéquate, comme un manque de clarté dans les directives, une mauvaise coordination entre les différents services ou un manque de rétroaction ;
- Les processus de travail inefficaces ou mal conçus, tels que des procédures complexes ou des équipements obsolètes ;
- Les erreurs dans la planification ou l'organisation des tâches, telles que le manque de ressources ou la mauvaise répartition des responsabilités ;
- Les cultures d'entreprise qui valorisent la productivité au détriment de la sécurité ;
- Des pratiques de gestion des ressources humaines inadéquates, telles que des politiques de recrutement ou de promotion qui ne prennent pas en compte les compétences et l'expérience des travailleurs. [3]

I.1.7. Zones ATEX :

Une zone ATEX (Atmosphère Explosible) correspond à un environnement dans lequel sont stockées diverses substances dangereuses ou susceptibles de rentrer en état de combustion, à la suite d'un mélange avec l'air.[4] Une zone ATEX est une zone où il existe un risque d'explosion en raison de la présence de substances inflammables ou explosives sous forme de gaz, vapeurs, poussières ou liquides inflammables. Ces substances peuvent être présentes dans différents types d'industries, telles que l'industrie chimique, pétrochimique, pharmaceutique, alimentaire, ou encore dans les industries de l'énergie ou du bois.

Tableau I.1: les différents niveaux d'ATEX

Catégorie Zone ATEX	Définitions	Gaz & Vapeur	Poussières
01	Zone contenant en permanence ou depuis longtemps un mélange de gaz/air (ou poussières) explosif	0	(20)
02	Zone dans laquelle un mélange gaz/air (ou poussières) explosif est susceptible d'apparaître au cours du fonctionnement normal de l'usine (risque occasionnel)	1	(21)
03	Zone dans laquelle l'apparition d'un mélange de gaz/air (ou poussières) explosif est improbable au cours du fonctionnement normal (dysfonctionnement de matériel)	2	(22)

I.1.7.1. Règlementation ATEX :

La réglementation ATEX (Atmosphères Explosives) est une norme européenne qui demande à tous les chefs d'établissement de maîtriser les risques relatifs à l'explosion de ces atmosphères, comme celles qui peuvent être présentes dans les industries chimiques, pétrochimiques, pharmaceutiques, alimentaires et autres.[5]

Cette directive ATEX a été introduite pour assurer la sécurité des travailleurs et la protection de l'environnement en prévenant la possibilité d'explosions dans ces environnements dangereux. Elle spécifie les exigences minimales pour la conception, la fabrication et l'utilisation des équipements pouvant être utilisés dans des atmosphères potentiellement explosives.

Elle se compose de deux directives : la directive la directive ATEX 95 (ou ATEX 94/9/CE) 2014/34/UE qui concerne les équipements et les systèmes de protection destinés à être utilisés dans des atmosphères explosives et la directive ATEX 137 (ou ATEX 100a) 1999/92/CE qui concerne les employeurs qui travaillent dans des environnements explosifs et décrit les exigences minimales en matière de sécurité pour un environnement de travail sûr.[6]

Les équipements conformes à la réglementation ATEX doivent porter le marquage CE et être conformes aux normes de sécurité prévues par la directive. Les entreprises qui utilisent du matériel dans des environnements potentiellement explosifs doivent se conformer aux règlements ATEX et d'assurer la sécurité de leurs travailleurs par la mise en œuvre de mesures de prévention adéquates.

I.1.8. Scénario-catastrophe :

Le scénario-catastrophe est une projection hypothétique d'événements futurs ayant des conséquences dramatiques et désastreuses. Il s'agit souvent d'un enchaînement de situations critiques, menant à un résultat catastrophique pour les individus ou l'environnement.

Ces scénarios sont souvent utilisés dans le cadre de la planification des mesures d'urgence, de la gestion des risques ou de la prise de décisions politiques pour atténuer les effets potentiels de tels événements.

En nous préparant à ces scénarios extrêmes, nous cherchons à minimiser leur impact éventuel et à développer des stratégies résilientes pour faire face aux crises.[7]

I.1.8.1. Effets d'une catastrophe industrielle :

Les blessures résultant d'accidents du travail sont souvent graves, entraînant de lourdes factures médicales, une perte de revenu, des coûts de réadaptation ou de chirurgie reconstructive, des douleurs et des souffrances émotionnelles.

I.1.9. Incendie (Le mécanisme de la combustion) :

L'incendie est une combustion qui se développe sans contrôle dans le temps ni dans l'espace. La combustion est une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant, nécessitant une source d'énergie pour être initiée. Pour que « ça brûle », il faut donc du

combustible, du comburant et une source d'énergie. C'est ce que l'on appelle le « triangle du feu ».[8]

L'absence d'un des 3 éléments du triangle empêche le déclenchement de la combustion



Figure I.2: Triangle du feu

I.1.10. Explosion :

Une explosion se caractérise par une libération soudaine d'énergie qui produit une onde de choc ou un souffle pouvant causer des dommages à une grande distance. Il y a deux sources possibles d'explosion : la détonation d'un explosif et l'éclatement par surpression. Si la quantité d'énergie libérée est assez élevée, une onde de choc partant de la source pourra causer des dommages importants à distance.

Les explosifs détonants sont utilisés dans différents secteurs (mines, carrières, construction de grands ouvrages d'art, etc.). Leur présence sur un chantier représente un danger particulier nécessitant des mesures précises de gestion. Toutefois, il est une autre source d'« explosions » qui peut être également dévastatrice, surtout si l'on n'a pas conscience de l'importance des risques encourus. Il s'agit des surpressions à l'origine d'éclatements qui peuvent résulter de réactions chimiques dans des installations industrielles ou d'effets purement physiques, comme lorsqu'un contenant est chauffé par des sources extérieures.

I.1.11. Explosion de gaz en milieu ouvert (UVCE) :

Unconfined Vapour Cloud Explosion, soit littéralement "explosion d'un nuage de vapeurs non confiné". Il s'agit d'un phénomène qui suppose l'inflammation accidentelle d'un nuage ou panache de vapeurs combustibles mélangées avec l'oxygène de l'air. Consécutivement à l'inflammation, un front de flamme se propage dans le nuage ou panache et engendre des effets thermiques mais aussi des ondes de surpressions aériennes, qui engendrent elles-mêmes d'éventuels effets mécaniques. En toute rigueur, les UVCE concernent les explosions de gaz et vapeurs contenus dans un volume non confiné, en pratique, les nuages explosibles accidentels peuvent se trouver en partie confinés par les installations, sièges de l'accident. Dans ce cas, le phénomène est plus simplement appelé VCE pour "Vapour Cloud Explosion ». [10]

I.1.12. Feux de nappe :

Le terme « feu de nappe », ou « feu de flaque », décrit un incendie résultant de la combustion d'une nappe de combustible liquide. Ce phénomène implique principalement la surface de la nappe en contact avec l'air. Les dimensions et la géométrie de la nappe peuvent être tout à fait variables.

Il convient ainsi de distinguer :

- **Les feux de réservoir** : le feu est alors contenu dans une enceinte dont la surface est déterminée par les dimensions du réservoir ;
- **Les feux de cuvette (de rétention)** : l'extension de la nappe peut alors être limitée par une cuvette de rétention dont le dimensionnement est imposé notamment par les exigences réglementaires applicables au stockage ;
- **Les feux de flaque libre** : en l'absence de moyens physiques prévus pour limiter l'extension de la nappe ou lorsque la cuvette de rétention n'est pas complètement envahie, l'extension de la nappe est alors principalement fonction des caractéristiques du terrain, des conditions météorologiques et des conditions de rejet du combustible. [10]



Figure I.3:Feu de nappe (pool fire)

I.1.13. Boiling Liquid Expanding Vapor (BLEVE):

BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, ou Vaporisation explosive d'un liquide porté à ébullition. Le BLEVE peut être défini comme la vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température d'ébullition à la pression atmosphérique.[11]



figure I.4:BLEVE - Boiling liquid expanding vapor explosion -

I.1.14. Retour d'expérience :

Le retour d'expérience dans les industries de procédé comporte trois dimensions technique, organisationnelle, managériale. Il revêt ainsi deux aspects :

- D'une part, c'est un élément de compréhension et d'accroissement de connaissance ;
- D'autre part, c'est un élément essentiel de toute démarche managériale par l'implication des acteurs et la recherche de progrès ;

I.1.14.1. Objet du retour d'expérience :

La démarche de retour d'expérience a pour objet, dans la phase d'exploitation, de se saisir des éléments anormaux sortant du cadre du prescrit pour, par une analyse détaillée, en rechercher les causes et les enchaînements et définir les corrections propres à éviter qu'ils ne se reproduisent.

Elle consiste à se mettre de façon systématique et organisée, à l'écoute des « signaux » provenant de l'installation et à se saisir de tout accident, incident, anomalie pour en retirer le maximum d'enseignements. Elle constitue une réponse à l'« intransparence » des systèmes complexes.[12]

Le retour d'expérience technique a pour objectif de collecter, archiver et analyser les informations spécifiques au comportement des installations et des matériels importants. Il permet de mieux connaître les performances et de détecter les points faibles au sein d'une entreprise.

Dans le domaine industriel, le retour d'expérience intervient à tous les stades de la vie d'un produit ou d'une installation, de l'avant-projet sommaire à la fin de vie, en passant par l'avant-projet détaillé, la réalisation, la mise en service, l'exploitation.

L'expérience acquise au cours de ce cycle de vie est naturellement reconduite, pour la définition de nouveaux produits ou de nouvelles installations. Au cours de toutes ces phases, l'utilisation des banques de données de retour d'expérience est un facteur d'optimisation :

- Au niveau du respect des critères de sécurité, pour ce qui concerne la fiabilité des matériels, l'analyse des événements d'exploitation, les procédures de maintenance des matériels et d'exploitation ;
- Sur le plan de l'amélioration de la qualité des équipements et de leur durée de vie ;
- Afin de vérifier les critères économiques associés à la disponibilité, au contrôle, à la maintenance des matériels et à l'approvisionnement des pièces de rechange ;

Le retour d'expérience est un processus d'amélioration continu, une composante importante au service du management.

I.1.14.2. Constituer une base de données :

Certains de ces objectifs peuvent se révéler contradictoires. Il est donc important d'identifier précisément ce que l'on recherche avant de constituer une banque de données de retour d'expérience et de réaliser les outils d'accès et de traitement qu'il faudra lui associer. On peut ainsi distinguer différents types de bases de données dans le domaine industriel :

- Les banques d'événements à caractère historique, associant des faits techniques ou humains (événements, incidents, accidents, etc.) au temps, et qui concernent plutôt les situations d'exploitation dans les installations ;
- Les banques de défaillances qui nécessitent le recueil de défaillances, de dégradations, d'actions de maintenance et de statistiques de fonctionnement, et qui concernent toutes les situations relatives aux matériels ;
- Bien d'autres banques encore (de contrôle, surveillance, statistiques, connaissances, etc.) dont le traitement ne fait pas l'objet de cet article ;

Ces banques contiennent des informations brutes de retour d'expérience, relatant l'événement ou la défaillance. Ces informations peuvent être structurées : elles sont codées ou narratives, faisant l'objet d'un texte libre écrit en langage naturel. Ces informations sont essentielles dans les perspectives de bonne gestion du cycle de vie, d'optimisation de la maintenance et d'évaluation probabiliste de la sûreté.[13]

I.1.15. Accidentologie : Stockages de gaz inflammable liquéfier :

1. N° 6059 - 20/10/1944 - ETATS-UNIS - 00 - CLEVELAND

D35.22 - Distribution de combustibles gazeux par conduites

Une fissure se développe dans la paroi d'un réservoir cryogénique de 4 540 m³ de gaz naturel liquéfié. La double paroi était composée d'un acier à 3,5 % de nickel avec une isolation en laine de roche. Le nuage s'enflamme rapidement et explose. Un gigantesque incendie se déclare et se propage à un autre réservoir qui explose à son tour. Au total, 12 ha d'installation sont détruits et près de 2900 t de gaz sont brûlés. 136 personnes sont tuées, 300 blessées, 80 maisons détruites et 10 usines fortement endommagées. Les dégâts sont évalués à 8 millions de dollars US. [14]

2. N° 22312 - 01/07/1997 - ROYAUME-UNI - 00 - MANCHESTER

G46.71 - Commerce de gros de combustibles et de produits annexes

Dans un dépôt de gaz, un rejet d'environ 19,7 t de gaz naturel se produit à partir d'un réservoir de GNL. Des travaux étaient en cours pour installer un densitomètre sur le toit du réservoir, sur un piquage (diamètre : 400 mm) existant correspondant à une ancienne soupape de décharge. Le personnel du site (6 personnes présentes) gère la situation : un dispositif permettant de stopper la fuite est inséré manuellement dans la canalisation. Toutefois, la décision de ne pas procéder à cette manœuvre avant que la pression n'ait baissé jusqu'à un minimum de 7 à 8 mbar est prise. La cause de l'accident provient de la mise en oeuvre d'un seul

dispositif d'isolement (de type " boudruche ") pour permettre les travaux de découpe à froid tels qu'envisagés selon les standards habituels. La défaillance de cet équipement qui provoqué la fuite peut avoir plusieurs origines : usure de la boudruche sur des soudures, surpression du ballon même, impact des copeaux résultant de la découpe.[14]

3. 19-10-2003 Complexe de liquéfaction GL2Z Zone industrielle d'Arzew Algérie

Fuite au niveau d'un joint de bride - Liquéfaction de gaz naturel

Suite à un bruit strident et anormal suivi d'un incendie de grande ampleur localise au niveau du train 300 par l'opérateur, une première équipe d'intervention avec un camion poudre et une ambulance se rend immédiatement sur les lieux de l'incident suivi des opérateurs production de la section.

Un vice caché du joint est la cause potentielle de l'incident.[15]

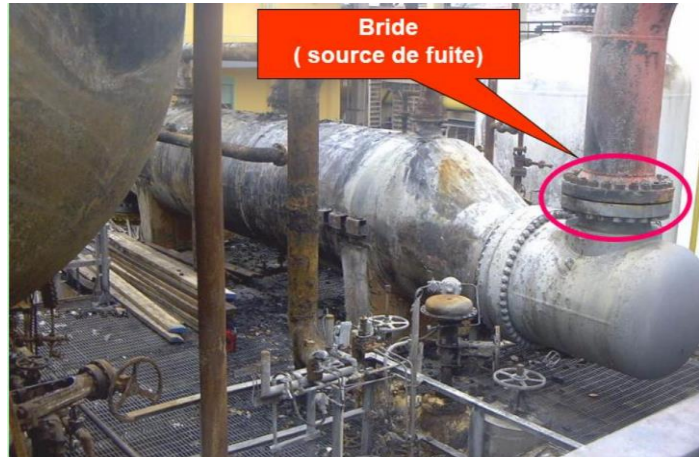


Figure I.5:Accidents survenus sur le complexe GL2Z

4. 07-04-2015 Complexe de liquéfaction GL2Z Zone industrielle d'Arzew Algérie

Eclatement de la ligne GNT au niveau du train 500

Un éclatement de la ligne du circuit de dégivrage GNT au niveau de l'allée central du train 500 survenu le 07-04-2015, à cause d'un passage accidentel d'un gaz cryogénique à travers la ligne.[15]



Figure I.6:Accidents survenus sur le complexe GL2Z

I.2. Réglementation européenne relative aux EDD :

La réglementation européenne relative aux études de danger se base principalement sur la directive Seveso III (Directive 2012/18/UE) adoptée initialement en 1982, elle a depuis été révisée deux fois, et la dernière version (SEVESO3) date du 4 juillet 2012.[16]

La directive Seveso III est une législation de l'Union européenne qui s'applique aux établissements industriels où des substances dangereuses sont utilisées ou stockées en grandes quantités. Elle vise à prévenir et à mieux gérer les accidents majeurs impliquant des produits chimiques dangereux en imposant aux entreprises qui manipulent ces substances des obligations en matière de prévention et de protection. [17]

Elle oblige les entreprises à réaliser une étude de danger, qui consiste à évaluer les risques liés à leur activité et à mettre en place des mesures pour prévenir les accidents et limiter les conséquences en cas d'incident, cette étude doit notamment identifier les scénarios d'accident possibles, estimer les conséquences potentielles sur la santé humaine et l'environnement, et proposer des mesures de prévention et de protection adaptées.[18] Elle impose également aux entreprises de réaliser un plan de sécurité tous les 5 ans pour chaque nouvel établissement ou modification d'établissement existant.[19]

La directive Seveso III oblige aussi les sociétés à informer les autorités compétentes des risques et des mesures de prévention et de protection mises en place. Elle prévoit également d'informer les personnes vivant à proximité de sites industriels, notamment par la mise en œuvre de plans d'urgence et de systèmes d'alerte.

En France, la directive Seveso III a été transposée dans le Code de l'environnement par l'arrêté du 26 mai 2014 qui reprend de manière explicite le séisme et l'inondation comme causes naturelles à prendre en compte dans l'identification et l'analyse des risques réalisées pour les sites 'Seveso', notamment avec la création de la rubrique 5000 des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), qui regroupe les installations soumises à la réglementation Seveso. Les études de danger sont obligatoires pour ces installations et doivent être mises à jour régulièrement.[20]

I.3. Réglementation algérienne relative aux EDD :

En Algérie, la réglementation relative à l'EDD a connu plusieurs évolutions visant à renforcer la prévention des risques majeurs et la sécurité des installations industrielles. Ces évolutions ont notamment permis de préciser les seuils de quantité de substances dangereuses, les critères de classification des installations et les modalités de réalisation de l'EDD.

Tableau I.2:L'évolution de la réglementation algérienne relative à l'EDD au cours des années

Référence	Titre	Domaine d'application
Le Décret n° 85-232 du 25 août 1985	<ul style="list-style-type: none"> • Relatif à la prévention des risques de catastrophes 	Toutes les installations
Instruction Ministérielle « R1 » du 22 septembre 2003	<ul style="list-style-type: none"> • Relative à la maîtrise et la gestion des risques industriels impliquant des substances dangereuses 	Toutes les installations
La loi n° 04-20 Du 25 décembre 2004	<ul style="list-style-type: none"> • Relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. 	Toutes les installations
Décret 06-198 & 07-145 EDD & EIE	<ul style="list-style-type: none"> • Définissant la réglementation applicable aux établissements classés. • Les modalités d'approbation des études d'impact sur l'environnement. 	Domaine d'hydrocarbure
Décret 08-312 & 15-09 EDD & EIE	<ul style="list-style-type: none"> • Les conditions d'approbation des EIE pour les activités relevant du domaine des hydrocarbures. • Les modalités d'approbation des EDD au secteur des hydrocarbures. 	Domaine d'hydrocarbure
Décret 21-319 EDD & EIE	<ul style="list-style-type: none"> • 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. 	Domaine d'hydrocarbure
Décret 22-167 du 19 /04/2022 EDD & EIE	<ul style="list-style-type: none"> • Modifiant et complétant le décret exécutif n°06-198 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement 	Les installations classées

Le risque environnemental est régi par la loi algérienne n° 03-10 du 19 Jomada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre

du développement durable. De cette loi découle plusieurs décrets relatifs aux établissements industriels, notamment les établissements classés et le régime d'autorisation d'exploitation.

Depuis le 14 août 2021, le décret exécutif n° 08-312 fixant les conditions d'approbation des études d'impact sur l'environnement et le décret exécutif n° 15-09 fixant les modalités d'approbation des études de dangers ont été abrogés par le nouveau décret exécutif n° 21-319 qui instaure des évolutions et des nouveautés par rapport aux deux textes précités.[21]

I.3.1. Nouvelle réglementation (Décret 21-319) :

I.3.1.1. Contexte de la nouvelle réglementation :

Le décret exécutif n° 21-319 (Annexe A) du 5 Muharram 1443 correspondant au 14 août 2021 est 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.[22]

Ce nouveau texte apporte de nouvelles exigences en rapport avec le changement climatique et l'aspect sociétal pour les projets relatifs aux installations et ouvrages relevant des activités hydrocarbures en Algérie. Il permet également d'adopter les bonnes mesures de prévention, de maîtriser les éventuels risques industriels et d'évaluer efficacement les barrières de sécurité.[23]

I.3.1.2. Application du DE 21-319 :

- Pour les nouveaux ouvrages \ installations relevant des activités hydrocarbures ;
- Pour les installations et ouvrages existants (disposant d'une autorisation d'exploitation délivrée avant la date de publication du présent décret) ;
- Pour les installations ou ouvrages dont l'accord préalable de création a été accordé avant l'entrée en vigueur du présent décret ;
- Pour les installations et ouvrages existants dont les dossiers de demande d'autorisation sont postérieurs au 19 juillet 2005.[24]

I.3.1.3. Principaux changements :

- Changement dans le processus d'approbation des études ;
- Changement dans le contenu des études (EIE, PGE, EDD, SGS) ;
- Nouvelle étude de risque pour les travaux de recherche ;
- Diverses exigences.[24]

I.3.1.3.1 Changement dans le processus d'approbation des études :

Demande d'autorisation d'exploitation d'une installation ou d'un ouvrage relevant des activités d'hydrocarbure

➤ Phase préalable :

- Introduction d'un dossier comprenant les études ou notices pour approbation

- Le SGS n'est plus exigé à ce stade (pour une nouvelle construction)
- Exigence d'un PGE (préliminaire)

➤ Phase post-construction :

- Exigence d'un SGS et d'un PGE dans les 6 mois suivant le début de l'exploitation
 - Examen et acceptation des études par l'ARH ;
 - Commission de consultation (nationale) ;
 - Commission hydrocarbures (locale) ;
 - Invitation du wali à venir présenter le projet ;
 - Enquête publique ;

I.3.1.3.2. Changement dans le contenu des études (EIE, PGE, EDD, SGS) :

I.3.1.3.2.1. Changement dans le contenu des études (EDD) :

De nouvelles exigences relatives aux études de dangers (EDD) ont été fixées. Elles permettent d'adopter les bonnes mesures de prévention, de maîtriser les éventuels risques industriels et d'évaluer efficacement les barrières de sécurité, et ce à travers l'actualisation obligatoire des études au minimum toutes les 5 années ou en cas de modification/conversion/reconversion des installations.

1. Présentation générale de projet ;
2. L'environnement immédiat du projet et du voisinage ;
3. Le projet et ses différentes installations ;
4. Evaluation de l'accidentologie et REX ;
5. La démarche méthodologique ;
6. Identification des risques ;
7. Analyses des risques ;
- 8. Analyse des effets dominos ;**
- 9. Hiérarchisation des risques ;**
10. Analyses des impacts potentiels en cas d'accidents ;
11. Les mesures de prévention et de protection ;
- 12. Registre des risques majeurs ;**
- 13. Conclusion générale ;**
- 14. Résumé non technique de l'études ;**

I.3.1.3.2.2. Changement dans le contenu des études (SGS) :

1. L'organisation et la formation ;
2. L'identification et l'évaluation des risques ;
- 3. Le contrôle des opérations d'exploitation et de maintenance ;**
- 4. La gestion de la sécurité des procédés ;**
- 5. La gestion d'intégrité des installations et ouvrages ;**
6. La gestion des modifications ;
7. La gestion des situations d'urgence ;
8. La gestion de la sous-traitance ;
- 9. La déclaration et l'investigation des accidents ;**
10. La surveillance des performances ;
- 11. L'audit et le revu périodique ;**

I.3.1.3.3. Nouvelle étude de risque pour les travaux de recherche :

Les modalités d'approbation des études de risques relatives aux activités de recherche et leur contenu :

- Phase d'élaboration et travaux couverts par l'étude de risques ;
- Évaluer si l'étude des risques peut remplacer l'EIE et l'EDD ;
- Le contenu et la procédure d'approbation de l'étude de risque ;
- La mise à jour de l'étude de risque ;

I.3.1.3.4. Principaux changements dans diverses exigences :

- Périodicité d'actualisation des études et notices ;
- Modification du périmètre des activités hydrocarbures ;

I.3.1.4. Impacts de nouvelle réglementation :

- ❖ Les impacts communs aux activités relevant du secteur des hydrocarbures :
 - Périodicité : Actualisation des études obligatoire au minimum toutes les 5 années ;
 - Périmètre : Actualisation des études obligatoire en cas de modification ;
 - Plusieurs cas nécessitant l'actualisation des études ;
- ❖ Les différents cas de figure :
 - Les EDD / Rapports sur les produits dangereux réalisées en 2018 et avant ;

- Les EIE / EDD / Notices (sur la base des évènements et des connaissances techniques et scientifiques) ;
- Les nouveaux projets ;
- Les projets en cours n'ayant pas encore obtenus d'autorisation d'exploitation ;
- Les dossiers d'autorisation soumis, postérieurs à 2005 (et n'ayant pas encore obtenu d'autorisation) de délais de 2 ans ;

❖ Processus d'approbation des études

Tableau I.3: Tableau expliquant le processus d'approbation des études

	Tableau A de l'annexe 1 de DE 21-319	Tableau B de l'annexe 1 de DE 21-319	Activités de recherche
Interlocuteur principal	ARH	Wali	ARH
Examen et acceptation de l'ARH	Oui	Non	Oui
Approbation de la commission de consultation	Oui	Non	Non
Approbation de la commission hydrocarbures (locale)	Oui	Oui	Oui
Enquête publique	Oui	Oui	Oui
Délais	Moyenne de 4-8 mois	Moyenne de 2-4 mois	Moyenne de 3-4 mois

❖ Impacts sur les activités de recherche

- Etude de risque pour tout nouveau projet de recherche ;
- Pas d'EIE \ EDD ;
- Processus d'approbation plus simple ;
- Nécessiter d'anticipation la « présentation\défense » du projet (ou mandater un bureau spécialisé) pour répondre à l'éventuelle invitation du wali à venir présenter le projet et ses effets aux membres de la commission et patries concernées identifiées par le wali [24]

I.4. Etude de danger :

I.4.1. Définition :

Étude prévue dans le décret du 21 septembre 1977 et requise lors du dépôt d'un dossier de demande d'autorisation pour les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Elle est révisable à tout moment sur demande du Préfet. Cette étude regroupe des informations qui permettent d'identifier les sources de risque, les scénarios d'accident envisageables et leurs effets sur les personnes et l'environnement, etc.

Les études de dangers constituent la base indispensable pour l'établissement des Plans d'Opération Interne (POI) et des Plans Particuliers d'Intervention (PPI). Avec la directive SEVESO II, l'étude de dangers doit être désormais réactualisée au moins tous les cinq ans. Une étude de danger est également réalisée lors de la cessation d'activité d'une entreprise. On parle de risque lorsqu'il y a exposition au danger.

Une étude de danger consiste à analyser systématiquement les risques associés à une activité, à un processus ou à une installation. Il vise à identifier les dangers potentiels, à évaluer les risques et à proposer des mesures préventives et protectives pour prévenir ou réduire les accidents. C'est une méthode essentielle pour garantir la sécurité des travailleurs, du public et de l'environnement. Elle est souvent exigée par les réglementations nationales ou internationales pour certaines activités ou industries, afin de s'assurer que les risques sont identifiés et maîtrisés de manière efficace.

Plus particulièrement, une étude de danger comprend généralement :

- Identifier les sources de danger, c'est-à-dire les éléments du processus ou de l'installation qui peuvent causer des dommages ou des accidents ;
- Évaluer les conséquences éventuelles d'un accident, selon sa probabilité et sa gravité ;
- Proposer des mesures préventives et protectrices, telles que des barrières de sécurité ou des procédures d'exploitation, afin d'éviter ou de réduire les risques identifiés ;

Pour illustrer le concept d'étude des dangers, voici quelques exemples d'application à différents secteurs :

- **Dans l'industrie chimique** : Une entreprise qui produit des produits chimiques dangereux doit réaliser une étude de danger pour identifier les risques associés à la production, le stockage, le transport et l'utilisation de ces produits. L'étude permettra d'identifier les sources de danger, comme les fuites, les explosions ou les incendies, et de proposer des mesures de prévention et de protection, comme des équipements de sécurité ou des procédures opératoires.
- **Dans le domaine nucléaire** : Les centrales nucléaires doivent réaliser une étude de danger pour évaluer les risques associés à la production d'énergie nucléaire, comme les accidents de fusion du cœur ou les rejets radioactifs. L'étude permettra de proposer des mesures de prévention et de protection, comme la construction de murs anti-explosion ou la mise en place de systèmes de détection de radiations.
- **Dans le domaine des transports** : Les compagnies de transport doivent réaliser une étude de danger pour évaluer les risques associés au transport de marchandises dangereuses, comme les explosifs, les gaz toxiques ou les matières radioactives. L'étude permettra de proposer des mesures de prévention et de protection, comme des règles de manipulation, des formations pour les employés, ou encore des systèmes de surveillance pour éviter les accidents.[25]

I.4.2. Objectifs :

La réalisation d'une étude de dangers permet d'identifier les risques associés à une installation en détaillant les accidents les plus probables ainsi que leurs origines (internes ou externes), caractéristiques et conséquences potentielles. Cette étude vise à justifier les actions à mettre en place pour réduire la probabilité et l'impact de ces accidents. Elle fournit également des informations sur les ressources internes et externes mobilisables pour faire face à un éventuel sinistre.

Cette étude a pour but de fournir une évaluation rationnelle et objective des risques pour les personnes et l'environnement. Les trois principaux objectifs, énoncés par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, sont les suivants :

- Améliorer la réflexion sur la sécurité au sein de l'entreprise pour réduire les risques et optimiser la politique de prévention ;
- Favoriser le dialogue technique avec les autorités d'inspection pour prendre en compte les mesures techniques et organisationnelles dans l'arrêté d'autorisation ;
- Fournir des éléments d'appréciation clairs sur les risques au public de manière transparente ;

En résumé, l'objectif principal de l'étude de dangers est d'assurer la sécurité des installations et de prévenir les accidents susceptibles de mettre en danger les personnes et l'environnement.[26]

I.4.3. Structure de l'étude de dangers :

L'étude de dangers est découpée en 9 parties :

- Présentation de la méthodologie : cette partie décrit les différentes étapes et méthodes utilisées pour réaliser l'étude de dangers, ainsi que les normes et réglementations appliquées ;
- Rappel de la description des installations concernées : cette partie décrit les équipements et les installations qui sont soumis à l'étude de dangers, ainsi que leur fonctionnement et leur utilisation ;
- Rappel de la description de l'environnement et du voisinage en tant qu'intérêts à protéger et agresseur potentiel : cette partie décrit l'environnement dans lequel les installations sont situées, ainsi que les populations et les biens qui pourraient être affectés en cas d'accident ;
- Identification et caractérisation des potentiels de danger : cette partie identifie les différents types de dangers qui peuvent survenir, tels que les risques d'explosion, de feu, de fuite, de pollution, etc. Elle décrit également les sources potentielles de ces dangers et les scénarios d'accidents possibles ;

- Examen de la réduction des potentiels de dangers : cette partie étudie les différentes mesures préventives et de protection qui sont mises en place pour réduire les risques d'accidents. Elle évalue également leur efficacité et leur pertinence ;
- Analyse de l'accidentologie et des enseignements tirés : cette partie étudie l'historique des accidents qui se sont produits sur des installations similaires et les enseignements qui peuvent être tirés de ces accidents pour éviter leur répétition ;
- Analyse des risques : cette partie évalue les différents risques identifiés précédemment en termes de probabilité d'occurrence, de gravité et de conséquences pour l'environnement et les populations. Elle permet de classer les risques selon leur importance ;
- Inventaire des mesures de réduction des risques et d'intervention disponibles en cas d'accident : cette partie décrit les mesures prévues pour réduire les risques et les moyens disponibles pour intervenir en cas d'accident, tels que les plans d'urgence, les équipements de lutte contre l'incendie, etc.
- Résumé non technique de l'étude de dangers : cette partie résume l'étude de dangers de manière accessible aux personnes non spécialisées, en utilisant un langage simple et des illustrations pour faciliter la compréhension des résultats de l'étude ;

I.4.4. Méthodologie de l'étude :

La méthodologie de l'étude de dangers peut varier en fonction de la nature et de la complexité de l'installation étudiée, ainsi que des réglementations en vigueur dans le pays ou la région concernée. Cependant, il existe généralement des étapes communes dans la méthodologie de l'étude de dangers :

- La définition du périmètre de l'étude : cela implique l'identification de l'installation à étudier, de son environnement et des éventuels scénarios accidentels à prendre en compte ;
- La collecte de données : cette étape implique la collecte d'informations sur les caractéristiques de l'installation, les substances manipulées, les processus de fabrication, les systèmes de sécurité et les mesures de prévention en place ;
- L'identification des scénarios accidentels : cette étape consiste à identifier les scénarios d'accidents potentiels, en fonction des caractéristiques de l'installation, des substances manipulées et des risques associés. Les scénarios peuvent inclure des fuites de produits toxiques, des explosions, des incendies, des défaillances de matériel, etc.
- L'évaluation des risques : cette étape consiste à évaluer les risques associés à chaque scénario accidentel identifié, en prenant en compte la probabilité d'occurrence et les conséquences potentielles sur la santé humaine, l'environnement et les biens ;
- L'identification des mesures de prévention et de protection : cette étape consiste à identifier les mesures de prévention et de protection existantes et à proposer des mesures supplémentaires pour réduire les risques identifiés ;

- L'analyse de l'efficacité des mesures de prévention et de protection : cette étape consiste à évaluer l'efficacité des mesures de prévention et de protection proposées pour réduire les risques identifiés ;
- L'identification des mesures d'intervention en cas d'accident : cette étape consiste à identifier les mesures d'intervention à prendre en cas d'accident, notamment en ce qui concerne la sécurité des travailleurs, le confinement des substances dangereuses, l'extinction des incendies, etc.
- La rédaction du rapport d'étude de dangers : cette étape consiste à rédiger le rapport final de l'étude de dangers, qui doit inclure une présentation des résultats de l'étude, des conclusions et des recommandations pour améliorer la sécurité de l'installation étudiée ;

I.4.5. Technique et outils utilisés dans L'étude de danger :

Pour identifier les risques et les dangers potentiels d'une installation et pour proposer des mesures de prévention et d'intervention, l'étude de dangers recourt à divers outils et techniques, parmi lesquels on peut citer :

I.4.5.1. Analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) :

L'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE), également connue sous le nom de Failure Modes and Effects Analysis (FMEA).

L'AMDE est une approche préventive visant à identifier les potentielles défaillances des processus d'une entreprise, dans le but de les éviter ou de réduire leur impact en déterminant les zones à risque et les conséquences probables.[27] Elle a été utilisée pendant des décennies pour effectuer des analyses techniques des risques, identifier et réduire les défaillances et améliorer la sécurité des produits et des procédés.[28]

L'AMDE consiste à déterminer les diverses façons dont un système peut subir des défaillances ou fonctionner de manière inadéquate, à évaluer les conséquences potentiellement graves de ces défaillances, et à identifier les actions préventives et correctives nécessaires pour minimiser les risques associés.

I.4.5.2. Analyse des risques :

L'analyse des risques est un processus en plusieurs étapes visant à atténuer l'impact des risques sur les opérations commerciales.[29] Elle est la colonne vertébrale de votre démonstration de sécurité elle regroupe de nombreuses données.[30]

Cette méthode permet d'identifier les risques liés à l'installation et de les classer selon leur gravité et leur probabilité. L'analyse des risques est effectuée par une équipe compétente, ayant pour mission de faire preuve d'une objectivité inébranlable tout au long du processus.[31] Rien ne doit être laissé au hasard et une formation adéquate est la clé pour mettre en place une démarche rigoureuse d'analyse de risques SST.

I.4.5.3. Cartographie des risques :

La cartographie des risques est un outil couramment utilisé par les professionnels travaillant dans le domaine de la gestion de projet. Elle permet de prévoir l'ensemble des risques potentiels, et surtout d'évaluer leur incidence afin de tenter de les contrôler.[32]

Une cartographie des risques est une méthode – voire un outil – de la visualisation de données. Cela permet de mieux comprendre les risques liés au fonctionnement de l'entreprise.[33]

Cette technique permet de représenter graphiquement les différents risques identifiés sur une carte ou un plan.

I.4.5.4. Analyse de l'accidentologie :

L'analyse de l'accidentologie est une méthode d'analyse des accidents qui vise à comprendre les causes profondes d'un accident. Elle permet de déterminer les facteurs qui ont contribué à l'accident et de proposer des mesures pour éviter qu'il ne se reproduise.

Cette méthode consiste à étudier l'historique des accidents survenus sur des installations similaires pour identifier les causes et les conséquences potentielles des accidents.

I.4.5.5. Modélisation des scénarios d'accident

La technique de modélisation des scénarios d'accident implique la simulation des scénarios d'accident les plus probables, afin d'évaluer les conséquences potentielles et de proposer des mesures d'atténuation. Elle est largement utilisée dans l'évaluation des risques associés aux installations industrielles, ainsi que pour la conception de plans d'urgence en cas d'accident. En utilisant cette technique, il est possible de mieux comprendre les impacts potentiels d'un accident et de proposer des mesures pour limiter les dommages causés.

L'objectif général de la modélisation des scénarios d'accident est de créer un ensemble de scénarios d'accident potentiels pour l'installation en identifiant les types d'accidents potentiels qui pourraient se produire et leurs causes probables. Des simulations sont effectuées pour chaque scénario d'accident afin d'évaluer les conséquences potentielles en termes de dommages matériels, de blessures et de décès, ainsi que les effets environnementaux. L'efficacité des mesures d'atténuation proposées peut également être évaluée au moyen de simulations, et des améliorations peuvent être jugées nécessaires.

I.4.5.6. Analyse des barrières :

L'analyse des barrières est une méthode pour déterminer les mesures de prévention ou d'atténuation qui sont en place pour prévenir ou réduire les conséquences d'un accident potentiel, ainsi que les actions à prendre pour renforcer ces mesures.

Cette technique implique l'examen et l'évaluation des barrières existantes, qu'elles soient techniques, organisationnelles, ou humaines, qui sont mises en place pour minimiser la probabilité d'un accident ou pour atténuer ses conséquences. Les barrières peuvent inclure des dispositifs de sécurité, des procédures opérationnelles, des formations du personnel, des protocoles d'intervention d'urgence, ou d'autres mesures de prévention ou d'atténuation.

Cette technique est utilisée dans le cadre de l'analyse des risques et la prévention des accidents majeurs.

Le but de l'analyse des barrières est d'évaluer l'efficacité de ces mesures existantes en identifiant leurs forces et leurs faiblesses et en proposant des mesures pour améliorer leur efficacité. Cela peut comprendre l'introduction de nouvelles barrières, l'amélioration des barrières existantes ou la modification des procédures d'exploitation afin de mieux prévenir ou réduire les conséquences d'un éventuel accident. Il s'agit d'améliorer la sécurité globale du système ou de l'installation par l'identification et le renforcement des barrières nécessaires pour minimiser les risques associés aux dangers identifiés. [34]

I.4.5.7. Analyse préliminaire :

L'analyse préliminaire des risques (APR) est une méthode d'identification et d'évaluation des risques au stade initial de la conception d'un système. À partir de l'ensemble des dangers auxquels le système est susceptible d'être exposé tout au long de sa mission, l'APR a pour objectif : l'identification, l'évaluation, la hiérarchisation et la maîtrise des risques qui en résultent. C'est une méthode inductive (de la cause vers la conséquence) qui met en évidence des scénarios de dysfonctionnement :

Source → Scénario → Effets → Évaluation → Action de Réduction du Risque.
--

Les résultats attendus de l'APR sont :

- Une visibilité sur l'adéquation des spécifications déjà établies permettant la tolérance aux pannes
- Une première idée sur la nécessité ou pas de redonder des sous-systèmes
- Une première idée du fonctionnement en mode dégradé après une panne ou après une mise en sécurité pour danger
- Une visibilité sur les dangers entraînés par les pannes
- Une première justification des analyses de détail qui sont lourdes et coûteuses
- La mémorisation de la raison des choix techniques

Cinq niveaux de gravité sont proposés : catastrophique (accident), grave, majeur, significatif, négligeable (aucune incidence). Ces 5 niveaux sont détaillés dans le tableau ci-après.[35]

Tableau I.4: niveau de gravité et leur effet sur le fonctionnement

Niveau de gravité	Effets sur le fonctionnement
5 Catastrophique Accident	Perte du système
4 Grave	Perte du dispositif
3 Majeur	Perte d'un sous-système
2 Significatif	Perte d'une fonction
1 Négligeable Aucune incidence	Pas de conséquence

Les niveaux de gravité sont souvent définis dans les normes des métiers. Les termes « fonction », « sous-système », « dispositif » et « système » devraient avoir été définis lors de l'Analyse Fonctionnelle, dans la définition du système et de son environnement.

Sous-système ou équipement	Phase	Entité dangereuse	Événement causant une situation dangereuse	Situation dangereuse	Événement causant un accident	Accident	Effets ou conséquences	Gravité	Occurrence (fréquence)	Mesures de prévention ou de protection	Application des mesures
.
.
.
.

Figure I.7: exemple nœud papillon

I.4.5.8. Méthode nœud papillon :

La méthode du nœud papillon est une approche de type arborescente largement utilisée dans différents secteurs industriels. Elle est basée sur une démarche probabiliste d'analyse et de gestion des risques.

La méthode du nœud papillon est particulièrement utile pour :

- Visualiser les scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées ;
- Décrire les différentes circonstances (menaces), les barrières et les causes de L'évènement redouté ;
- Apporter une démonstration renforcée de la bonne maîtrise des risques en présentant clairement l'action de barrières de sécurité sur le déroulement d'un accident ;

La méthode, dite du « nœud papillon », a pour principe de réunir un arbre de défaillances et un arbre d'événements, centrés sur un même évènement redouté.

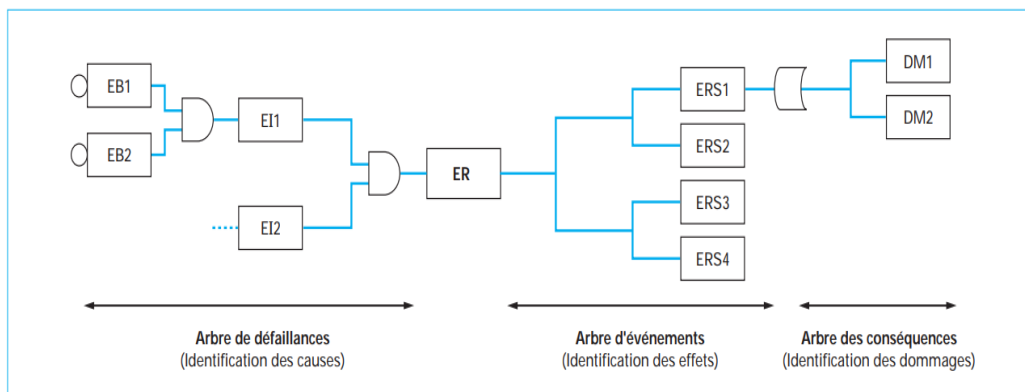


Figure I.8:Schéma d'un nœud papillon

Tableau I. 5:Définition des événements composant un nœud papillon

Identification	Signification	Définition
EB	Événement de base	Événement dont la réalisation, seule ou Combinée, est susceptible d'aboutir à la matérialisation d'un événement intermédiaire
EI	Événement intermédiaire	Événement dont la réalisation, seule ou combinée, est susceptible d'aboutir à la matérialisation de l'événement redouté (ER).
ER	Événement redouté	Événement résultant de dérives de paramètres de fonctionnement, ou de défaillances d'éléments, pouvant avoir des conséquences dommageables sur l'environnement
ERS	Événement redouté secondaire	Conséquence directe de l'événement redouté.
DM	Dommages	Dommages occasionnés au niveau de l'environnement : dommages aux individus, dégâts aux structures, aux matériels, pollution de l'environnement par les effets d'un phénomène dangereux

I.4.5.8.1. Avantages de la méthode du nœud papillon :

- Identification des causes profondes : La méthode du nœud papillon permet d'explorer les causes profondes d'un problème en posant des questions successives "pourquoi". Elle permet de dépasser les symptômes apparents pour trouver la véritable cause du problème.
- Analyse systématique : La méthode encourage une analyse approfondie et structurée du problème. Elle permet de suivre une séquence logique de questions "pourquoi" pour mieux comprendre les relations de cause à effet.

- Facilité d'utilisation : La méthode est simple à comprendre et à mettre en œuvre. Elle peut être utilisée par des individus ou des équipes sans nécessiter de compétences techniques ou spécialisées particulières.
- Amélioration continue : En identifiant les causes profondes des problèmes, la méthode du nœud papillon permet d'apporter des solutions plus durables. Elle favorise l'amélioration continue en éliminant les causes à la source plutôt qu'en traitant uniquement les symptômes.

I.4.5.8.2. Limites de la méthode du nœud papillon :

- Subjectivité : L'identification des causes profondes à travers les questions "pourquoi" peut être subjective. Différentes personnes peuvent arriver à des conclusions différentes en fonction de leur perspective et de leur expérience.
- Complexité des problèmes : Dans certains cas, les problèmes peuvent être complexes avec de multiples causes interdépendantes. La méthode du nœud papillon peut ne pas suffire à explorer toutes les interactions complexes entre les différentes causes.
- Temps et ressources : La méthode du nœud papillon peut prendre du temps, surtout si le problème est complexe. Il peut également nécessiter des ressources considérables, en termes de collecte d'informations et de participation des parties prenantes.
- Limitation à l'analyse rétrospective : La méthode du nœud papillon est souvent utilisée pour analyser des problèmes passés. Elle peut être moins efficace pour anticiper ou prévenir les problèmes futurs, car elle se concentre principalement sur les causes passées.

I.4.5.9. Méthode « HAZOP » (HAZard and OPerability):

La méthode HAZOP (Hazard and operability studies) s'inscrit dans la SDF en proposant une démarche d'amélioration de la sécurité et des procédés d'un système (installation industrielle en projet ou existante).

L'objectif de la méthode HAZOP est, à l'origine, d'identifier les dysfonctionnements de nature technique et opératoire dont l'enchaînement peut conduire à des événements non souhaités. Il s'agit donc de déterminer, pour chaque sous-ensemble ou élément d'un système bien défini, les conséquences d'un fonctionnement hors du domaine d'utilisation pour lequel ce système a été conçu.

C'est une méthode de recherche systématique des causes possibles des dérives de tous les paramètres de fonctionnement d'une installation. Ainsi pour chaque composant l'équipe Hazop s'interroge sur l'ensemble des possibilités de déviation à l'aide de mots –clés appliquées aux paramètres de fonctionnement, les causes et les conséquences de cette déviation et les moyens d'y remédier.

La mise en œuvre de la méthode est d'abord de constituer une équipe pluridisciplinaire, préparer les documents nécessaires ou autres documents préparatoires (éléments caractéristiques des capacités, des pompes...) à jour, découper l'installation en système, faire une hypothèse de dérive pour chaque système en combinant paramètres de fonctionnement et

mots clés ensuite rechercher les causes possibles de dérive et trouver les mesures de prévention, détection, protection.

I.4.5.9.1. Avantages :

- Méthode rapide et efficace.
- Il s'agit d'une méthode largement répandue, ses forces et faiblesses sont donc bien connues.
- Elle utilise l'expérience des occupants lors du processus d'analyse.
- C'est une méthode systématique et compréhensible qui permet l'identification des déviations dangereuses dans tout processus.
- Elle est effective pour les fautes techniques et les erreurs humaines.
- Elle reconnaît l'existence des systèmes de protection existants et développe des recommandations pour nouveaux.

I.4.5.9.2. Limites :

- Son succès dépend de la composition de l'équipe d'analyse et de leurs connaissances.
- C'est une méthode optimisée pour les dangers dans les processus, et nécessitant certaines modifications pour être adaptée à autres type de dangers.
- Cela requiert un développement des descriptions procédurières qui ne sont pas souvent disponibles en détail

I.4.5.9.3. Interprétation des résultats de HAZOP :

Grace à l'application de la méthode HAZOP on peut identifier un phénomène dangereux (UVCE, Feu flash, Bleve , Dispersion.)et un évènement redouté(la perte de confinement)

HAZOP de l'unité :				Section :					
Système :				Circuits :					
Nœud n° :		Circuit :		PID n°: (rev)					
Feuille d'analyse n°		Paramètre :		Valeur du design :					
Dérive	Causes	Conséquences	Barrières de sécurité existante	Niveau du risque (R)			recommandations	Réévaluation du risque (R)	Observations
				P	G	R			

Figure I.9: Exemple HAZOP

I.4.5.10. Analyse par arbre d'événements :

L'arbre d'événements illustre graphiquement les conséquences potentielles d'un accident qui résulte d'un événement initiateur (une défaillance spécifique d'un équipement ou une erreur

humaine). Une analyse par arbre d'événements (AAE) prend en compte la réaction des systèmes de sécurité et des opérateurs à l'événement initiateur lors de l'évaluation des conséquences potentielles de l'accident. Les résultats de l'AAE sont des séquences accidentelles ; c'est-à-dire un ensemble de défaillance ou d'erreurs qui conduisent à l'accident. Ces résultats décrivent les conséquences potentielles en termes de séquence d'événements (succès ou défaillance des fonctions de sécurité) qui font suite à un événement initiateur. Une analyse par arbre d'événements est bien adaptée pour étudier des procédés complexes qui ont plusieurs barrières de protection ou procédures d'urgence en place pour réagir à un événement initiateur spécifique.

I.4.5.10.1. Objectif de l'arbre d'événements :

Les arbres d'événements sont utilisés pour identifier les divers accidents qui peuvent se produire dans un système complexe. À la suite de l'identification des séquences d'accidents individuels, les combinaisons spécifiques de défaillance qui peuvent conduire à des accidents peuvent être déterminées à l'aide de l'arbre d'événements. L'arbre d'événements permet :

- De rechercher toutes les causes et les combinaisons de causes conduisant à l'événement de tête ;
- De déterminer si chacune des caractéristiques de fiabilité du système est conforme à l'objectif prescrit ;
- De vérifier les hypothèses faites au cours d'autres analyses à propos de l'indépendance des systèmes et de la non-prise en compte de certaines défaillances ;
- D'identifier le(les) facteur(s) qui a(ont) les conséquences les plus néfastes sur une caractéristique de fiabilité ainsi que les modifications nécessaires pour améliorer cette caractéristique ;
- D'identifier les événements communs ou les défaillances de cause commune ;

I.4.5.10.2. Applications de l'arbre d'événements :

L'arbre d'événements est utilisé pour identifier les divers événements qui peuvent survenir dans un système complexe. À la suite de l'identification des séquences individuelles d'accident, les combinaisons spécifiques de défaillance qui conduisent à des accidents peuvent alors être déterminées en utilisant l'arbre de panne.

I.4.5.10.3. Principes de l'arbre d'événements :

L'AAE évalue le potentiel d'accident résultant d'une défaillance d'un équipement ou d'un dérangement de procédé (événement initiateur). À la différence de l'analyse par arbre de panne (une approche déductive) l'AAE est un raisonnement inductif où l'analyste commence par un événement initiateur et développe la séquence probable d'événements qui conduisent aux accidents potentiels, en tenant compte tant du succès que de la défaillance des barrières de sécurité au fur et à mesure que l'accident progresse. Les arbres d'événements fournissent une façon systématique d'enregistrer les séquences d'accidents et de définir la relation entre les événements initiateurs et la séquence d'événements qui peut résulter en accidents.

Les arbres d'événements sont bien indiqués pour analyser les événements initiateurs qui pourraient conduire à une variété de conséquences. Un arbre d'événements met en évidence la cause initiale d'accidents potentiels et fonctionne à partir de l'événement initiateur jusqu'aux effets finaux. Chaque branche d'un arbre d'événements représente une séquence séparée d'accident qui est, pour un événement initiateur donné, un ensemble de relations entre les barrières de sécurité.

I.4.6. Contexte de l'étude de danger :

L'étude de danger, également appelée évaluation des risques ou analyse des risques, est une étape clé de la gestion industrielle visant à identifier et à évaluer les dangers potentiels associés aux activités industrielles ou aux procédés de production. Elle nous aide à appréhender les risques et les dangers liés à un système industriel dans une perspective plus large de gestion de la sécurité, de la santé des employés et de la préservation de l'environnement.

L'étude de danger est cruciale pour la sécurité des travailleurs et la protection de l'environnement pour plusieurs raisons. Elle permet d'identifier les menaces potentielles dans l'environnement de travail et de mettre en place des mesures préventives et protectrices adaptées. Cela peut inclure l'installation de dispositifs de sécurité, la formation des employés aux risques identifiés, l'utilisation d'équipements de protection individuelle ou la modification des méthodes de travail pour réduire les risques.

De plus, elle permet d'identifier les risques environnementaux potentiels tels que la pollution de l'air, de l'eau ou du sol, les déversements de produits chimiques, les émissions de gaz à effet de serre ou les impacts sur la biodiversité. En identifiant ces risques, il est possible de mettre en place des mesures préventives, d'atténuation ou de compensation pour minimiser les impacts négatifs sur l'environnement. Elle contribue également à la gestion globale des risques dans un contexte industriel en identifiant les zones critiques où des améliorations peuvent être apportées pour réduire les risques potentiels et renforcer la sécurité et la protection de l'environnement. Cela peut inclure des améliorations techniques, des changements de procédures, des formations supplémentaires ou des modifications des politiques de gestion.

En résumé, l'analyse des dangers est une étape clé dans la gestion industrielle qui permet d'identifier et d'évaluer les dangers potentiels et les risques associés à une activité industrielle. Elle est importante pour garantir la sécurité et la santé des travailleurs ainsi que pour protéger l'environnement en identifiant les risques potentiels et en mettant en place des mesures appropriées pour minimiser ces risques.

I.4.7. Limites et critiques :

L'étude de danger, bien qu'elle soit un outil important dans la gestion des risques industriels, présente également certaines limites et critiques. Voici quelques exemples :

- **Difficulté à prendre en compte tous les scénarios possibles :**

Il peut être difficile de prendre en compte tous les scénarios possibles lors de l'analyse des risques dans une étude de danger. Les activités industrielles sont complexes et dynamiques, et de nouveaux scénarios de danger peuvent émerger au fil du temps. Les situations d'urgence

peuvent varier en fonction de nombreux facteurs, tels que les conditions météorologiques, les défaillances techniques, les erreurs humaines, etc. Il est donc difficile d'envisager tous les cas de figure, ce qui pourrait entraîner une sous-estimation ou une surestimation des risques. Il peut être difficile de prévoir tous les événements possibles et d'évaluer leurs conséquences, ce qui peut entraîner des omissions potentielles dans l'identification et l'évaluation des risques.

- **Incertitudes associées aux données utilisées pour l'analyse des risques :**

Il peut y avoir des incertitudes associées aux données utilisées pour l'analyse des risques dans une étude de danger. L'analyse des risques repose sur la disponibilité et la qualité des données utilisées pour évaluer les dangers et les probabilités d'occurrence. Cependant, les données peuvent être incomplètes, imprécises ou incertaines, ce qui peut affecter la fiabilité des résultats de l'analyse.

Les incertitudes liées aux données peuvent notamment provenir de la fiabilité des données historiques, des extrapolations ou des estimations utilisées dans le processus d'analyse. Pour minimiser ces incertitudes, il est important d'utiliser des données fiables et de qualité pour l'analyse des risques. Des méthodes rigoureuses d'analyse des données peuvent également aider à réduire les incertitudes et à améliorer la fiabilité des résultats de l'analyse.

- **Biais possibles dans l'identification et l'évaluation des risques :**

L'identification et l'évaluation des risques peuvent être influencées par des biais cognitifs ou des préjugés, ce qui peut entraîner une sous-estimation ou une surestimation des risques réels.

Les biais possibles comprennent la focalisation sur certains dangers au détriment d'autres, la subjectivité dans l'évaluation des probabilités d'occurrence, ou l'influence de facteurs externes tels que les pressions économiques ou les considérations politiques. Les biais dans l'identification et l'évaluation des risques peuvent compromettre l'objectivité et l'exactitude des résultats de l'étude de danger.

- **Limitations liées à la portée de l'étude de danger :**

L'étude de danger est conçue pour évaluer les risques associés à une activité industrielle spécifique dans un contexte donné. Cependant, elle ne peut pas prendre en compte tous les facteurs qui peuvent influencer les risques associés à cette activité.

Par exemple, l'étude de danger ne peut pas prendre en compte les changements futurs dans l'environnement industriel ou réglementaire, ou les interactions entre différentes activités industrielles. De plus, l'étude de danger ne peut pas prendre en compte les impacts à long terme ou les conséquences indirectes des risques identifiés.

Une étude de danger peut inclure des mesures pour prévenir les accidents ou en atténuer les conséquences. Ces mesures peuvent inclure des dispositifs de sécurité, des procédures d'urgence, des plans d'évacuation, des systèmes d'alerte et de communication, et des équipements de protection individuelle.

L'étude de danger peut également inclure des actions de formation et de sensibilisation pour les travailleurs et les parties prenantes. Ces actions peuvent inclure des formations sur les risques identifiés, des exercices d'évacuation et de gestion d'urgence, et des campagnes de sensibilisation sur les bonnes pratiques en matière de sécurité.

Ces mesures et actions peuvent aider à prévenir les accidents ou à en atténuer les conséquences en cas d'incident. Elles peuvent également contribuer à renforcer la culture de la sécurité au sein de l'entreprise et à améliorer la gestion globale des risques.

Parmi les mesures qui peuvent être envisagées, mentionnons :

- **Mise en place de procédures opérationnelles sécurisées** : consiste à établir des instructions claires et précises pour réaliser des tâches en toute sécurité dans un contexte industriel. Ces procédures peuvent aider à prévenir les accidents et à améliorer la réactivité en cas d'incident.
- **Utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI)** : L'utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI) consiste à fournir aux travailleurs des équipements de sécurité pour les protéger contre les dangers liés à leur travail. Les EPI peuvent inclure des casques, des gants, des lunettes de sécurité, des chaussures de sécurité et des masques respiratoires. Ils peuvent aider à prévenir les blessures et les maladies professionnelles en offrant une protection physique contre les dangers.
- **Formation et sensibilisation des travailleurs** : consistent à fournir aux travailleurs des informations et des compétences pour travailler en toute sécurité dans un contexte industriel. Cela peut inclure des formations sur les risques liés à leur travail, les procédures de sécurité et l'utilisation des équipements de protection individuelle. La formation et la sensibilisation peuvent aider à prévenir les accidents en améliorant la connaissance des travailleurs sur les dangers et les mesures de prévention.
- **Évaluation régulière des équipements et des procédures** : consiste à vérifier régulièrement l'état et la conformité des équipements de sécurité et des procédures opérationnelles. Cela peut inclure des inspections, des tests et des audits pour s'assurer que les équipements et les procédures sont en bon état de fonctionnement et conformes aux normes de sécurité. L'évaluation régulière peut aider à prévenir les accidents en identifiant et en corrigeant les problèmes avant qu'ils ne deviennent des dangers.
- **Mise en place de systèmes de détection et d'alerte** : porter sur installer des dispositifs pour détecter les dangers et alerter les travailleurs en cas d'incident. Ces systèmes peuvent inclure des détecteurs de fumée, des détecteurs de gaz, des alarmes incendie et des systèmes d'évacuation. Ils peuvent aider à prévenir les accidents en fournissant une alerte rapide en cas de danger et en facilitant l'évacuation en cas d'urgence.
- **Plan d'urgence et de gestion des crises** : le développement d'un plan d'urgence et de gestion des crises décrit les étapes à suivre en cas d'incident, notamment l'évacuation des employés, la coordination avec les autorités locales, la gestion des relations avec les médias, etc.

- **Engagement des parties prenantes :** l'engagement des parties prenantes dans la sensibilisation à la sécurité et la promotion d'une culture de sécurité est un élément important pour assurer la réussite d'un projet. L'implication des parties prenantes, y compris les travailleurs, les voisins, les autorités locales et les communautés environnantes, peut aider à s'assurer que les parties prenantes perçoivent le projet de manière positive et à minimiser les perceptions négatives. Certaines entreprises ont des programmes de formation et de coaching pour aider les équipes d'encadrement de chantier à comprendre leur rôle en matière de sécurité.

I.4.8. Prévention :

La prévention des risques professionnels est l'ensemble des mesures mises en œuvre pour protéger la santé et la sécurité des salariés, améliorer les conditions de travail et favoriser le bien-être au travail. Il s'agit d'une obligation réglementaire imposée aux employeurs dont les principes généraux sont énoncés dans le Code du travail.

Elle s'inscrit dans une logique de responsabilité sociale des entreprises, visant réduire les risques d'accidents du travail et de maladies professionnelles et à en limiter les conséquences humaines, sociales et économiques.

Pour assumer cette responsabilité et remplir l'obligation de résultat qui lui est imposée, l'employeur doit être en mesure d'adapter la démarche préventive à la nature de l'activité et à l'organisation propre de l'entreprise, mais aussi d'anticiper son évolution.

La prévention des risques professionnels est un enjeu majeur pour l'entreprise. Elle nécessite en premier lieu un engagement et une volonté politique forte au sein même de l'établissement. Chacun à son niveau dans l'entreprise (employeur, représentant du personnel, chargé de prévention ou salarié) est directement concerné. La démarche est guidée par :

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

I.4.8.1. Rôle des professionnels de la prévention :

Ils disposent des résultats d'analyse et d'enquête, des résultats des collectes des données et d'observation. Ces résultats sont en général organisés et présentés dans des formes permettant à l'employeur d'accéder rapidement aux enjeux : gravité, fréquence, occurrence d'apparition, nombre de personnes concernées ou potentiellement concernées, croissance ou décroissance probable du phénomène en lien avec l'évolution d'un facteur.[36]

I.4.9. Protection :

Actions visant à réduire la gravité d'un risque, la protection comprend toutes les mesures visant à limiter l'étendue et/ou la gravité des conséquences d'un phénomène dangereux sans altérer la probabilité de son apparition (par exemple, la protection des équipements et des personnes).[37]

La protection individuelle et collective pour l'industrie vise à protéger les employés exposés à des risques dans le cadre de leur travail afin de leur permettre d'exercer dans de meilleures conditions de sécurité.[38]

Un équipement de protection est un dispositif, un mécanisme, un dispositif ou une installation dont la conception (agencement et matériaux constitutifs) est efficace pour assurer la protection des travailleurs contre un ou plusieurs risques professionnels de manière à en limiter les résultats. Le dispositif est intégré ou ajouté à un outil de production ou à un poste de travail. [37]

De nombreux équipements de protection individuelle et collective sont mis à disposition du personnel de l'industrie ou intégrés aux postes de travail comportant des risques afin de minimiser leurs conséquences.

La protection collective protège indistinctement tous les salariés et doit passer avant la protection individuelle. Elle doit tenir compte des risques pour les accommoder au mieux et les minimiser. [38]

Quatre principes régissent les moyens de protection collective :

- La protection par éloignement (balisage, déviation...);
- La protection par obstacle (rambarde de sécurité...);
- La protection par atténuation d'une nuisance (insonorisation du local, encoffrement de la pièce usinée, aspiration de poussière, ventilation...);
- La protection par consignation d'une fonction dangereuse lors d'interventions.[37]

La protection individuelle vient en renfort de la protection collective et s'adresse à un travailleur en particulier : Il existe différents types d'équipements de protection individuelle : chaussures de sécurité, équipements antichute, équipements de secours, etc. Ils sont utilisés dans de nombreuses industries telles que la construction, la logistique ou la maintenance.[38]

Conclusion :

En conclusion, l'étude de danger et la réglementation associée jouent un rôle essentiel dans la gestion des risques industriels et la sécurité des installations. Grâce à une compréhension approfondie des concepts de risque, de danger et des étapes clés de l'étude de danger, les établissements peuvent identifier et évaluer les dangers potentiels, analyser les risques associés et mettre en œuvre des mesures de prévention et de protection appropriées.

L'étude de danger offre une approche systématique et rigoureuse pour identifier les scénarios d'accidents possibles, évaluer leurs conséquences et proposer des mesures d'atténuation. En effectuant une analyse approfondie des dangers et des risques, les établissements peuvent prendre des décisions éclairées en matière de sécurité, de planification d'urgence et de conception d'installations industrielles résilientes.

Il est important de souligner que l'étude de danger et la réglementation ne sont pas des processus statiques, mais plutôt des démarches dynamiques qui nécessitent une évaluation continue et une adaptation aux changements technologiques, aux nouvelles connaissances et aux meilleures pratiques. Une gestion proactive des risques industriels et une culture de sécurité solide contribuent à la prévention des accidents et à la protection de toutes les parties prenantes.

CHAPITRE II :
**Méthodologie de QRA pour une évaluation plus
réelle des risques industriels.**

CHAPITRE II : Méthodologie de QRA pour une évaluation plus réelle des risques industriels.

Introduction :

L'approche Quantitative Risk Assessment (QRA) est une méthode utilisée dans la gestion des risques industriels pour évaluer de manière quantitative les risques associés aux installations industrielles.[39] C'est une approche rigoureuse et avancée visant une industrie plus sûre et se révèle indispensable et nécessaire pour une bonne estimation et maîtrise des risques. Elle permet d'identifier, d'évaluer et de quantifier les dangers et les risques potentiels associés à des scénarios d'accidents spécifiques, tels que des fuites de produits chimiques, des incendies, des explosions, etc. [40]

L'approche QRA est devenue une pratique courante dans de nombreux secteurs industriels, tels que l'industrie chimique, pétrolière, gazière, nucléaire, pharmaceutique, ainsi que dans d'autres domaines nécessitant une évaluation approfondie des risques. Cela permet aux décideurs de prendre des décisions éclairées en matière de sécurité industrielle, de planification d'urgence, de conception de systèmes de protection et de politique de gestion des risques.[39]

Les objectifs de l'application de l'approche QRA sont multiples. Tout d'abord, elle vise à évaluer la probabilité des dommages causés par un futur accident et à identifier et à évaluer les risques potentiels associés à des scénarios d'accidents spécifiques, afin de mieux comprendre leur probabilité d'occurrence et leurs conséquences. Elle permet aussi d'évaluer l'efficacité des mesures de sécurité actuelles et de suggérer des améliorations potentielles afin de réduire les risques à un niveau acceptable. En outre L'approche Quantitative Risk Assessment (QRA) peut aider à prendre des décisions éclairées concernant les investissements, les politiques de gestion des risques et la communication avec les parties prenantes.

Les avantages de l'application de l'approche QRA sont nombreux. Tout d'abord, Elle permet de calculer systématiquement les risques liés aux événements dangereux et de prédire la taille des conséquences associées à un danger et la fréquence à laquelle une libération du danger peut être attendue. De plus, l'approche QRA facilite la compréhension des interactions complexes entre les différents facteurs de risque, tels que la probabilité d'occurrence, les conséquences potentielles et les stratégies de réduction des risques. Enfin, elle simplifie la transmission de l'information et la clarté avec les parties prenantes en fournissant des résultats quantitatifs et vérifiables pour étayer les choix de gestion des risques.[41]

Dans ce chapitre, nous allons examiner en détail l'approche QRA et son application dans différents contextes industriels, en mettant en évidence les méthodologies, les outils et les bonnes pratiques pour mener à bien une évaluation quantitative des risques. Nous allons également discuter des limites et des défis associés à l'application de l'approche QRA, ainsi que des perspectives futures de développement de cette approche dans le domaine de la gestion des risques industriels.

II.1. Principes de base de l'approche QRA :

L'approche Quantitative Risk utilise des méthodes statistiques et probabilistes pour quantifier les risques liés à des activités industrielles ou à des situations potentiellement dangereuses. Voici les principaux principes de base de l'approche QRA :

II.1.1. Quantification des risques :

La quantification des risques est une étape importante dans la gestion des risques. Elle consiste à mesurer la probabilité d'occurrence d'un risque et à l'estimer.[42] Il existe plusieurs méthodes pour quantifier les risques. Par exemple, la gravité mesure l'importance des conséquences et l'importance des impacts envisagés en cas de survenance du risque, en cas d'accident. Le résultat de cette multiplication est la criticité du risque que, par simplification sémantique, on assimile souvent au risque lui-même [43]

L'approche QRA consiste à quantifier les risques en utilisant des méthodes statistiques et probabilistes. Ces modèles prennent en compte les données historiques et les hypothèses sur les événements possibles et les conséquences potentielles. Les méthodes statistiques et probabilistes sont utilisées pour évaluer les incertitudes et les variations dans les données.

II.1.2. Évaluation des conséquences potentielles :

L'évaluation des conséquences potentielles est une étape importante dans la quantification des risques. Elle permet de quantifier les impacts afin de prendre les bonnes décisions et sélectionner ceux qui méritent une attention particulière.[44]

C'est l'une des étapes clés de l'approche d'évaluation quantitative des risques (QRA) pour évaluer les risques associés aux activités industrielles ou aux situations potentiellement dangereuses. Une évaluation des résultats possibles comprend une analyse approfondie des effets indésirables pouvant résulter d'un événement dangereux.

Les conséquences potentielles d'un événement dangereux peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, notamment :

II.1.2.1. Gravité de l'événement :

La gravité de l'événement est un facteur important à considérer lors de l'évaluation des risques. Lorsqu'un événement a des conséquences plus graves, il peut causer des pertes financières plus élevées, des dommages matériels importants, des blessures plus graves ou même la perte de vies humaines. Par exemple, une explosion dans une usine de GNL pourrait causer des dommages considérables aux installations, ainsi qu'à l'environnement et aux populations avoisinantes.

L'évaluation de la gravité d'un événement implique souvent une estimation de la probabilité de survenue de l'événement ainsi que de la sévérité des conséquences potentielles. Il peut être utile de considérer également les effets indirects possibles d'un événement, tels que l'impact sur la réputation de l'entreprise, l'interruption des activités, la perte de confiance des parties prenantes, etc.

II.1.2.2. Nombre de personnes touchées :

Si un grand nombre de personnes est touché par l'événement, les conséquences potentielles peuvent être plus importantes. Par exemple, dans le cas d'un accident industriel tel qu'une explosion dans une usine de gaz naturel liquéfié (GNL), le nombre de personnes touchées dépendra de la proximité de l'usine par rapport aux zones résidentielles. Si l'usine est située dans une zone densément peuplée, le nombre de personnes touchées peut être très élevé, ce qui augmente la gravité de l'événement.

II.1.2.3. Durée des conséquences :

La durée des conséquences peut varier de façon significative selon la nature de l'évènement. Par exemple, une explosion peut causer d'importants dommages en quelques instants, mais les conséquences pourraient être relativement brèves. Néanmoins, un déversement de produits chimiques dans l'environnement peut avoir des conséquences à long terme sur l'écosystème local et les populations qui en dépendent.

La durée des conséquences dépend également de la façon dont l'événement est traité. Par exemple, si les entreprises peuvent réagir rapidement aux déversements de produits chimiques, elles peuvent être en mesure de limiter les impacts à court terme et de raccourcir la durée des impacts à long terme. En revanche, si les entreprises ne prennent pas les mesures nécessaires pour faire face à l'événement, les conséquences peuvent être plus graves et prolongées.

Les conséquences potentielles d'un événement dangereux peuvent inclure :

II.1.2.3.1. Blessures :

Les blessures sont une conséquence potentielle grave d'un événement dangereux. Les travailleurs peuvent être blessés en raison d'une exposition à des produits chimiques dangereux, d'une explosion, d'un incendie ou d'autres types d'accidents.

Les membres du public peuvent également être blessés s'ils se trouvent à proximité de l'usine lorsqu'un événement dangereux se produit. Les blessures peuvent entraîner des coûts élevés en termes de soins médicaux, d'indemnités pour invalidité et de pertes de revenus. De plus, les blessures peuvent causer une souffrance et une détresse émotionnelle considérables pour les personnes touchées, ainsi que pour leurs familles et leurs amis. Les entreprises doivent donc prendre en compte les risques de blessures lorsqu'elles évaluent les conséquences potentielles d'un événement dangereux et mettent en place des mesures de prévention et de mitigation pour minimiser ces risques.

II.1.2.3.2. Dommages aux biens :

Les dommages aux biens peuvent avoir un impact important sur la capacité de l'entreprise à fonctionner normalement après un événement dangereux. Les coûts de réparation ou de remplacement des équipements endommagés peuvent être considérables et entraîner une perte de production et de revenus. En outre, les dommages aux bâtiments et aux infrastructures peuvent nécessiter des réparations importantes qui peuvent prendre du temps, ce qui peut également affecter la capacité de l'entreprise à fonctionner normalement.

II.1.2.3.3. Effets sur l'environnement :

Les conséquences environnementales d'un événement dangereux peuvent être extrêmement graves. Les polluants libérés dans l'air, l'eau ou le sol peuvent avoir des effets à long terme sur les écosystèmes locaux et les communautés qui en dépendent. Les déversements d'hydrocarbures peuvent contaminer les habitats marins et les côtes, affectant la vie marine et les établissements telles que la pêche et le tourisme. Les émissions de gaz à effet de serre peuvent contribuer au changement climatique, avec des effets potentiellement dévastateurs sur l'environnement et la société dans son ensemble. En outre, les effets sur l'environnement peuvent également avoir un impact sur la santé humaine, en particulier pour les personnes vivant à proximité des sites contaminés. Par conséquent, l'évaluation des effets sur l'environnement est un élément crucial de la gestion des risques et de la sécurité dans les usines de GNL.

II.1.2.3.4. Pertes financières :

Les pertes financières associées à un événement dangereux peuvent être considérables et dépendent de plusieurs facteurs tels que l'ampleur de l'événement, le nombre de personnes touchées, la durée des conséquences, la nature des dégâts matériels et immatériels, et la capacité de l'entreprise à récupérer rapidement.

Les pertes de production peuvent être particulièrement coûteuses, car elles peuvent entraîner des retards dans les livraisons et la perte de contrats, tandis que les réparations peuvent être onéreuses et nécessiter des investissements importants en termes de temps et d'argent. Les pertes de revenus peuvent également être significatives si l'entreprise est obligée de fermer temporairement ou de perdre des parts de marché en raison d'une mauvaise image publique. Ainsi, la prise en compte des pertes financières potentielles est un élément clé de l'analyse des risques et de la gestion de la sécurité dans les entreprises.

II.1.3. Évaluation des probabilités d'occurrence :

L'évaluation des probabilités d'occurrence est une autre étape importante de l'approche Quantitative Risk Assessment (QRA) pour évaluer les risques associés à des activités industrielles ou à des situations potentiellement dangereuses. Cette évaluation consiste à déterminer la probabilité que des événements dangereux se produisent, tels que des accidents, des défaillances d'équipement ou des erreurs humaines.

L'évaluation des probabilités d'occurrence implique l'utilisation de données historiques, d'analyses de scénarios d'accidents et d'expertises techniques pour évaluer les risques associés à une activité ou une situation donnée. Cette évaluation permet de mieux comprendre les risques potentiels associés à une activité et de prendre des décisions éclairées en matière de gestion des risques.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour évaluer les probabilités d'occurrence, notamment :

- L'analyse de fréquence

- L'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)
- L'analyse des arbres de défaillance (AAD)

L'évaluation des probabilités d'occurrence est essentielle pour comprendre les risques associés à une activité ou une situation donnée. Cette évaluation peut aider à identifier les causes sous-jacentes des événements dangereux potentiels et à élaborer des plans de gestion des risques qui permettent de réduire les risques pour les travailleurs, les communautés environnantes et l'environnement.

II.1.4. Risque et évaluation des risques :

Dans le contexte de l'Évaluation Quantitative des Risques (QRA), le risque est généralement défini comme la combinaison de la probabilité ou de la vraisemblance d'un événement et de la conséquence ou de l'impact de cet événement. Il s'agit d'une mesure du potentiel de dommage ou de résultat négatif résultant de l'exposition à un danger.

Le terme "danger" fait référence à tout ce qui a le potentiel de causer un préjudice, tel que des produits chimiques, l'électricité ou la conduite d'une voiture. Les dangers sont généralement identifiés et évalués dans le cadre d'une EQR afin de déterminer les risques associés.

La probabilité, dans le cadre d'une QRA, est exprimée sous forme de fréquence. Elle représente la chance ou la probabilité qu'un événement ou un danger spécifique se produise dans un laps de temps donné. L'évaluation de la probabilité prend en compte divers facteurs tels que les données historiques, le jugement d'experts, l'analyse statistique et d'autres informations pertinentes pour estimer la probabilité d'un événement.

En revanche, la conséquence fait référence à la gravité ou à l'impact d'un événement s'il devait se produire. Elle implique d'évaluer les dommages potentiels ou les conséquences négatives résultant de l'exposition à un danger. Les conséquences peuvent être catégorisées en différents niveaux ou échelles, allant des incidents mineurs aux accidents majeurs ou aux événements catastrophiques.

En combinant les évaluations de probabilité et de conséquence, le niveau de risque associé à un danger ou à un événement particulier peut être déterminé. Ces informations contribuent à prendre des décisions éclairées concernant les stratégies de gestion des risques, les mesures d'atténuation et l'allocation des ressources afin de réduire ou de contrôler les risques identifiés.

Le risque peut cependant être évalué soit qualitativement, soit quantitativement :

II.1.4.1. Évaluation qualitative des risques :

L'évaluation qualitative des risques est une méthode qui se base sur une évaluation subjective de la probabilité, de la conséquence ou de la gravité d'un événement (et donc du risque associé). Contrairement à l'évaluation quantitative des risques, elle n'utilise pas de données numériques précises, mais plutôt des catégories ou des échelles qualitatives telles que « élevé », « moyen » et « faible ».

Dans cette approche, les professionnels ou les experts chargés de l'évaluation des risques utilisent leur jugement et leur expérience pour évaluer la probabilité qu'un événement se produise ainsi que la gravité de ses conséquences. Ils attribuent ensuite une catégorie de risque en fonction de ces évaluations subjectives.

Les catégories de risque utilisées peuvent varier en fonction des méthodes ou des systèmes adoptés par chaque organisation ou domaine spécifique. Par exemple, une évaluation qualitative des risques peut utiliser des termes tels que « très élevé », « élevé », « modéré » et « faible » pour décrire différents niveaux de probabilité, de conséquence ou de gravité.

Cette approche qualitative est souvent utilisée lorsque les données précises ou les informations statistiques ne sont pas disponibles ou ne peuvent pas être facilement quantifiées. Elle permet une évaluation rapide et subjective des risques et peut être utile dans les premières étapes de l'identification des risques ou lorsqu'il est difficile d'obtenir des données quantitatives fiables.

II.1.4.2. Évaluation quantitative (ou quantifiée) des risques :

L'évaluation quantitative des risques (QRA) consiste à attribuer des valeurs numériques à la probabilité (fréquence) et à la gravité (ou aux conséquences) des résultats pour chaque événement distinct. Tous les événements distincts sont ensuite combinés pour obtenir un niveau de risque numérique (total). Ces risques numériques calculés sont ensuite évalués en les comparant aux critères d'acceptation/ tolérabilité des risques (critères de risque).

Dans cette approche, des données quantitatives sont utilisées pour évaluer les probabilités et les conséquences des événements. La probabilité peut être exprimée en termes de fréquence, telle que le nombre d'occurrences prévues par unité de temps, tandis que la gravité peut être mesurée en termes de dommages potentiels, de pertes économiques ou d'impacts sur la santé et l'environnement.

Une fois que les valeurs numériques de probabilité et de gravité sont assignées à chaque événement, elles sont combinées pour obtenir une mesure globale du niveau de risque. Cela peut se faire de différentes manières, telles que l'utilisation de matrices de risques ou de modèles mathématiques spécifiques.

Ensuite, les niveaux de risque numériques calculés sont évalués en les comparant à des critères d'acceptation ou de tolérabilité des risques. Ces critères sont des seuils prédéfinis qui indiquent les limites acceptables ou souhaitées pour le niveau de risque. Si les niveaux de risque calculés dépassent les critères définis, des mesures d'atténuation ou de gestion des risques supplémentaires peuvent être nécessaires.

L'évaluation quantitative des risques permet une analyse plus précise et objective des risques, en utilisant des données quantitatives et des calculs mathématiques. Elle fournit des résultats quantifiés qui peuvent faciliter la prise de décision et la comparaison des risques entre différentes activités, scénarios ou alternatives. Cependant, il est important de noter que cette approche nécessite des données précises et fiables, ainsi que des compétences techniques pour mener à bien les calculs et les évaluations nécessaires.

II.2. Aperçu de QRA :

Typiquement, une Évaluation Quantitative des Risques (QRA) comprend les étapes illustrées dans la Figure II.1, qui présentent les principaux éléments et la structure générale d'une EQR.

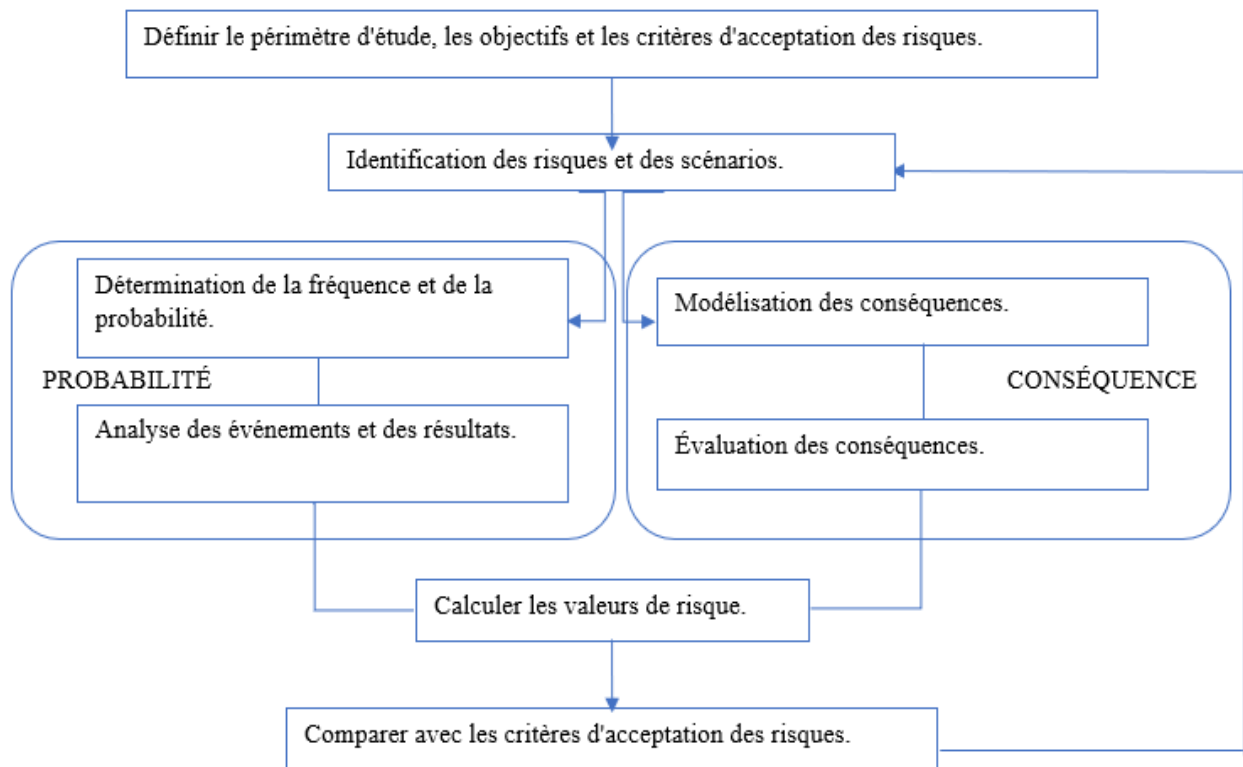


Figure II.2 : les étapes de QRA

II.2.1. Définir le périmètre d'étude, les objectifs et les critères d'acceptation des risques :

La première étape de l'évaluation quantitative des risques consiste à définir le périmètre d'étude, les objectifs et les critères d'acceptation des risques. Voici ce que cela implique :

II.2.1.1. Définir le périmètre d'étude : Cela implique de délimiter clairement les limites de l'étude. Il est important de préciser les domaines ou les activités spécifiques qui seront inclus dans l'analyse des risques. Par exemple, si vous effectuez une évaluation des risques pour un projet de construction, vous devez définir quels aspects du projet seront pris en compte, tels que la conception, la construction, l'exploitation, etc.

II.2.1.2. Définir les objectifs :

Il est essentiel de définir les objectifs de l'évaluation des risques. Ces objectifs peuvent varier en fonction du contexte spécifique, mais ils pourraient inclure l'identification des risques les plus critiques, l'estimation des probabilités et des conséquences des risques, l'évaluation des

mesures de réduction des risques existantes, ou la comparaison de différentes stratégies de gestion des risques.

II.2.1.3. Définir les critères d'acceptation des risques :

Les critères d'acceptation des risques sont des seuils prédéterminés qui définissent la limite acceptable pour chaque risque évalué. Ces critères peuvent être définis en termes de probabilité, de gravité des conséquences, ou d'autres facteurs pertinents.

En résumé, la première étape de l'évaluation quantitative des risques consiste à établir le périmètre de l'étude, à définir les objectifs spécifiques de l'évaluation et à établir les critères qui serviront à déterminer si un risque est acceptable ou non. Cette étape de planification est cruciale car elle fournit le cadre nécessaire pour mener une analyse approfondie et systématique des risques.

II.2.2. Identification des risques et des scénarios :

La deuxième étape de l'évaluation quantitative des risques (QRA) est l'identification des risques et des scénarios. Voici les principales étapes de cette étape :

II.2.2.1. Identification des risques : Il s'agit d'identifier tous les risques potentiels associés à l'activité, au projet ou au système étudié. Les risques peuvent être liés à différents domaines tels que la sécurité, la santé, l'environnement, la finance, la réputation, etc. L'identification des risques peut être réalisée à l'aide d'analyses documentaires, de revues de projet, d'entretiens avec des experts, d'expériences passées ou d'autres sources d'informations pertinentes.

II.2.2.2. Identification des scénarios : Une fois les risques identifiés, il est important de déterminer les différents scénarios qui pourraient se produire en cas de réalisation de ces risques. Un scénario décrit une séquence d'événements qui pourrait se dérouler et conduire à des conséquences indésirables. Par exemple, dans le contexte d'une entreprise de fabrication, un scénario peut être une panne d'équipement entraînant une interruption de la production, une perte de revenus et une baisse de la satisfaction des clients.

Étant donné qu'il existe une large gamme de variables et de combinaisons de pertes de confinement, il est nécessaire de rationaliser la sélection des scénarios. Pour faciliter cette rationalisation, les études QRA utilisent des arbres d'événements pour modéliser la série chronologique d'événements allant de la libération initiale au résultat final.

Les arbres d'événements fournissent une méthode systématique pour s'assurer que toutes les issues potentielles résultant d'une libération initiale spécifiée sont identifiées. Lorsque deux possibilités existent, par exemple l'allumage ou la non-allumage, l'arbre d'événements se divise en une branche "oui" et une branche "non" et chaque branche (ou scénario de résultat) se voit attribuer une probabilité. La figure II.2 montre un exemple simple d'un arbre d'événements.

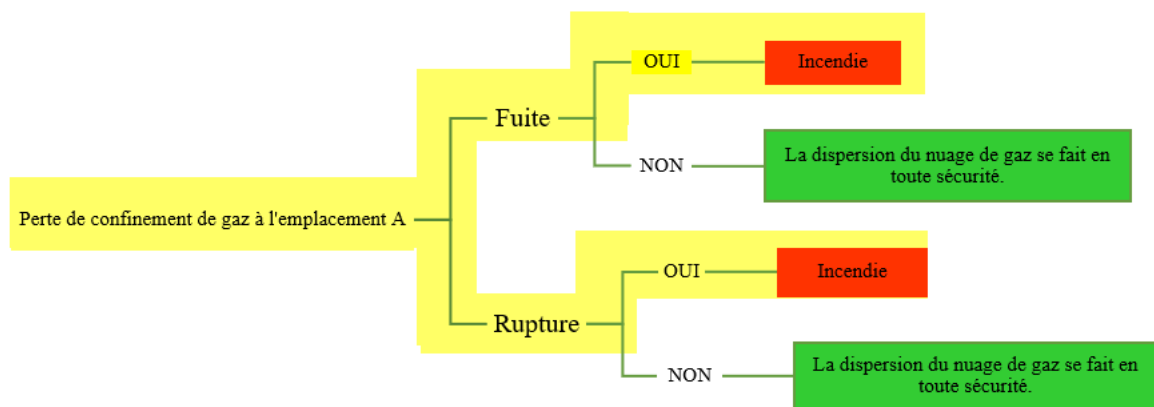


Figure II.3:Exemple d'arbre des événements

Il est important de noter que l'identification des risques et des scénarios doit être réalisée de manière collaborative, en impliquant les parties prenantes concernées et en utilisant des techniques appropriées d'analyse des risques. Il est également recommandé de se référer aux normes, aux réglementations ou aux bonnes pratiques spécifiques à votre domaine d'activité pour garantir une identification exhaustive et précise des risques.

II.2.3. Détermination de la fréquence et de la probabilité :

Les fréquences auxquelles des défaillances potentielles sont susceptibles de conduire à une perte de confinement sont estimées en utilisant des bases de données publiées sur les fréquences de défaillance, convenablement modifiées pour refléter les conditions spécifiques prises en compte, ou prédites à l'aide de modèles reconnus. Les données de fréquence de fuite sont réparties en fonction de la taille de l'orifice pour modéliser la distribution des fuites (les fuites plus petites se produisant avec une fréquence plus élevée que les fuites plus importantes).

Des probabilités "oui" et "non" sont également attribuées à chaque branche de l'arbre des événements, sur la base de données historiques ou de directives contenues dans les codes, ou prédites à l'aide de modèles reconnus. La fréquence de chaque résultat à partir de chaque libération initiale est donnée en multipliant la fréquence de libération initiale par les probabilités le long des branches de l'arbre des événements qui conduisent à un résultat particulier.

II.2.4. Modélisation et évaluation des conséquences :

Les conséquences sont modélisées pour chaque scénario en fonction de plusieurs entrées définies (par exemple, la taille de l'ouverture, la pression du gaz au moment de la libération, les conditions environnementales)

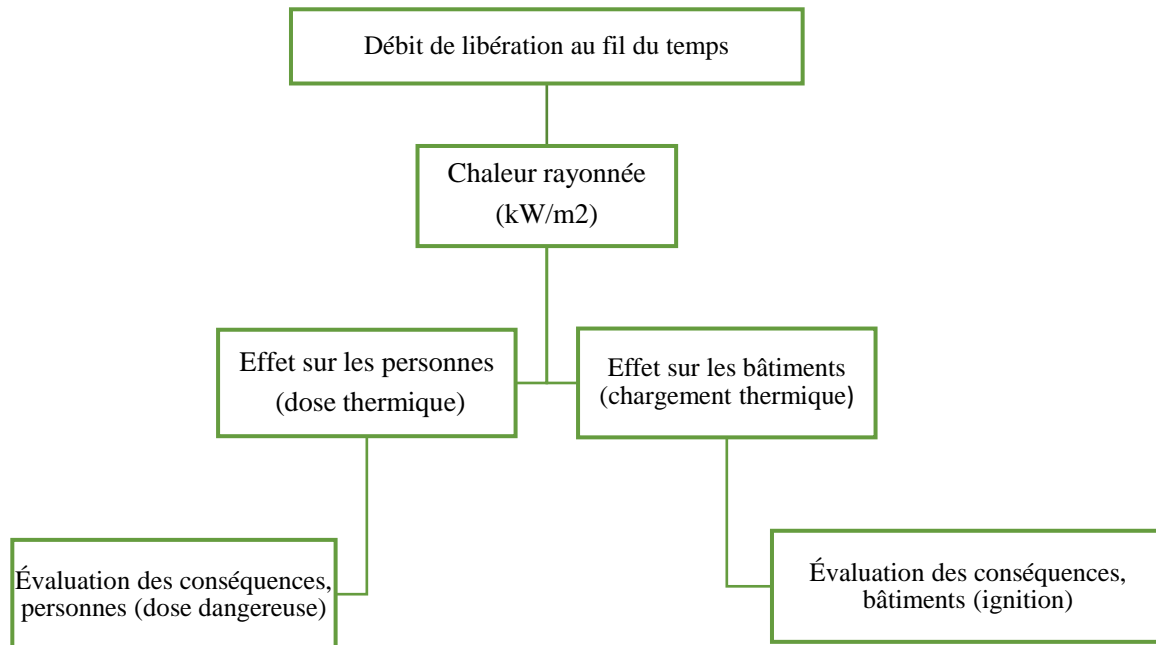


Figure II.4:Modélisation des conséquences pour un événement impliquant une ignition

Dans cette analyse des conséquences de QRA, il s'agit principalement de prédire les niveaux de rayonnement thermique qui se produisent suite à l'inflammation immédiate d'une fuite de gaz à différentes distances du pipeline sortant du bac. Par la suite de prévention sont envisageable afin de réduire le risque individuel et sociétal la prise en compte des effets de barrière de mitigation (par exemple, les personnes se trouvant à l'intérieur).

Les calculs des conséquences dépendent d'un grand nombre de paramètres variables, tels que :

- Les paramètres physiques (par exemple, taux de combustion, chaleur rayonnée) ;
- Les paramètres environnementaux (par exemple, humidité, sources d'inflammation) ;
- Les paramètres géométriques (par exemple, élévation, abri).

Les hypothèses d'entrée sont sélectionnées pour fournir une représentation aussi réaliste que possible des différents scénarios, dans les limites de la méthodologie. Certaines hypothèses sont élaborées et incluses dans un ensemble de règles (dont certaines peuvent être spécifiées par un organisme de réglementation afin d'assurer la cohérence au sein des études et entre elles).

II.2.5. Calcul des valeurs de risque :

Les paires correspondantes de probabilité et de conséquence pour chaque scénario inclus dans l'analyse sont combinées pour calculer des estimations numériques du risque par scénario; elles sont ensuite additionnées pour donner le risque cumulatif du réservoir de stockage. Le logiciel de calcul des risques (qui fait partie intégrante du logiciel mentionné ci-dessus pour la modélisation des conséquences) est utilisé pour totaliser tous les scénarios de danger et tous les emplacements touchés.

II.2.5.1. Analyse de sensibilité :

La QRA (Analyse du Risque Quantitatif) est réalisée en utilisant un ensemble de paramètres " de base" (par exemple, la fréquence de défaillance, les hypothèses concernant le déplacement des personnes, des études de sensibilité sont effectuées pour évaluer leur importance et évaluer l'influence sur les prédictions de la QRA en faisant varier certains paramètres sélectionnés.

II.2.5.2. Présentation des valeurs de risque prédites :

Les risques prédits sont présentés de la manière suivante :

- Risque individuel.
- Risque sociétal.
- Zones à risque.

Le risque individuel et le risque sociétal sont utilisés pour évaluer l'acceptabilité d'une installation par rapport aux bâtiments et infrastructures existants. Les zones à risque sont utilisées pour évaluer comment une proposition peut restreindre les futurs plans de développement des terrains adjacents à l'installation.

Voici une description de ces mesures de risque et de leur présentation :

II.2.5.2.1. Risque individuel : Le risque individuel est le risque de préjudice pour une personne individuelle, c'est-à-dire la fréquence à laquelle une personne peut être exposée à des effets potentiellement néfastes. Il peut être présenté sous la forme d'une seule valeur à un emplacement spécifique, ou sous la forme de contours montrant des lignes de risque égal. Une valeur de risque individuel représente le risque cumulatif pour cette personne en raison de tous les événements dangereux potentiels affectant cette personne.

Les contours de risque individuel sont généralement des "contours de risque par emplacement", c'est-à-dire qu'il est supposé que l'individu hypothétique passe 24 heures par jour, 365 jours par an à chaque emplacement. Cela peut être vrai pour certains résidents, mais en général, les gens changent d'endroit au moins une partie de chaque jour. Il est donc important de reconnaître que les contours de risque calculés de cette manière sont plus conservateurs que le risque réel et ne doivent pas nécessairement être interprétés comme caractérisant le risque pour un individu particulier.

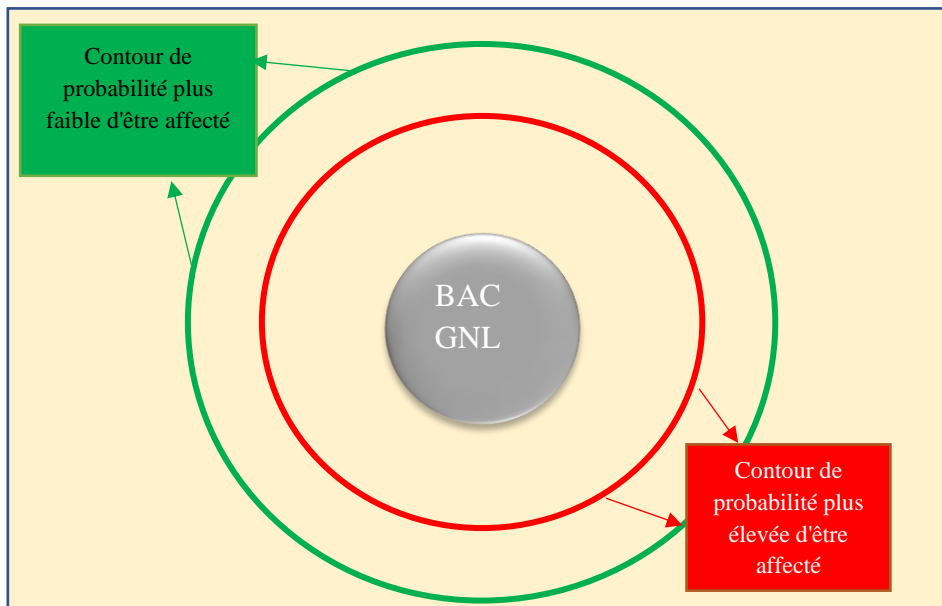


Figure II 5:Exemple de contour de risque individuel associé à un Bac GNL.

II.2.5.2.2. Risque sociétal : Le risque sociétal est une mesure de la possibilité qu'un résultat unique affecte simultanément plus d'une personne, et nécessite une estimation de l'emplacement et du nombre de personnes en danger. Encore une fois, il peut être représenté par une seule valeur numérique, mais il est généralement présenté sous forme de courbe sur un graphique FN. Le graphique trace un ensemble de points représentant des événements de plus en plus graves, en relation avec les nombres de personnes potentiellement affectées (N) et les fréquences (F) des événements.

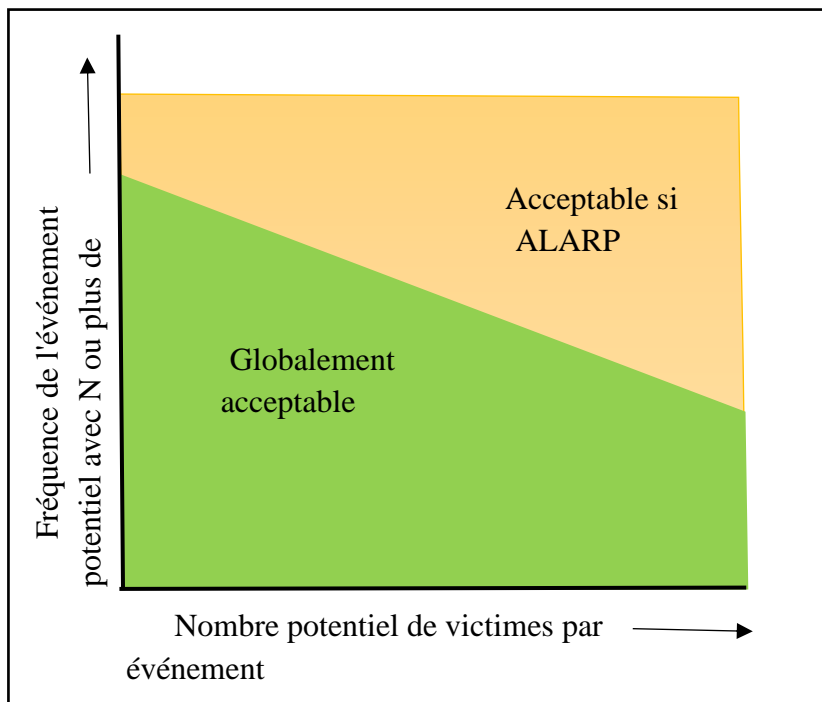


Figure II 6:Exemple F-N

II.2.5.2.3. Zones à risque : Il s'agit des endroits ou des régions spécifiques qui sont identifiés comme étant exposés à un risque particulier. Il est important de noter que l'identification et la délimitation des zones à risque peuvent varier en fonction de l'expertise, des données disponibles et des méthodologies utilisées par les organismes concernés, tels que les gouvernements, les agences de gestion des risques, et les organismes de recherche.

II.2.6. Comparaison des prédictions QRA avec les critères de risque :

Les critères de risque sont spécifiés soit dans les codes et normes pertinents, soit par l'autorité de régulation compétente. Cela comprend la distinction entre un niveau de risque qui est :

- Tolérable (c'est-à-dire négligeable et/ou globalement acceptable) ;
- Tolérable, mais les risques doivent être démontrés comme étant aussi bas que raisonnablement possible (ALARP) ;
- Intolérable.

Les prédictions QRA sont comparées aux critères afin d'évaluer l'acceptabilité ou la tolérabilité. Dans le cadre de cette comparaison, les résultats de toute étude de sensibilité et les aspects liés à l'atteinte des niveaux de risque peuvent être pris en compte.

Conclusion :

La méthodologie QRA est une approche avancée pour évaluer les risques industriels. Elle utilise des données et des modèles quantitatifs pour obtenir une vision détaillée des risques dans les installations industrielles. La QRA identifie et quantifie les scénarios de risque critiques, permettant aux établissements de prendre des mesures de prévention appropriées. Bien que la QRA ait certaines limites en raison des incertitudes liées aux données, elle offre une approche rigoureuse pour prendre des décisions éclairées en matière de sécurité et de gestion des risques. En adoptant la QRA, les organisations peuvent mieux protéger les travailleurs, l'environnement et les communautés tout en améliorant leur efficacité opérationnelle à long terme.

CHAPITRE III :
**Présentation de la zone d'étude et analyse des
scénario catastrophe.**

CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude et analyse des scénarios catastrophe.

Introduction :

Le premier chapitre met en évidence l'importance de la gestion des risques et la nécessité de suivre les réglementations afin d'appliquer une démarche d'évaluation des risques. Cette application sera précédée, logiquement par une présentation de notre cas d'étude.

Dans le contexte du complexe GNL2 ARZEW, il est essentiel de mettre en place cette approche pour garantir la sécurité et la fiabilité des opérations. Avant d'aborder l'application de l'évaluation des risques, il est important de présenter en détail le complexe GNL2 ARZEW, ses installations, ses processus et ses caractéristiques spécifiques. Cette présentation permettra de mieux comprendre les enjeux et les particularités du site, ce qui sera essentiel pour une évaluation précise et pertinente des risques. En se basant sur ces informations, il sera possible d'identifier les scénarios catastrophiques potentiels, d'évaluer leurs conséquences et d'élaborer des mesures de prévention et de protection adaptées. L'application de la démarche d'évaluation des risques au complexe GNL2 ARZEW contribuera à renforcer la sécurité globale de l'installation et à garantir la protection des travailleurs, de l'environnement et des populations environnantes.

III.1. Localisation de l'ouvrage ou l'installation dans son environnement

III.1.1. Situation géographique :

Le Complexe de liquéfaction de gaz naturel **GL2Z** est situé dans la commune de Béthioua, dans la zone industrielle d'Arzew, à environ 6 km au Sud-est de la ville d'Arzew et à 35 km au Nord-est d'Oran, wilaya d'Oran chef-lieu de la wilaya du même nom sur le golfe d'Oran (l'Oranais), située au Nord-Ouest de l'Algérie.

Le complexe **GL2Z** prolongé au Nord-Ouest par son projet jumeau **GL1Z**, l'ensemble est prolongé jusqu'au port pétrolier d'Arzew par la plateforme pétrochimique du même nom. A la limite Sud-est et inclus dans **GL2Z**, nous avons l'unité Hélios de production d'hélium et d'azote, et **COGIZ** (Société de Conditionnement et de Commercialisation des Gaz Industriels). Les agglomérations urbaines mitoyennes au projet sont, à quelques centaines de mètres au Sud, l'ancien Béthioua (St Leu) au Sud-Sud-ouest Ararsa et à l'Est, sur le prolongement littoral, la station de dessalement **KAHRAMA** et au-delà le complexe **GNL3**. [15]

Tableau III. 1 : Localisation et contiguïtés du COMPLEXE GL2Z

Wilaya	Oran
Commune	Béthioua
Superficie	72 hectares
Délimitation : Au nord	La mer Méditerranée
Délimitation : Au sud	Route principale (ancienne route nationale) qui dessert la zone et l'ancienne

	agglomération de Béthioua au sud de cette route
Délimitation : A l'est	KAHRAMA et GL3Z
Délimitation : A l'Ouest	Le Complexe GL1Z
Dessertes et accessibilités	L'ensemble des unités de la plateforme pétrochimique de Béthioua et Arzew sont desservies par l'ancienne route nationale Mostaganem Oran qui est actuellement incluse au périmètre de sécurité de la zone industrielle et remplacée par une nationale 2+2 qui donne accès au complexe à travers quatre postes P1, P2, P3 et P4, et deux portes de secours S1 et S2.
Coordonnées géographiques du site	LATITUDE : 35°48'42.38"N LONGITUDE : 0°15'35.22"O

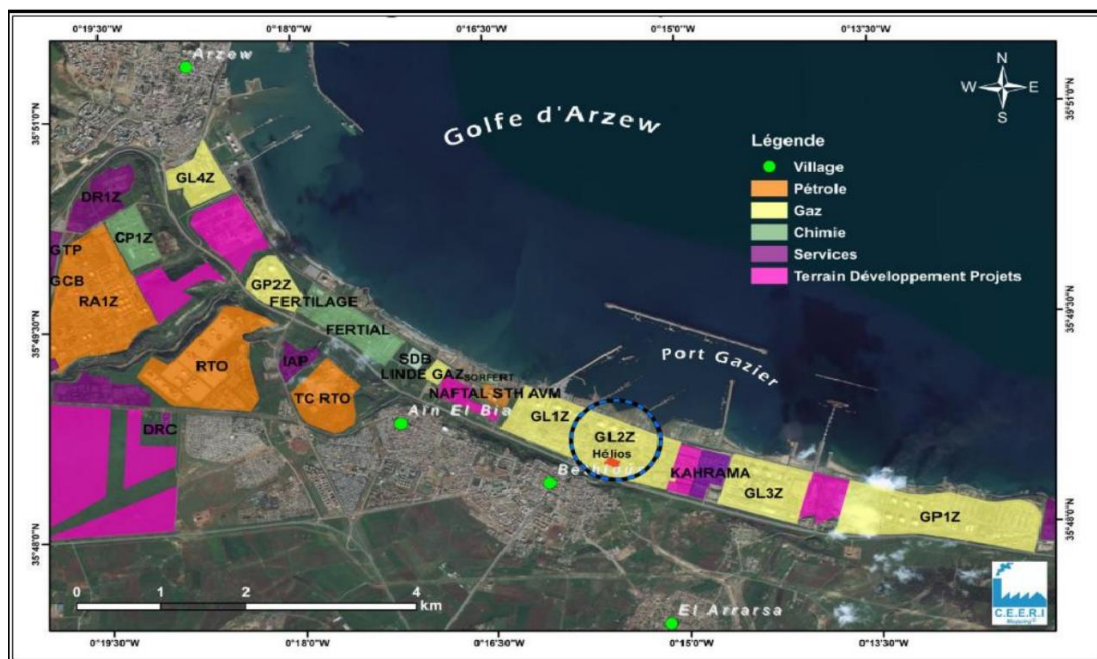


Figure III. 1: Localisation du complexe GL2Z dans son environnement

III.1.2. Environnement physique :

La wilaya d'Oran s'étend sur une superficie de 2.114 km². Elle est délimitée territorialement selon la Loi N° 84/09 du 04 Février 1984 portant Organisation Territoriale des Wilaya est comme suit :

- Au Nord par la mer Méditerranée ;
- Au Sud-est par la wilaya de Mascara ;
- A l'Ouest par la wilaya d'Ain Témouchent ;

- A L'Est par la wilaya de Mostaganem ;
- Au Sud par la wilaya de Sidi Bel Abbés

Le site peut être divisé en 4 grandes zones :

- Au Nord Est : la zone stockage et chargement de GNL.
- A l'Est, en partie médiane : la zone production et utilités (dessalement ...).
- A l'Ouest : zone occupée par les torches, le parc déchets et stockage produits chimiques et des installations annexes (école à feu, ...).
- Au Sud, les bâtiments des services administratifs et techniques et les locaux sociaux, ainsi que le bâtiment de la société HELIOS.[15]

III.1.3. Environnement humain :

Le pôle industriel d'Arzew englobe les communes d'Arzew, d'Ain El Biya, de Bethioua et de Mers El Hadjadj.

Le Complexe de liquéfaction de gaz naturel GL2Z est situé dans la commune de Béthioua, dans la zone industrielle d'Arzew, à environ 6 km au Sud-Est de la ville d'Arzew et à 35 km au Nord-Est d'Oran, wilaya d'Oran chef-lieu de la wilaya du même nom sur le golfe d'Oran (l'Oranais), située au Nord-Ouest de l'Algérie.

Le tableau suivant présente la démographie des agglomérations les plus proches du site.[15]

Tableau III. 2:la démographie des agglomérations les plus proches du site.

Agglomération	Nbr d'habitants
Arzew	93 483 habitants
Bethioua	18 215 habitants
Ain El Bia	32 611 habitants
Mers El Hadjadj	14 167 habitants

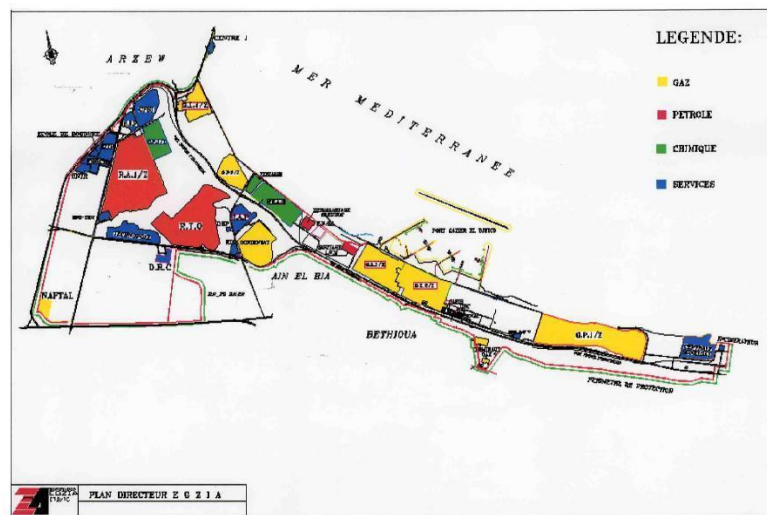


Figure III. 2: Situation géographique du complexe GL2/Z

III.1.4. Production du complexe :

Le gaz naturel qui assure la charge du complexe est transporté par pipeline 42'' et distribué vers les 6 trains de liquéfaction. Le gaz, après avoir été démercurisé, est, d'abord, dirigé vers la section décarbonatation où il est purifié par une solution aqueuse de MEA (mono-éthanol-amine), afin d'enlever les traces de dioxyde de carbone. Le gaz est ensuite refroidi à travers un échangeur de propane puis acheminé vers la section déshydratation. Celle-ci permet d'éliminer l'eau contenue dans le gaz, grâce à un lit de tamis moléculaires, et de réduire sa teneur en humidité.

Vient ensuite la première étape du refroidissement par l'intermédiaire d'une boucle propane. Il est ensuite dirigé vers une colonne de séparation.

Les produits de fond de colonne sont fractionnés successivement au travers du dééthaniseur, du dépropaniseur et du débutaniseur. (Annexe B)

Les gaz produits en tête de colonne sont, quant à eux, envoyés vers l'échangeur principal pour être liquéfiés à l'aide d'une boucle propane et d'une boucle au MCR (procédé APCI dit à cascade incorporée). Enfin, ce gaz liquéfié est acheminé vers les stockages de GNL pour être ensuite expédiés par méthaniers.

La zone de stockage du complexe GL2 Z comprend donc :

- 3 bacs de stockages de GNL d'une capacité de 100 000 m³ « 2101-FA/FB/FC ».
 - 2 bacs de stockage de gazoline d'une capacité de 15 000 m³ « 2130-FA/FB ».
 - 5 pompes de chargement du GNL « 2101-JA/B/C/D/E »
 - 2 pompes de chargement de gazoline « 2140-J/JA »
 - 2 pompes de circulation pour la mise en froid de ligne de chargement « 2103-J/JA »
 - Une pompe de transfert inter-bacs ou inter-complexe « 2102-J ».
 - Un ballon de désurchauffeur de gaz d'évaporation du GNL « 2108-F » (ballon d'aspiration des compresseurs).
 - 5 compresseurs de gaz d'évaporation du GNL « 2109-JA/JB/JC/JD/JE ».
 - Deux pompes « 2108-J/JA » pour la récupération des liquides du ballon d'aspiration.
 - Un réchauffeur de vapeur de GNL « 2109-C ».
- [15]

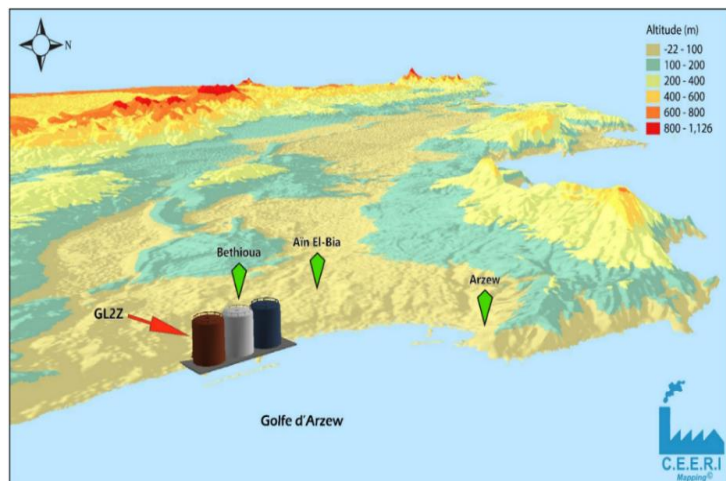


Figure III. 3: Carte hypsométrique de la zone d'étude GL2

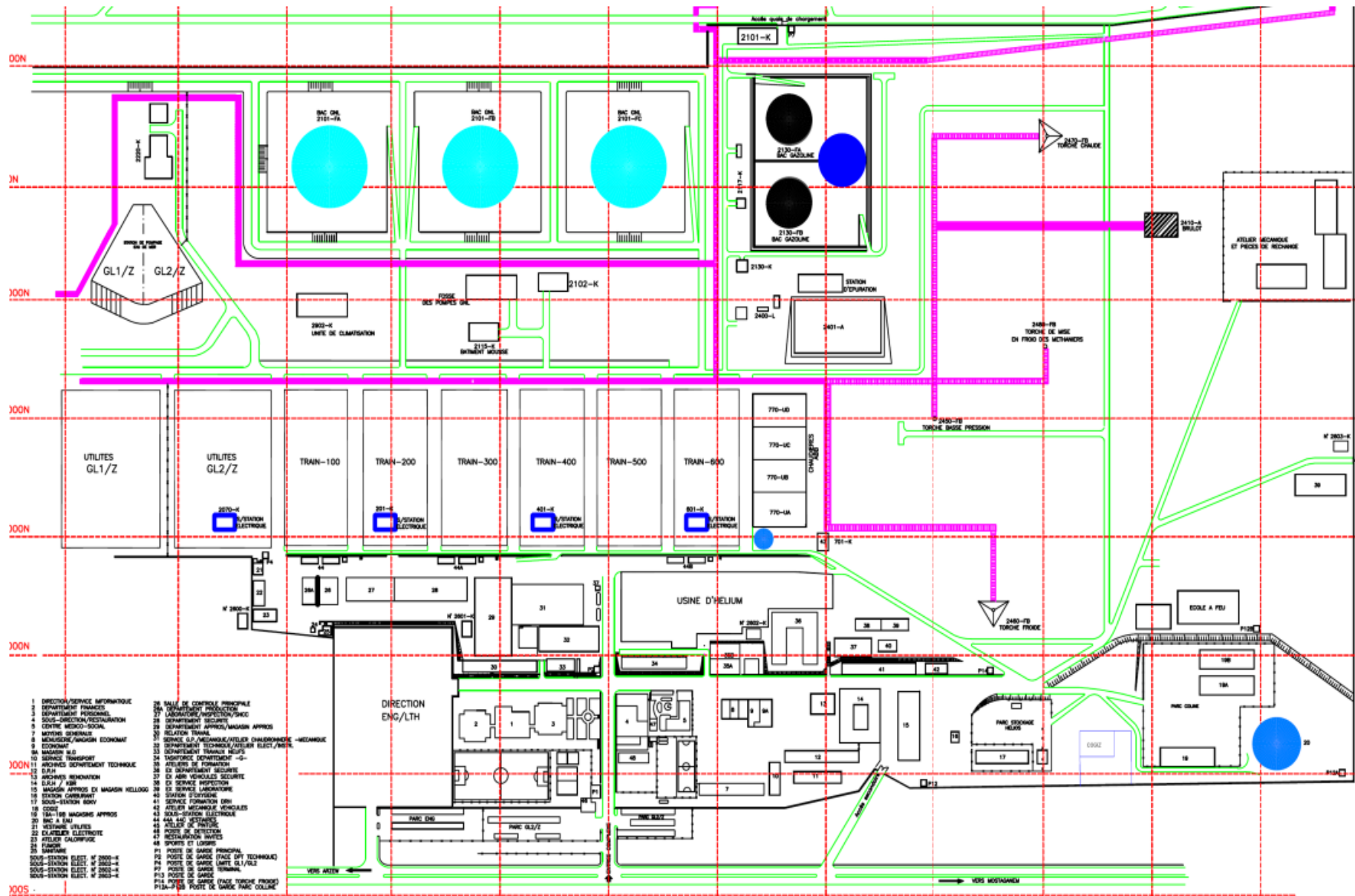


Figure III. 6: Carte hypsométrique de la zone d'étude GL2Z

III.1.5. Stockage du GNL :

Le GNL produit par les six trains passe dans une ligne 10" qui lui transfère vers un collecteur du GNL 20". Au-delà de ce collecteur 3 courants sont prélevés, chacun pour le chargement d'un bac avec trois vannes motorisées MOV-2015A/B/C pour chaque bac, ces courants sont raccordés avec des lignes de 42" qui se divisent en quatre lignes de 24" pénétrants dans les fonds des bacs, chacune a une vanne intérieure dans le bac s'appelle ITV. Le remplissage des bacs peut s'effectuer soit par le haut par la MOV-2011 ou par le bas par la MOV-2014, une ligne est prélevée pour faire le mis en froid du bac par pulvérisation.

Un transfert inter-bacs est réalisé afin d'éviter le phénomène Roll over dans les bacs de stockage. Pour cela une pompe de transfert « 2102-J » a été installée, cette pompe aspire du collecteur d'aspiration du GNL et refoule vers la ligne de transfert 18" qui se divise pour alimenter chaque bac en GNL par les MOV-2010-A/B/C.

En cas d'indisponibilité de la pompe de transfert, ce dernier peut s'effectuer par les pompes de chargement à l'aide la vanne 180 qui peut s'ouvrir pour laisser un passage de refoulement des pompes de chargement (ligne 30") vers la ligne de transfert inter-bac 18".

Le transfert inter-complexe entre le complexe GL2Z et le complexe GL1Z et aussi possible que ce soit pour le GNL liquide ou pour les vapeurs. La ligne de refoulement des pompes de chargement 32" se divise en deux lignes de 30", l'une des deux est installée pour réaliser le transfert du GNL inter-complexe, elle est aussi liée avec la ligne de transfert 18" pour faire un passage dans le sens opposé c'est-à-dire ouvrir la vanne 180 pour diriger le courant de refoulement de la pompe de transfert de la ligne 18" inter-bac vers la ligne inter-complexe 30".[15]



Figure III. 7: bacs de stockage de GNL /GNL2Z

III.1.5.1. Construction des bacs :

Pour contenir des quantités importantes du GNL et conserver sa température à -162°C , les bacs de stockage du GNL sont construits à deux parois. La paroi intérieure est en acier allié avec le nickel (9% de nickel) et la paroi extérieure est en acier au carbone, les dômes des bacs est en acier au carbone, ils sont protégés des vapeurs froides par des ponts en aluminium calorifugés par la perlite.

L'espace annulaire entre les deux parois est rempli de la perlite qui sert de calorifuge, la surface extérieure de la paroi interne et la surface intérieure de la paroi externe sont couvertes d'une couche de fibre de verre pour protéger les parois et la perlite.

La plateforme du bac est construite en béton sur des plusieurs petits piliers, les bacs sont entourés par des cuvettes de rétention pour contenir les quantités du GNL stockées en cas d'une fissure dans les bacs.

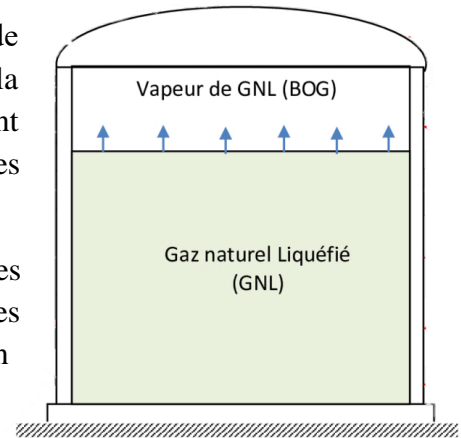


Figure III. 8: Schéma du bac de stockage

III.1.5.2. Sécurité des bacs et instruments de mesure :

Les trois bacs GNL sont protégés contre la surpression et la dépression par des soupapes et par les réactions des tableautistes qui peuvent intervenir en cas d'une perturbation de la pression qui peut causer une explosion du bac en cas de la surpression ou une implosion (déformation du bac) en cas d'une dépression.

- Sept (7) soupapes sont installées pour réagir en cas d'une dépression (5 soupapes case vide et 2 soupapes case vide incorporées avec 2 soupapes pilotées).
- Deux (2) soupapes pilotées et une autre magnétique qui peuvent s'ouvrir en cas d'une surpression.
- Une ligne du gaz naturel provenant de la zone d'utilités est installée afin d'assurer une alimentation des bacs en GN en cas de la dépression.

La pression normale dans les bacs est de 1055mb absolue. En cas d'une élévation de la pression à 103 mb effective les deux soupapes pilotées se crachent automatiquement, si la pression continue à augmenter jusqu'à 114 mb la soupape magnétique s'ouvre.

En cas d'une chute de la pression dans les bacs à 18 mb effective il y aura un déclenchement des compresseurs et ouverture de vanne PV-2032 (vanne commune de tous les bacs) du GN pour préparer le gaz à intervenir par gonflage à 8 bars. A 14 mb la PV-2004 (A/B/C) doit s'ouvrir pour laisser le gaz à passer dans le bac concerné si cette procédure n'est pas suffisante et la dépression atteint 5 mb toutes les soupapes case vide se crachent pour laisser l'air atmosphérique à entrer pour éviter la déformation du bac.

Comme instrument de mesure dans les trois bacs 100 thermocouples sont installés du bas au haut de chaque bac pour la mesure de température qui nous indique l'apparition des différentes couches et par conséquent le phénomène Roll over plus le SI (scientific instrument) peut être immergé pour indiquer : la température, la densité et le niveau dans le bac.[15]

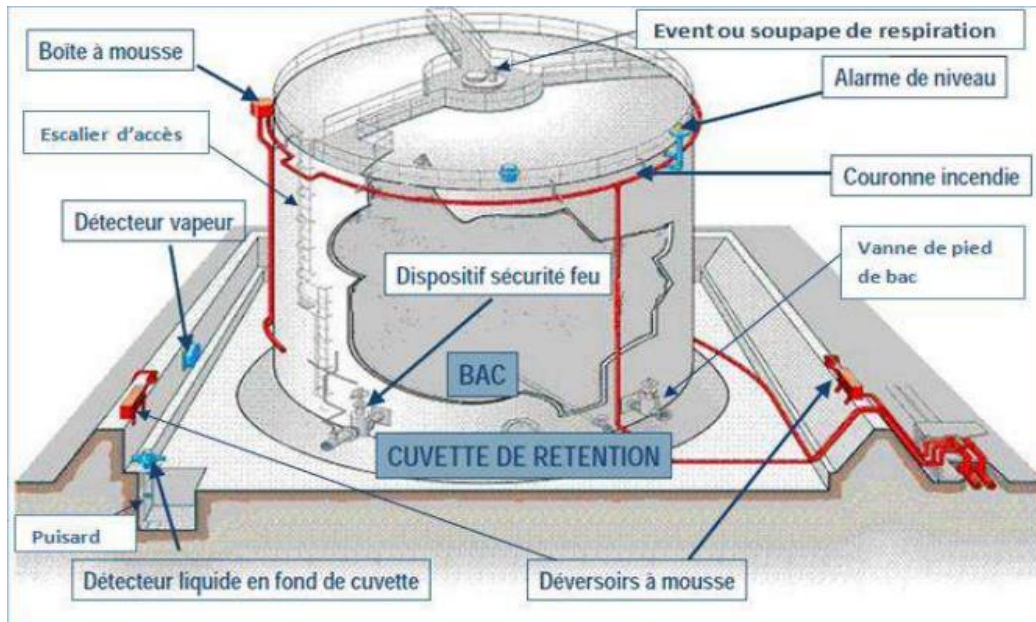


Figure III. 9: System sécurité du bac

Conclusion :

En conclusion, la mise en place d'une approche d'évaluation des risques au complexe GNL2 revêt une importance capitale pour assurer la sécurité et la fiabilité des opérations. Avant de pouvoir appliquer cette démarche, il était essentiel de présenter en détail le complexe, ses installations en basant sur notre cas d'étude « Bac de stockage GNL » et ses caractéristiques spécifiques. Cette présentation nous a permis de mieux appréhender les enjeux et les particularités du site, ce qui est essentiel pour une évaluation précise et pertinente des risques. En se basant sur ces informations, il devient possible d'identifier les scénarios catastrophiques potentiels, d'évaluer leurs conséquences et de mettre en place des mesures de prévention et de protection adaptées. L'application de cette démarche contribuera ainsi à renforcer la sécurité globale de l'installation, garantissant la protection des travailleurs, de l'environnement et des populations environnantes. En somme, la gestion des risques et le respect des réglementations sont des éléments clés pour assurer la sûreté du complexe GNL2 Z et prévenir toute situation préjudiciable.

LA PARTIE

PRATIQUE : CHAPITRE IV : Evaluation du
QRA

CHAPITRE IV : Evaluation du QRA

Introduction :

Le chapitre IV présent vise à examiner l'évaluation QRA (Quantitative Risk Assessment) en tant qu'approche méthodologique essentielle pour évaluer et quantifier les risques industriels associés aux installations de traitement et de stockage. Cette évaluation approfondie est réalisée en utilisant des outils d'analyse couramment utilisés tels que : HAZOP (Hazard and Operability Study) et la modélisation par PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools) et SAFETI (Safety Analysis Framework for the Evaluation of Technology and Installation) pour une modélisation plus détaillée et évaluation de risque (sociétal, individuel).

Dans ce chapitre, nous explorerons les concepts et les étapes clés de l'évaluation de QRA en intégrant les méthodologies de HAZOP et de la modélisation par PHAST et SAFETI. Nous mettrons en évidence l'importance de cette approche dans la gestion des risques industriels et son application pratique pour garantir la sécurité et la protection des travailleurs, de l'environnement et des communautés avoisinantes.

IV.1. Application de la méthode HAZOP sur la section stockage GNL :

IV.1.1. Choix de la matrice :

Pour mener à bien notre étude de danger, nous avons utilisé la matrice spécifique définie par SONATRACH, conformément au référentiel d'étude de danger de 2019. Cette matrice, adaptée aux particularités du complexe GNL2Z, nous permet d'évaluer de manière approfondie les risques associés au bac de stockage de Gaz Naturel Liquéfié (GNL). En utilisant cette matrice, nous sommes en mesure d'identifier les différents scénarios de risque, d'évaluer leur criticité et de déterminer les mesures préventives et de protection nécessaires pour garantir la sécurité et la fiabilité du système. Cette approche rigoureuse nous permettra d'obtenir des résultats précis et fiables dans notre évaluation des risques liés au GNL dans le cadre du complexe GNL2Z."

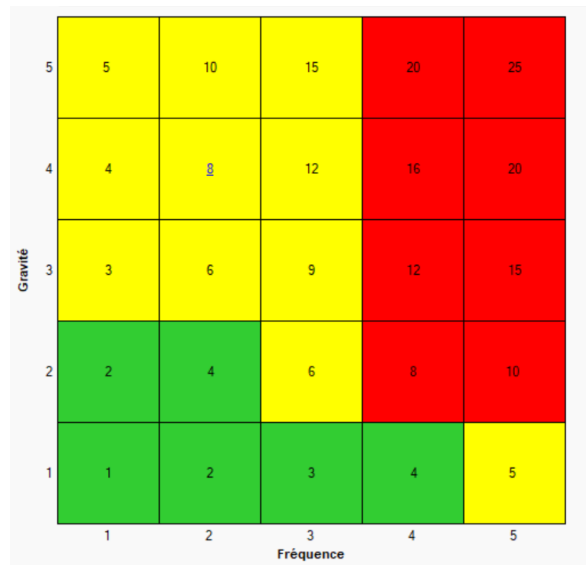


Figure IV. 1:-La matrice des risques.

Tableau IV. 1:Description de la gravité et la probabilité

	Gravité	Probabilité
1.	Modéré	Événement courant
2.	Sérieux	Événement probable
3.	Important	Événement improbable
4.	Catastrophique	Événement Très Improbable
5.	Désastreux	Événement possible mais extrêmement Peu probable

Dans notre matrice de risques, nous avons défini trois niveaux de risque en fonction de leurs positions :

Zone rouge : Cette zone indique un risque élevé avec des accidents considérés comme « inacceptables », susceptibles de causer des dommages graves aux personnes à l'intérieur et à l'extérieur de GNL2Z.

Zone jaune « ALARP » : Les scénarios situés dans cette zone nécessitent une approche d'amélioration continue visant à réduire le risque à un niveau aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des connaissances, des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation (ALARP - As Low As Reasonably Practicable). Des mesures supplémentaires peuvent être mises en place pour réduire davantage le risque, dans la mesure où elles sont économiquement viables.

Zone verte : Cette zone indique un risque plus faible avec des accidents considérés comme « acceptables ». Le risque est maîtrisé dans cette zone grâce aux mesures de prévention et de protection déjà mises en place.

En utilisant ces trois niveaux de risque définis dans la matrice, nous serons en mesure de classifier les différents scénarios de risques identifiés dans le cadre de notre étude de danger, en mettant l'accent sur les actions nécessaires pour minimiser les risques et garantir un niveau de sécurité adéquat dans le complexe GNL2Z.

IV.1.2. Élaboration d'un tableau HAZOP :

Le présent tableau HAZOP, réalisé par le logiciel d'analyse des risques PHA (voir Annexe C), vise à évaluer les risques potentiels associés au bac de stockage de Gaz Naturel Liquéfié (GNL) situé dans le complexe GNL2Z. Le GNL est un combustible inflammable et cryogénique qui nécessite des mesures de sécurité rigoureuses pour assurer une gestion appropriée des risques. La méthode HAZOP est utilisée pour identifier les déviations potentielles, leurs causes, les conséquences associées, ainsi que les mesures de prévention et de protection nécessaires pour atténuer les risques. Ce tableau HAZOP fournira une analyse détaillée des différents scénarios et déviations possibles, ainsi que des recommandations appropriées pour assurer la sécurité et la fiabilité du système de stockage de GNL. Il servira de guide précieux pour le personnel impliqué dans l'exploitation, la maintenance et la gestion de ce bac de stockage de GN

Tableau IV. 2: HAZOP partie 01

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 1. plus de pression

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
1. GN chaud en provenance d'un train	1. Montée en pression	3	3	9	1. Soupape magnétique	
	2. Réchauffement du GNL					
	3. Risque d'éclatement du bac					
2. Pression/débit élevée en provenance de l'unité	1. Augmentation du niveau du fluide à l'intérieur du réservoir	5	4	20	1. Déclencher la vanne d'arrêt d'urgence	
	2. Explosion -Jet Fire -BLEVE					

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 1. plus de pression

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
3. Déclenchement des compresseurs Boil Off	1. Réchauffement du GNL.	3	3	9	1. Soupape RV2101 FA-1/FA-2	
	2. Risque d'éclatement du bac				2. Soupape magnétique	
4. PDV2004 Bloquée ouverte	1. Montée en pression.	3	3	9	1. Liaison vers Fuel Gas et vers torche	
	2. Réchauffement du GNL.					

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 1. plus de pression

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
5. Obstruction par des corps étrangers dans la voie de circulation.	1. Augmentation de la pression dans la ligne de circulation au-delà des seuils de sécurité	2	2	4	1. Filtres ou tamis installés dans la ligne de circulation pour piéger les corps étrangers	1. Effectuer une inspection visuelle régulière de la ligne de circulation pour détecter toute présence de corps étrangers
	2. Risque de rupture de la ligne de circulation en raison de la surpression				2. Alarmes de débit anormal pour détecter une réduction soudaine du débit	

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 1. plus de pression

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
	3. Réduction du débit de GNL à travers la ligne				3. Procédures de nettoyage régulières pour éliminer les dépôts et les corps étrangers 4. Soupape de décharge de pression installée sur la ligne de circulation pour évacuer l'excès de pression	
6. Mauvaise disposition du circuit de retour vapeurs méthanier	1. Accumulation de vapeurs méthanier dans des zones non prévues, telles que des espaces confinés	4	1	4	1. Systèmes de ventilation adéquats pour éliminer les vapeurs méthanier des zones non désirées	4. Mettre à jour la conception du circuit de retour vapeurs méthanier pour s'assurer qu'il est correctement disposé et

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 1. plus de pression

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
						en conformité avec les normes de sécurité
	2. ·Risque d'explosion ou d'incendie				2. Systèmes de ventilation adéquats pour éliminer les vapeurs méthanier des zones non désirées	5. Effectuer des inspections régulières des espaces confinés pour détecter toute accumulation de vapeurs méthanier
	3. Perturbation du fonctionnement normal du circuit de retour vapeurs méthanier				3. Capteurs de gaz pour détecter les concentrations dangereuses de vapeurs méthanier	

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 1. plus de pression

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
7. Défaillance de vanne HV2060A bloquée ouverte	1. Pulvérisation GNL entraînant montée en pression du bac.	4	3	12	1. Indicateur position en SDC Soupape RV2101 FA-1/FA-2 2. Soupape magnétique	6. Des tests de fonctionnement périodiques des vannes pour s'assurer de leur bon état de fonctionnement et de leur fermeture hermétique 7. Un système de surveillance en temps réel pour détecter les anomalies de pression et de débit dans le système de circulation du GNL
	2. Risque d'éclatement du bac.					
	3. Risque d'incendie ou d'explosion					

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 1. plus de pression

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
	4. Possibilité de surcharge des équipements connectés au système de circulation du GNL					
8. Vanne manuelle sur retour gaz oubliée fermée	1. Accumulation de pression dans le système de retour gaz	2	4	8	1. Dispositifs d'indication visuelle ou de rappel pour signaler l'état de la vanne manuelle	8. Mettre en œuvre des protocoles de communication clairs pour informer tout le personnel des vannes manuelles fermées ou ouvertes afin d'éviter des erreurs lors des opérations suivantes
	2. Augmentation de la pression dans le circuit de gaz				2. Dispositifs d'indication visuelle ou de rappel pour signaler l'état de la vanne manuelle	
	3. Perturbation du processus de circulation du gaz					

Tableau IV. 3:HAZOP partie 02

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 2. Moins de pression

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
1. PV2024 trop ouverte	1. Baisse de pression dans le système de gaz	2	3	6	1. ·Capteurs de pression pour surveiller en temps réel la pression dans le système de gaz	9. ·Former le personnel sur l'importance de maintenir la vanne PV2024 correctement réglée et sur les conséquences d'une ouverture excessive
	2. ·Risque de dysfonctionnement des équipements dépendant d'une pression adéquate du gaz				2. ·Vannes de régulation automatiques pour maintenir une pression constante	10. Mettre en place un système d'alarme visuel et sonore pour signaler les baisses de pression anormales et

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 2. Moins de pression

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
	3. Possibilité de déséquilibre dans le processus de régulation de pression				3. Système d'alarme pour signaler les baisses de pression anormales	permettre une intervention rapide
2. Faible pression en provenance des pompes	1. Dommages à la pompe en raison de la faible pression d'aspiration	1	2	2	1. ·Capteurs de pression	11. Mettre en place un programme de maintenance préventive pour s'assurer du bon fonctionnement des pompes et des équipements associés
					2. Pompes de secours /pompes de remplacement	
3. Démarrage du compresseur BOG de réserve	1. La pression du collecteur BOG et du réservoir de GNL baisse.	2	1	2		12. ·L'opérateur vérifie le point de consigne du régulateur maître des compresseurs BOG.

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 2. Moins de pression

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
						13. Arrêter le compresseur BOG de réserve qui est entré en fonction accidentellement.
4. Dysfonctionnement du contrôle de pression des compresseurs	1. Chute de pression dans le réservoir	1	3	3	1. Alarme basse pression.	

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 2. Moins de pression

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
					2. Vannes de régulation automatiques pour maintenir une pression constante	14. Maintenir des registres de suivi de la performance des compresseurs et des interventions de maintenance effectuées
5. Défaillance des indicateurs de contrôle	1. Pas de détection de baisses pression anormales ou les variations de pression rapides	1	3	3	1. Systèmes de surveillance redondants pour la pression	15. Effectuer des vérifications régulières et des tests de fonctionnement des indicateurs de contrôle pour s'assurer de leur bon état de fonctionnement
					2. Indicateurs de pression de secours	

Tableau IV. 4:HAZOP partie 03

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 3. plus de débit

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
1. Plus d'écoulement en provenant de l'unité de production	1. ·Perte de contrôle du débit	3	2	6	1. ·Capteurs de débit	16. Mettre en œuvre un système de surveillance automatique pour détecter les variations de débit anormales et déclencher des alarmes pour une intervention rapide
	2. ·Surcharge des équipements du système de stockage				2. vannes de régulation automatiques	17. Maintenir des registres de suivi du débit de gaz entrant et des interventions de maintenance effectuées
	3. ·Augmentation de la pression dans le réservoir					

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 3. plus de débit

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
2. Plus d'écoulement en provenant des pompes	1. Augmentation de la pression dans la conduite	4	2	8	1. Contrôle de niveau Dynamique lente de remplissage LSHH2001 (déclenche MOV2013 ou MOV2014 ou MOV2011)	
	2. Feu de torche due a une fuite au niveau de la conduite				2.	

Tableau IV. 5:HAZOP partie 04

Node: 1. Bac de stockage GNL

Déviations : 4. Moins / pas de débit

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
1. Faible/Pas de débit en provenance de l'unité de production	1. ·Déséquilibre dans les niveaux de pression et de température du système	1	2	2	1. Vannes de secours ou de contournement pour rediriger le débit	
	2. ·Evaporation puis une surpression					
	3. Réduction/arrêt du débit de gaz dans le système de stockage					
2. Défaillance des pompes de circulation	1. Diminution/absence du gaz disponible pour l'utilisation ou l'acheminement	1	3	3	1. Capteurs de débit	

Tableau IV. 6: HAZOP partie 05

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 5. plus de température

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
1. Haute température depuis les unités de traitement en amont	1. ·Augmentation de la température du gaz dans le système de stockage	5	3	15	1. ·Capteurs de température	18. ·Mettre en place des échangeurs de chaleur ou des systèmes de refroidissement pour abaisser la température du gaz en amont du système de stockage si elle dépasse les limites de conception
	2. ·Risque de dépassement des limites de température de conception des équipements				2. ·Dispositifs de refroidissement ou de régulation de température	
	3. ·Possibilité de détérioration des matériaux et des composants sensibles à la chaleur				3. Système d'alarme	

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 5. plus de température

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
	4. ·Augmentation des pressions internes du système de stockage			20		
	5. Incendies Explosion					
	6. UVCE, Feu de nappe					
2. Augmentation de la pression dans le bac	1. ·Augmentation de la pression interne du réservoir	5	4	20	1. ·Capteurs de pression	
	2. ·Risque de dépassement des limites de pression de conception du réservoir				2. Dispositifs de régulation de pression	

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 5. plus de température

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
	3. ·Possibilité de défaillance structurale du réservoir			15		
	4. ·Augmentation des risques de fuites ou d'explosions					
	5. ·Explosion -Jet Fire -BLEVE					
	6. Évaporation élevée du fluide					
3. Explosion ou incendie à l'extérieur de l'installation	1. ·Augmentation de la température ambiante autour de l'installation de stockage de GNL	5	3	15		19. Système de déluge performant, test périodique de ce système.

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 5. plus de température

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
	2. ·Risque de transfert de chaleur excessif vers l'installation de stockage			10	1. ·Systèmes de détection d'incendie	
	3. ·Possibilité de détérioration des matériaux et des équipements sensibles à la chaleur					
	4. Augmentation du risque d'incendie ou d'explosion à l'intérieur de l'installation					
4. Température élevée en provenance des pompes	1. ·*Dommages possible à la pompe au démarrage	5	2	10	1. ·Dispositifs de refroidissement	20. ·Système de déluge

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 5. plus de température

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
	2. ·Augmentation de la pression			12	2. capteurs de température	21. ·Vérifier les spécifications des pompes pour s'assurer qu'elles sont adaptées aux conditions de température requises
	3. ·Explosion -Jet Fier - BLEVE - UVCE					22. Effectuer des inspections régulières des pompes pour détecter les signes de surchauffe ou de défaillance potentielle
5. Le refroidissement du boîtier de la	1. ·Augmentation de la température du boîtier de la pompe	4	3	12	1. ·capteurs de température	23. ·Vérifier que le système de refroidissement

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 5. plus de température

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
pompe n'est pas effectué.						de la pompe est correctement dimensionné et en bon état de fonctionnement
	2. ·Risque de surchauffe des composants internes de la pompe				2. ·Système de refroidissement	24. Vérifier les indicateurs de température du boîtier de chaque pompe.
	3. ·Possibilité de défaillance prématurée de la pompe				3. Système d'alarme	
	4. Augmentation des risques de fuite,					

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 5. plus de température

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
	d'incendie ou d'explosion					

Tableau IV. 7:HAZOP partie 06

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 6. Moins de température

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
1. Moins de température provenant de la colone de liquéfaction	1. ·Gel du sol et dommage possible aux fondations	3	2	6	1. ·systèmes de chauffage d'appoint	25. ·Vérifier régulièrement le bon fonctionnement du système de chauffage de la dalle et effectuer des inspections périodiques
	2. ·Diminution de la température de la dalle de stockage				2. ·Capteurs de température	
	3. ·Risque de formation de givre ou de condensation sur la dalle					

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 6. Moins de température

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
	4. Possibilité de détérioration des matériaux de la dalle en raison de la température basse				3. Système d'alarme pour signaler les variations de température anormales de la dalle	26. Mettre en œuvre un système de surveillance automatique pour détecter les variations de température anormales de la dalle et déclencher des alarmes pour une intervention rapide
	5. Risque de dommages aux équipements sensibles au froid					

Tableau IV. 8: HAZOP partie 07

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 7. plus de niveau

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
1. Débit élevé en provenance de l'unité de production	1. ·Augmentation du niveau de remplissage du réservoir de stockage de GNL	4	3	12	1. ·capteurs de niveau pour surveiller en temps réel le niveau de remplissage du réservoir	27. ·Vérifier régulièrement le fonctionnement des systèmes de surveillance et de contrôle de niveau pour s'assurer de leur bon état de fonctionnement

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 7. plus de niveau

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
	2. ·Risque de débordement du réservoir				2. Systèmes de contrôle de débit pour réguler le débit en provenance de l'unité de production	28. Mettre en place un programme de maintenance préventive pour les capteurs de niveau, les vannes de régulation et les équipements associés
	3. ·Possibilité de dommages structurels au réservoir ou aux équipements associés				3. Système d'alarme pour signaler les niveaux de remplissage anormalement élevés du réservoir	
	4. Augmentation des risques de fuite, d'incendie ou d'explosion					

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 7. plus de niveau

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
2. Débit élevé en provenance des pompes	1. ·Endommagement des pompes	3	3	9	1. ·vannes de régulation pour contrôler le débit des pompes	29. · Mettre en place un système de contrôle automatique du débit des pompes pour maintenir des conditions de fonctionnement sûres
	2. Risque de débordement du réservoir				2. Capteurs de niveau	

Tableau IV. 9:HAZOP partie 08

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 8. moins de niveau

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
1. Débit faible en provenance de l'unité de production	1. ·Baisse de pression dans le système	2	3	6	1. ·systèmes de contrôle de débit	30. Mettre en place un programme de maintenance préventive pour les équipements de l'unité, en veillant à leur bon état de fonctionnement
	2. ·Réduction de la capacité de fourniture de GNL à d'autres processus ou systèmes				2. système d'alarme	
	3. Évaporation du liquide puis une surpression					

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 8. moins de niveau

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
2. Défaillance des indicateurs de contrôle	1. ·Risque de niveaux de remplissage insuffisants non détectés	1	3	3	1. ·Installation de plusieurs indicateurs de niveau pour fournir une redondance et une fiabilité accrues	31. ·Effectuer des inspections régulières des indicateurs de contrôle et les entretenir selon les recommandations du fabricant
	2. ·Possibilité de dépassement des limites inférieures de sécurité du réservoir					32. ·Mettre en place des procédures de vérification périodique de la calibration et du bon fonctionnement des indicateurs de contrôle
	3. ·Risque d'opérations inexactes et de mauvaise prise de décision					

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 8. moins de niveau

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	RR		
	4. Perte d'indication					33. Former le personnel sur les procédures de surveillance manuelle du niveau de remplissage en cas de défaillance des indicateurs de contrôle

Tableau IV. 10:HAZOP partie 09

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 9. Fuite

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
1. Fuite de GNL dans le réservoir interne	1. Une surpression possible dans l'espace annulaire	3	3	9	1. Système de détection de fuite de gaz installé sur le réservoir interne	2. Effectuer des inspections régulières du réservoir pour détecter toute fuite potentielle
	2. Formation d'une atmosphère explosible à l'intérieur du réservoir				2. Double enveloppe du réservoir pour contenir les fuites	34. Mettre en place des protocoles de communication et d'évacuation en cas de fuite majeure
	3. Possibilité de formation de glace sur les équipements adjacents				3. Surveillance en continu de la pression et de la température du réservoir	

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 9. Fuite

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
				16	4. Alarme de haute pression	35. Mettre en place un système de ventilation adéquat pour éliminer les gaz inflammables
2. Fuite dans la ligne de chargement et les vannes de régulation	1. Dispersion du fluide puis une chute de pression	4	4	16	1. Systèmes de détection de fuites pour surveiller en temps réel les lignes de chargement et les vannes de régulation	36. Effectuer des inspections régulières des lignes de chargement et des vannes de régulation pour détecter les fuites potentielles
	2. UVCE - Feu de torche				2. Système de ventilation adéquat pour disperser les vapeurs de GNL en cas de fuite	

Node: 1. Bac de stockage GNL

Deviation: 9. Fuite

Cause	Consequence	Before Risk Reduction			Effective Safeguards	Recommendations
		G	F	R		
	3. Perturbation du processus de chargement du GNL				3. Vannes d'isolement pour isoler rapidement les sections défectueuses et minimiser les fuites	37. Mettre en place un programme de maintenance préventive pour s'assurer que les vannes de régulation sont en bon état de fonctionnement et étanches

IV.1.3. Interprétation des résultats :

À partir des résultats du rapport HAZOP, nous avons identifié les éléments suivants :

Nous avons identifié 04 événements inacceptables, qui représentent des problèmes considérables pour notre système. Ces événements nécessitent une attention prioritaire afin de réduire leurs occurrences et leurs conséquences à une échelle inférieure. Des mesures correctives appropriées doivent être mises en place pour minimiser ces risques inacceptables.

De plus, nous avons relevé 17 événements dans la zone ALARP (As Low As Reasonably Practicable), ce qui signifie qu'ils nécessitent une amélioration continue pour réduire le risque à un niveau aussi bas que raisonnablement possible. Ces événements doivent faire l'objet d'une attention particulière en termes de mesures de prévention et de protection afin de les ramener à un niveau de risque acceptable.

Enfin, nous avons identifié 08 événements acceptables, ce qui indique que les mesures de prévention et de protection actuelles sont adéquates pour maîtriser ces risques et assurer un niveau de sécurité satisfaisant.

Dans le tableau des recommandations, vous trouverez quelques solutions proposées pour réduire le risque des événements inacceptables et améliorer les mesures de prévention et de protection pour les événements situés dans la zone ALARP. Ces recommandations sont spécifiquement conçues pour cibler les causes sous-jacentes des déviations identifiées lors de l'analyse HAZOP. En les mettant en œuvre, nous pourrions renforcer la sécurité du système et minimiser les risques potentiels associés au stockage de GNL dans le complexe GNL2Z

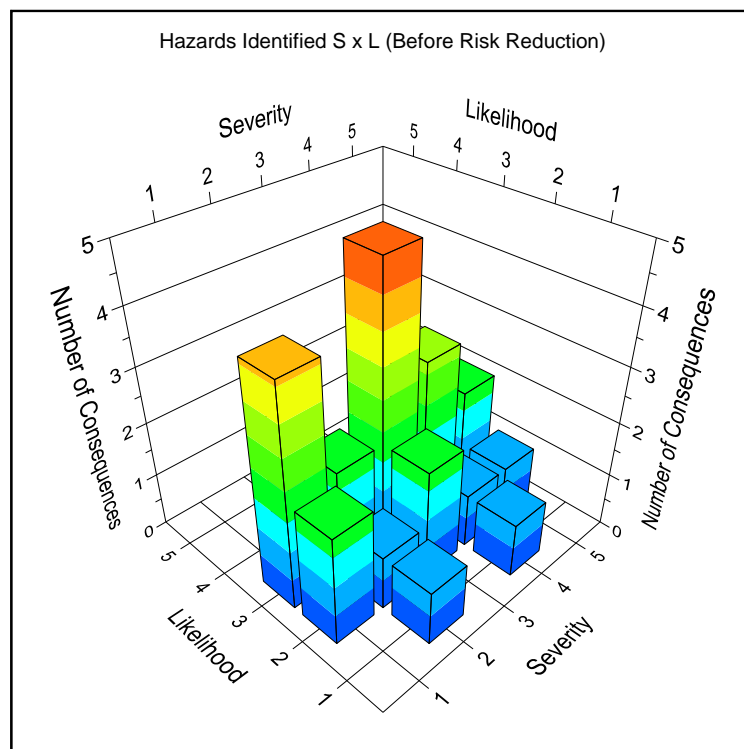


Figure IV. 2: Graphe nombre de conséquences en fonction de la gravité et de la probabilité

IV.2. Appréciation des fréquences des évènements initiateurs et développement des arbres des évènements :

Suite aux scénarios catastrophiques identifier par la méthode HAZOP il est nécessaire d'élaborer une étude probabiliste par l'Arbre des Événements (ADE) pour le bac de GNL, nous avons examiné trois scénarios : la rupture catastrophique, la moyenne fuite de 350 mm et la petite fuite de 50 mm. Grâce à l'ADE, nous avons analysé les séquences d'événements probables, identifié les causes et les conséquences. L'ADE nous a permis de comprendre les interrelations entre les événements et leurs probabilités.

- **Fuite de 50mm :**

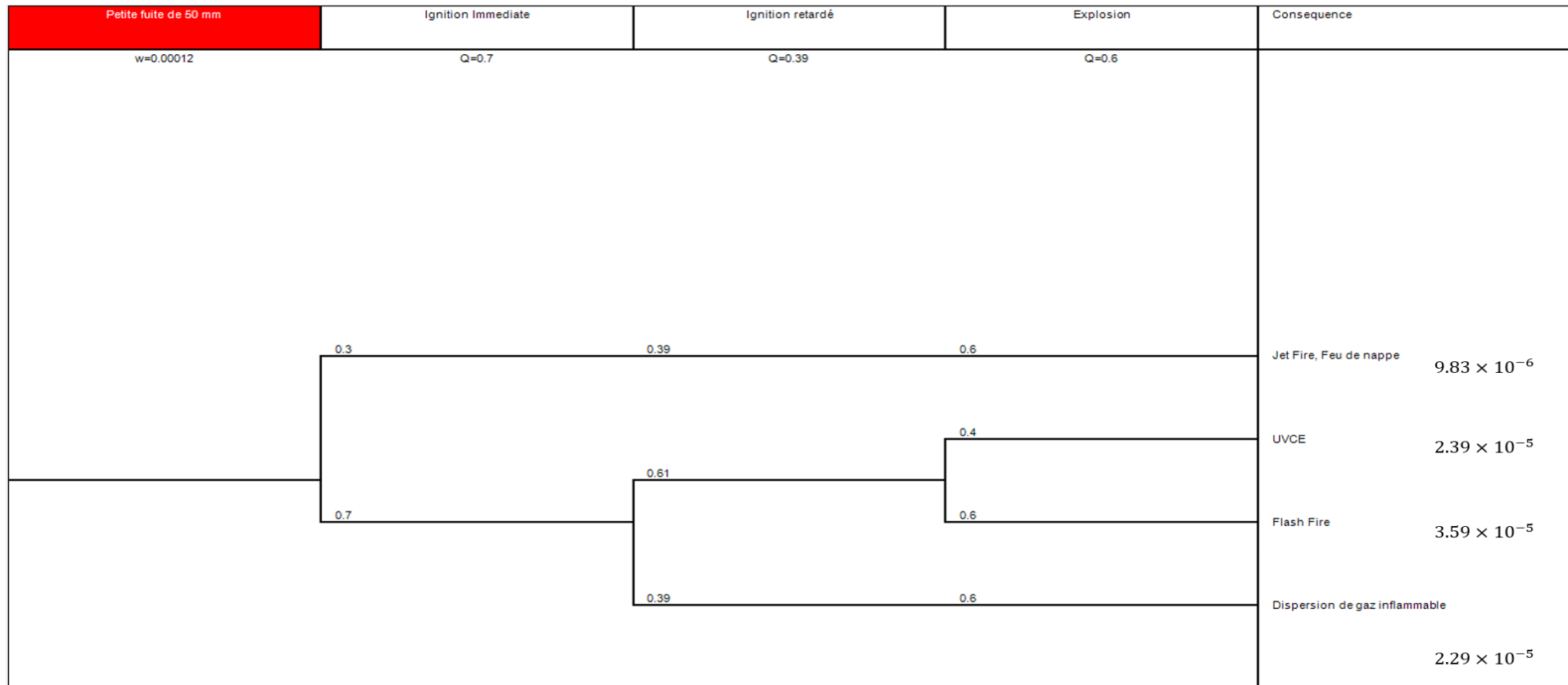


Figure IV. 3: ADE petite fuite

Les résultats de l'Arbre des Événements indiquent que pour une petite fuite de 50 mm de fréquence de 0.00012, nous avons obtenu quatre conséquences potentielles :

1. Le premier enchaînement conduit à une conséquence de jet fire avec une fréquence de 9.83×10^{-6} . Cela suggère qu'il existe une probabilité relativement faible mais non négligeable d'un incendie en jet se produisant en cas de petite fuite de 50 mm.
2. Le deuxième enchaînement conduit à une conséquence d'UVCE avec une fréquence de 2.39×10^{-5} . Cela indique une probabilité légèrement plus élevée d'une explosion d'un nuage de vapeur non confiné se produisant dans ce scénario.
3. Le troisième enchaînement conduit à une conséquence de flash fire avec une fréquence de 3.59×10^{-5} . Cela met en évidence une probabilité relativement élevée d'un incendie éclair se déclenchant en cas de petite fuite de 50 mm.
4. Le dernier enchaînement conduit à une conséquence de dispersion avec une fréquence de 2.29×10^{-5} . Cela suggère qu'il existe également une probabilité significative de dispersion du gaz en cas de petite fuite.

• **Fuite de 350mm :**

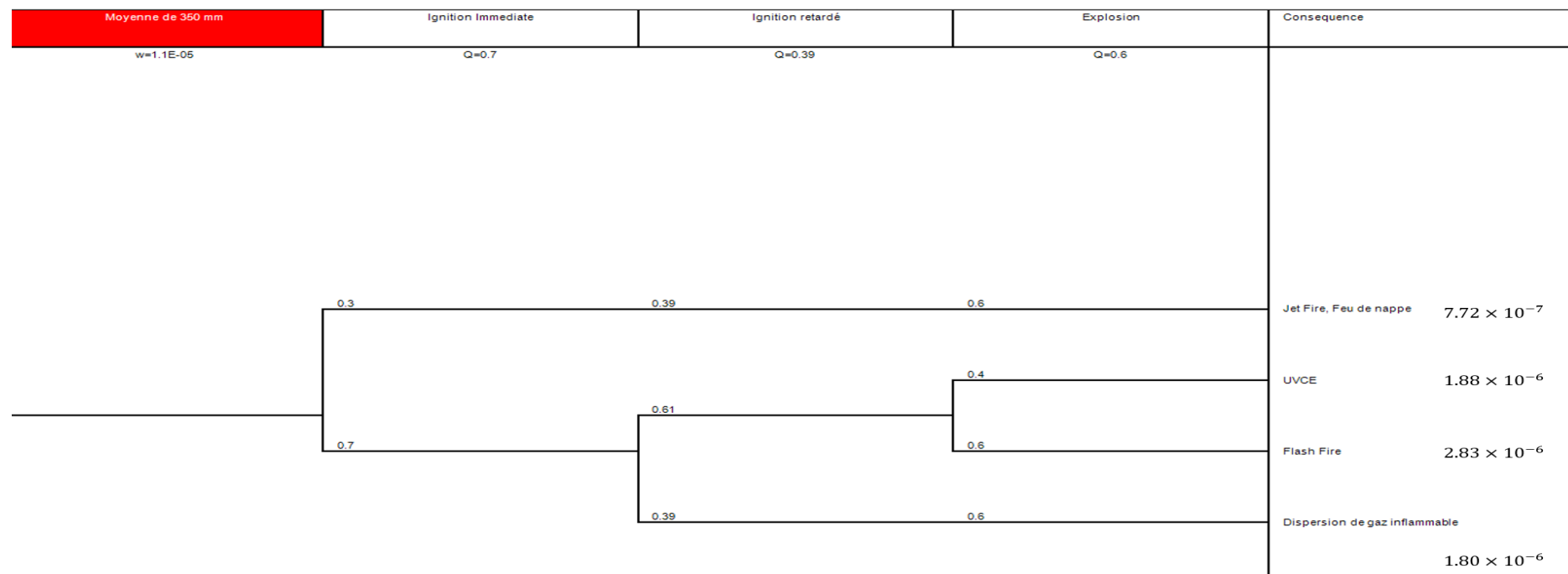


Figure IV. 4: ADE fuite moyenne

Pour une petite fuite de 350 mm de fréquence de 1.1×10^{-6} , les résultats de l'Arbre des Événements montrent quatre conséquences potentielles :

1. Le premier enchaînement conduit à une conséquence de jet fire avec une fréquence de 7.72×10^{-7} . Cela indique une probabilité relativement faible mais non négligeable d'un incendie en jet se produisant en cas de petite fuite de 350 mm.
2. Le deuxième enchaînement conduit à une conséquence d'UVCE avec une fréquence de 1.88×10^{-6} . Cela suggère une probabilité légèrement plus élevée d'une explosion d'un nuage de vapeur non confiné se produisant dans ce scénario
3. Le troisième enchaînement conduit à une conséquence de flash fire (incendie éclair) avec une fréquence de 2.83×10^{-6} . Cela met en évidence une probabilité relativement élevée d'un incendie éclair se déclenchant en cas de petite fuite de 350 mm.
4. Le dernier enchaînement conduit à une conséquence de dispersion avec une fréquence de 1.80×10^{-6} . Cela suggère qu'il existe également une probabilité significative de dispersion du gaz en cas de petite fuite.

- **Rupture catastrophique :**

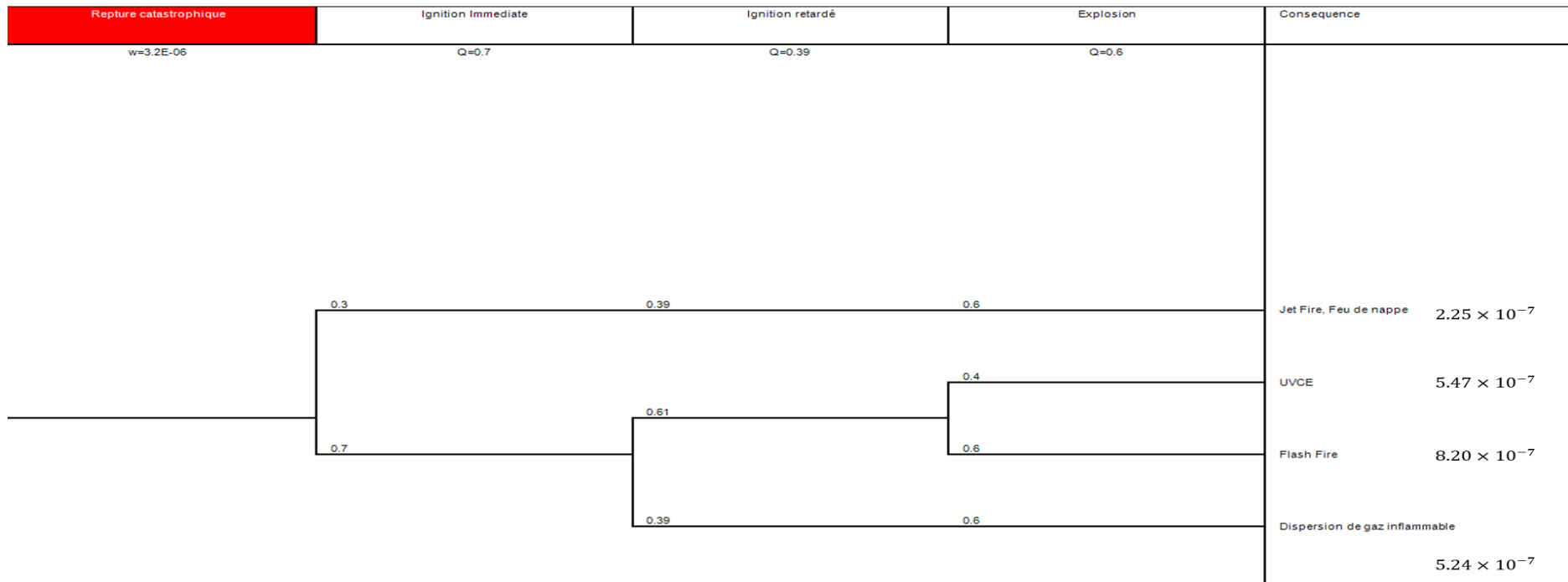


Figure IV. 5: ADE Rupture catastrophique

Pour une rupture catastrophique fréquence de 2×10^{-6} , les résultats de l'Arbre des Événements indiquent quatre conséquences potentielles.

1. Le premier enchaînement conduit à une conséquence de jet fire avec une fréquence de 2.25×10^{-7} . Cela suggère une probabilité relativement faible mais non négligeable d'un incendie en jet se produisant en cas de rupture catastrophique.
2. Le deuxième enchaînement conduit à une conséquence d'UVCE avec une fréquence de 5.47×10^{-7} . Cela indique une probabilité légèrement plus élevée d'une explosion d'un nuage de vapeur non confiné se produisant dans ce scénario.
3. Le troisième enchaînement conduit à une conséquence de flash fire avec une fréquence de 8.20×10^{-7} . Cela met en évidence une probabilité relativement élevée d'un incendie éclair se déclenchant en cas de rupture catastrophique.
4. Le dernier enchaînement conduit à une conséquence de dispersion avec une fréquence de 5.24×10^{-7} . Cela suggère qu'il existe également une probabilité significative de dispersion du gaz en cas de rupture catastrophique.

Déduction :

En comparant les fréquences, nous constatons que l'événement le plus grave est la rupture catastrophique. Bien que sa fréquence soit relativement faible (2×10^{-6}), les conséquences associées, telles que le jet fire, l'UVCE, le flash fire et la dispersion, présentent un risque potentiellement plus élevé par rapport aux autres scénarios.

Il est donc essentiel de mettre en place des mesures de sécurité appropriées pour prévenir les ruptures catastrophiques, telles que des inspections régulières, une maintenance adéquate, des systèmes de détection avancés et des procédures d'intervention d'urgence efficaces. En accordant une attention particulière à la prévention des ruptures catastrophiques, il est possible de réduire les risques et de garantir la sécurité des travailleurs, de l'environnement et des installations industrielles.

IV.3. Modélisation par le logiciel PHAST8.0 :

IV.3.1. Hypothèses générales pour la modélisation :

IV.3.1.1. Présentation du logiciel de simulation PHAST :

PHAST est un logiciel développé et régulièrement mis à jour par DNV pour évaluer les conséquences des fuites de gaz, des incendies, des explosions, de la toxicité et d'autres dangers technologiques associés à diverses industries. Il s'agit d'un outil complet d'analyse des risques pour les installations industrielles. (Annexe C)

Le logiciel PHAST, abréviation de "Process Hazard Analysis Software Tool", permet de simuler le déroulement d'un incident impliquant la fuite accidentelle d'un produit toxique et/ou inflammable, depuis la fuite initiale jusqu'à sa dispersion atmosphérique sur une grande distance. Il intègre également la modélisation de l'épandage et de l'évaporation de liquides répandus.

PHAST offre la capacité de modéliser différents scénarios de fuite, tels que la fuite d'un réservoir ou la rupture d'une canalisation. Ces scénarios sont ensuite combinés avec le modèle de dispersion intégré de PHAST, appelé Unified Dispersion Model (UDM), pour obtenir des informations telles que les distances de sécurité correspondant aux seuils toxiques et la projection du nuage au sol à un moment donné.

En utilisant PHAST, il est possible de prendre en compte les caractéristiques spécifiques de l'installation et de simuler de manière réaliste les conséquences potentielles des scénarios catastrophiques, ce qui permet d'évaluer les risques associés et de prendre des mesures appropriées de prévention et de mitigation.

Voici quelques raisons qui soulignent l'importance de la modélisation des conséquences par le logiciel PHAST :

- Évaluation des scénarios d'accidents ;
- Analyse des effets sur la santé et l'environnement ;
- Planification d'urgence et de gestion des risques ;
- Conformité réglementaire ;
- Conception sécurisée des installations ;

IV.3.1.2. Etapes d'une simulation par PHAST :

(Annexe B)

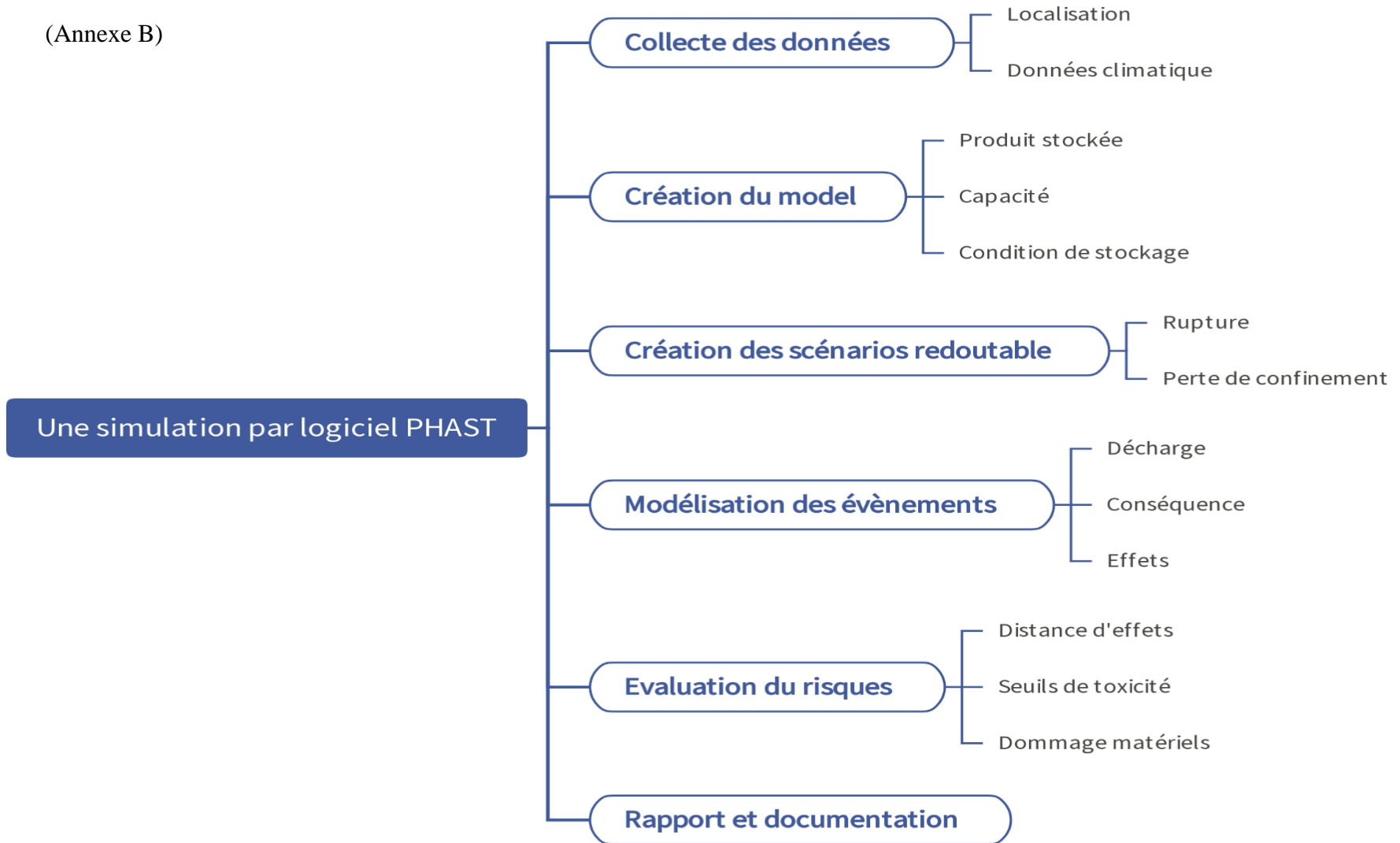


Figure IV. 6:Les étapes d'une simulation par PHAST

IV.3.2. Description des données nécessaires :

IV.3.2.1. Conditions atmosphériques :

La dispersion d'un nuage de vapeurs de GNL est principalement influencée par la force et la direction du vent, la stabilité atmosphérique, ainsi que dans une moindre mesure, par l'humidité relative et la température. Lors d'une libération continue, la présence d'un vent fort contribuera à la dilution du nuage formé.

Les données météorologiques utilisées dans cette étude sont basées sur les données climatologiques de la zone d'Arzew. Les moyennes obtenues pour le mois d'Aout :

Tableau IV. 11: Les données météorologiques

Paramètre	Valeur
Température moyenne (°C)	26,2
Humidité relative moyenne (%)	71
Vitesse moyenne du vent (Km/h)	8
Direction dominante du vent (Aout)	NNE (Nord Nord Est)
Classe de stabilité atmosphérique	Classe C

La classe de stabilité "C" est une classification utilisée dans les modèles de dispersion atmosphérique pour évaluer la stabilité de l'atmosphère. Elle est également qualifiée de "neutre" et est généralement rencontrée pendant la journée. Les conditions de stabilité de classe "C" indiquent une stratification atmosphérique modérée, où la verticalité de l'air est relativement homogène mais avec une légère tendance à la stabilité. Les conditions de classe "C" sont généralement compatibles avec des vents de vitesse supérieure ou égale à 2 m/s

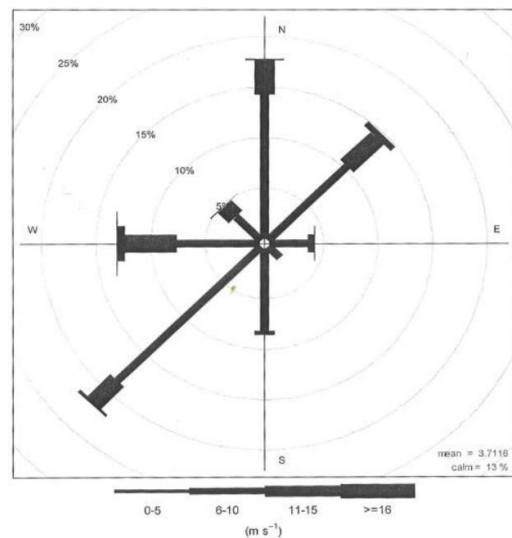


Figure IV. 7: Rose des vents de la région

IV.3.2.2. Caractéristique d'équipement étudié :

L'équipement étudié dans cette analyse est (BAC B) un bac de stockage de gaz naturel liquéfié (GNL) sous pression (Pressure Vessel). Le GNL est un combustible liquide qui est généralement stocké à des températures très basses pour faciliter sa conservation et son transport. Le bac de stockage est conçu pour contenir de grandes quantités de GNL de manière sécurisée et efficace. Il est essentiel de comprendre les risques associés à ce type d'équipement, notamment en ce qui concerne les fuites, les ruptures de confinement et les scénarios catastrophiques potentiels. La modélisation et l'évaluation de ces scénarios permettent de

déterminer les mesures de prévention et de mitigation nécessaires pour assurer la sécurité et la protection de l'environnement dans les installations de stockage de GNL.



Figure IV. 8: Bacs de stockage GNL / GNL2Z

Tableau IV. 12: Caractéristique d'équipement étudié

Produit	Méthane GNL
Température	-162 C°
Niveau	90000 m ³
Pression	1 Atm
Etat	Liquide

IV.3.2.3. Seuils de référence pour les effets thermiques :

Tableau IV. 13:Seuils thermiques des effets sur l'homme

Seuils pour les effets sur l'homme	
Seuils	Justifications
2.5kW/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 20s pour des personnes non protégées
12.5 kW/m²	Conséquences irréversibles ou létales, même a courte exposition

Tableau IV. 14:Seuils thermiques des effets dominos

Seuils pour les effets domino	
Seuils	Justifications
8 kW/m²	Dégâts aux installation non protégées
32 kW/m²	Dégâts aux installations protégées opérant à pression atmosphérique
44 kW/m²	Dégâts aux installations protégées opérant sous pression

Les seuils d'exposition pour les effets thermiques ont été déterminés en considérant une exposition de 20 secondes.

IV.3.2.4. Seuils de références pour les effets de surpression :

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

Tableau IV. 15:Seuils de surpression des effets sue l'homme

Seuils pour les effets sur l'homme	
Seuils	Justifications
25mbar	Dommages grave
50mbar	Dommages irréversibles ou létaux

Tableau IV. 16:Seuils de surpression des effets dominos

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

IV.3.3. Analyse de la cinétique des événements :

Chaque phénomène dangereux se caractérise par une séquence d'événements spécifique, également appelée cinétique. Cette cinétique détermine l'enchaînement et la rapidité avec laquelle les événements se produisent. Selon cette cinétique, l'impact de l'événement et les possibilités de le limiter peuvent varier.

Pour les phénomènes longs mais immédiats, il est généralement possible de réduire leur impact en mettant en place des méthodes appropriées d'évacuation et de protection. Cela permet de minimiser les dommages potentiels en agissant rapidement. En revanche, pour les phénomènes rapides mais retardés, les options d'évacuation sont souvent limitées. Dans ce cas, l'intervention après l'événement vise principalement à limiter les dégâts et à protéger les personnes et les infrastructures contre les feux secondaires.

Il est important de souligner que la prévention doit être privilégiée par rapport à la protection. Cela signifie qu'il est essentiel de prendre des mesures préventives pour éviter que les événements dangereux ne se produisent, plutôt que de simplement réagir à leur occurrence. En identifiant la cinétique des événements, il devient possible de mettre en place des mesures proactives pour réduire les risques et assurer la sécurité des personnes et des biens. [45]

Tableau IV. 17:La cinétique des phénomènes possibles

Phénomènes dangereux	Caractéristique
Feu de torche	Long mais immédiat/son impact dépend de la direction du chalumeau/ pas d'impact sur les équipements adjacents/ peut entraîner des dégâts sur les installations non-protégés.
Feu de nappe	Long mais peut être immédiat ou retardé/ effets dominos sur les équipements protégés et les stockages adjacents
Feu d'éclair	Très rapide avec un effet limité par la courte durée de ce phénomène. Il n'y a pas d'effets domino à craindre
UVCE	Très rapide/susceptible d'entraîner des effets dominos sur la structure.

IV.3.4. Présentation des différents scénarios catastrophiques et Analyse des conséquences :

IV.3.4.1. Scénario N°1 :

Le scénario abordé dans cette section se déroule selon la séquence temporelle suivante :

Une fuite d'une taille de 50 mm se produit dans le bac de GNL. Les données de simulation sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV. 18:Les données de simulation de S1

Scénario	Météo	Débit massique [kg/s]	Température [degC]	Liquid mass fraction in material [fraction]	Diamètre des gouttelettes [um]	Diamètre élargi [m]	Vitesse [m/s]	Durée de la diffusion [s]
Petite fuite 50mm	Catégorie 8/C	10.928	-162.02	1	298.579	0.03872	21.913	3600

IV.3.4.1.1. Simulation du Dispersion :

Les résultats de la simulation du scénario d'une fuite de GNL pour l'événement redouté Dispersion



Figure IV. 9: Simulation du Dispersion S1

Tableau IV. 19: Les résultats de simulation du dispersion S1

Scénario	Météo	Distance à l'UFL [m]	Distance jusqu'au LFL [m]	Distance à la fraction LFL [m]
Petite fuite 50mm	Catégorie 8/C	31.6106	77.4076	116.453

Les résultats indiquent une distance de 31.6106 m à l'UFL (Lower Flammable Limit) et une distance de 77.4076 m jusqu'au LFL (Upper Flammable Limit). Cela signifie que la concentration de gaz inflammable se situe entre ces deux limites.

IV.3.4.1.2. Simulation du Pool fire (feu de nappe) :

Les résultats de la simulation du scénario d'une fuite de GNL pour l'événement redouté (Pool fire)



Figure IV. 10: Simulation du early Pool fire S1

Tableau IV. 20: Les résultats de simulation de early pool fire S1

Scénario		Météo	Diamètre de pool [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 1 (4 kW/m ²) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 2 (12,5 kW/m ²) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 3 (37,5 kW/m ²) [m]
petite fuite	50mm	Catégorie 8/C	5.17142	35.0002	27.131	18.7621

Le diamètre du pool est mesuré à 5.17142 m. Cela correspond à la taille de la zone enflammée lorsqu'une fuite de GNL se produit et forme une nappe qui prend feu. Il est essentiel de comprendre la taille de cette zone pour évaluer les risques pour les personnes et les équipements à proximité.



Figure IV. 11: Simulation du late Pool fire S1

Tableau IV. 21: Les résultats de simulation du late pool fire S1

Scénario		Météo	Diamètre de pool [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 1 (4 kW/m ²) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 2 (12,5 kW/m ²) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 3 (37,5 kW/m ²) [m]
Petite fuite 50mm		Catégorie 8/C	14.0914	89.9725	63.9307	63.9307

Le diamètre du pool est mesuré à 14.0914 m. Cette mesure concerne l'extension de la zone enflammée lorsque le feu se propage et se développe sur une plus grande surface. La taille accrue du pool fire peut entraîner des conséquences plus graves en termes de chaleur radiante et de propagation du feu.

IV.3.4.1.3. Simulation du Jet fire (Feu de torche) :

Les résultats de la simulation du scénario d'une fuite de GNL pour l'événement redouté jet fire) sont présentés dans la Figure



Figure IV. 12: Simulation du Jet fire s1

Tableau IV. 22: Les résultats de simulation du Jet fire dispersion S1

Scénario	Météo	Longueur de la flamme [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 1 (4 kW/m ²) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 2 (12,5 kW/m ²) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 3 (37,5 kW/m ²) [m]
Petite fuite 50mm	Catégorie 8/C	42.061	76.9507	58.6008	45.7268

La longueur de la flamme est indiquée à 42.061 m. Un jet fire se produit lorsqu'une fuite de gaz forme un jet enflammé.

IV.3.4.1.4. Simulation de l'explosion (UVCE) :

Les résultats de la simulation du scénario d'une fuite de GNL pour l'événement redouté (UVCE) sont présentés dans la Figure



Figure IV. 14: Simulation de l'explosion S1

Tableau IV. 23:Les résultats de simulation de l'explosion S1

Scénario	Météo	Niveau de surpression [bar]	Distance maximale [m]	Diamètre [m]	Centre d'explosion [m]
Petite fuite 50mm	Catégorie 8/C	0.02068	263.738	307.476	110
		0.1379	139.88	59.76	110
		0.2068	132.403	44.8057	110

Les résultats montrent une distance maximale de 263.738 m pour l'explosion, avec le centre de l'explosion situé à 110 m. Cela souligne l'importance de maintenir des distances sécuritaires et de mettre en place des mesures de prévention pour éviter la formation de nuages de vapeur inflammable.

IV.3.4.1.5. Simulation de Flash Fire:

Les résultats de la simulation du scénario d'une fuite de GNL pour l'événement redouté flash Fire sont présentés dans la Figure



Figure IV. 15:Simulation de Flash Fire S1

Tableau IV. 24: Les résultats de simulation du Flash fire S1

Scenario	Météo	Distance maximale de tir éclair [m]	Hauteur de la distance maximale de tir éclair [m]	Temps [s]
petite fuite 50mm	Category 8/C	116.357	0	784.51

La distance maximale de tir éclair est de 116.357 m, avec une hauteur de distance maximale de 0 m. Un tir éclair se produit lorsqu'une flamme se propage rapidement le long d'un nuage de vapeur inflammable. Cette mesure est essentielle pour évaluer les risques d'incendie et de brûlures dans les environs.

IV.3.4.2. Scénario N°2 :

Le scénario abordé dans cette section se déroule selon la séquence temporelle suivante :

Une fuite d'une taille de 350 mm se produit dans le bac de GNL. Les données de simulation sont présentées dans le tableau ci-dessous

Tableau IV. 25: Les données de simulation de S2

Scénario	Météo	Débit massique [kg/s]	Température [degC]	Fraction de masse liquide dans la matière [fraction]	Diamètre des gouttelettes [um]	Diamètre élargi [m]	Vitesse [m/s]	Durée de la diffusion [s]
Fuite 350mm	Catégorie 8/C	535.484	-162.02	1	298.579	0.271109	21.9131	3600

IV.3.4.2.1. Simulation de Dispersion :

Les résultats de la simulation du scénario d'une fuite de GNL pour l'événement redouté Dispersion sont présentés dans la figure :



Figure IV. 16.: Simulation de Dispersion S2

Tableau IV. 26:Les résultats de simulation du dispersion S2

Scénario	Météo	Distance à l'UFL [m]	Distance jusqu'au LFL [m]	Distance à la fraction LFL [m]
Fuite 350mm	Catégorie 8/C	219.014	477.029	665.67

Les résultats indiquent une distance à l'UFL (Lower Flammable Limit) de 219.014 m et une distance jusqu'au LFL (Upper Flammable Limit) de 477.029 m. De plus, la distance à la fraction LFL est de 665.67 m. Ces distances plus grandes par rapport au premier scénario mettent en évidence une propagation plus étendue du nuage de vapeur inflammable.

IV.3.4.2.2. Simulation du Pool fire (feu de nappe) :

Les résultats de la simulation du scénario d'une fuite de 350mm de GNL pour l'événement redouté (Early Pool fire) sont présentés dans la figure :



Figure IV. 17: Simulation du early Pool fire S2

La figure ci-dessus illustre les zones affectées par les radiations thermiques générées par le feu de nappe immédiat (early pool fire). Au-delà du cercle bleu, la distance de sécurité commence, indiquant les zones où les effets thermiques sont limités.

Tableau IV. 27: Les résultats de simulation de early pool fire S2

Scénario	Météo	Diamètre de pool [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 1 (4 kW/m ²) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 2 (12,5 kW/m ²) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 3 (37,5 kW/m ²) [m]
fuite 350mm	Catégorie 8/C	65.1195	315.697	214.162	148.517

Le diamètre du pool est mesuré à 65.1195 m. Les distances sous le vent jusqu'aux niveaux d'intensité 1, 2 et 3 indiquent les zones où la chaleur radiante atteint des niveaux de 4 kW/m², 12,5 kW/m² et 37,5 kW/m² respectivement.



Figure IV. 18: Simulation du late Pool fire S2

La figure ci-dessus présente les zones impactées par les radiations thermiques générées par le feu de nappe retardé (late pool fire). Au-delà du cercle bleu, la distance de sécurité débute, indiquant les zones où les effets thermiques sont limités.

Tableau IV. 28: Les résultats de simulation de late pool fire S2

Scénario	Météo	Diamètre de pool [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 1 (4 kW/m ²) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 2 (12,5 kW/m ²) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 3 (37,5 kW/m ²) [m]
Fuite 350mm	Catégorie 8/C	194.26	718.274	474.981	320.403

Le diamètre du pool est de 194.26 m. Les distances sous le vent jusqu'aux niveaux d'intensité 1, 2 et 3 indiquent les zones où la chaleur radiante atteint des niveaux spécifiques. Ces mesures montrent l'extension de la zone enflammée à mesure que le feu se propage

IV.3.4.2.3. Simulation du Jet fire (Feu de torche) :

Les résultats de la simulation du scénario d'une fuite de GNL pour l'événement redouté jet fire) sont présentés dans la Figure



Figure IV. 19: Simulation du Jet fire S2

La figure ci-dessus représente les zones affectées par les radiations thermiques générées par le jet fire. Au-delà du cercle bleu, la distance de sécurité commence, indiquant les zones où les effets thermiques sont limités.

Tableau IV. 29 : Les résultats de simulation du Jet fire S2

Scenario	Météo	longueur de flamme [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 1 (4 kW/m2) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 2 (12,5 kW/m2) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 3 (37,5 kW/m2) [m]
Fuite 350mm	Catégorie 8/C	138.886	278.14	210.042	165.084

La longueur de la flamme est mesurée à 138.886 m. Les distances sous le vent jusqu'aux niveaux d'intensité 1, 2 et 3 indiquent les zones où la chaleur radiante atteint des niveaux spécifiques.

IV.3.4.2.4. Simulation de l'explosion (UVCE) :

Les résultats de la simulation du scénario d'une fuite de 350mm de GNL pour l'événement redouté (UVCE) sont présentés dans la Figure

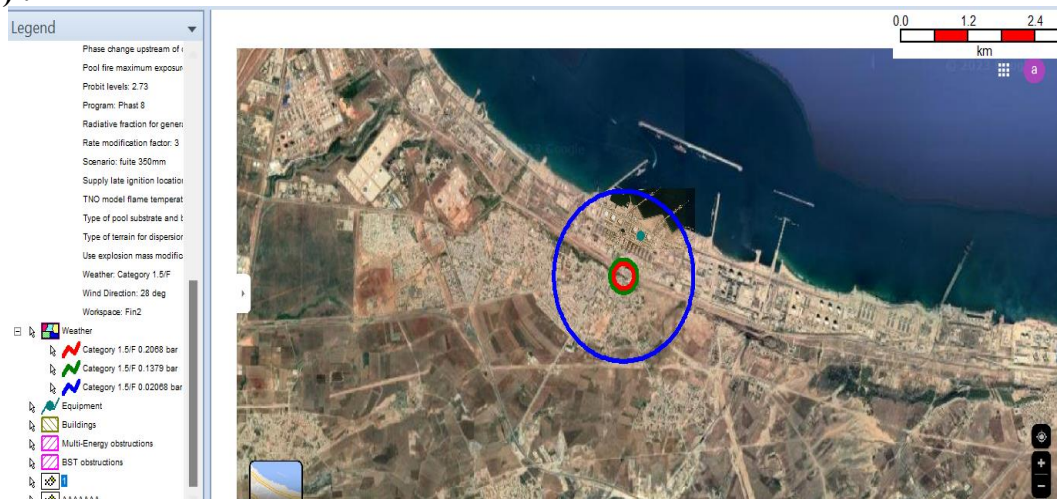


Figure IV. 20: Simulation de l'explosion S2

Tableau IV. 30: Les résultats de simulation d'explosion S2

Scénario		Météo	Niveau de surpression [bar]	Distance maximale [m]	Diamètre [m]	Centre d'explosion [m]
fuite	350mm	Catégorie 8/C	0.02068	1901.02	2482.05	660
			0.1379	901.202	482.403	660
			0.2068	840.844	361.687	660

Les résultats indiquent un niveau de surpression de 0.02068 bar et une distance maximale d'explosion de 1901.02 m. Le diamètre de l'explosion est de 2482.05 m, avec le centre de l'explosion situé à 660 m. Ces mesures mettent en évidence les conséquences graves d'une explosion.

IV.3.4.2.5. Simulation de Flash Fire:

Les résultats de la simulation du scénario d'une fuite de 350mm de GNL pour l'événement redouté flash Fire sont présentés dans la Figure

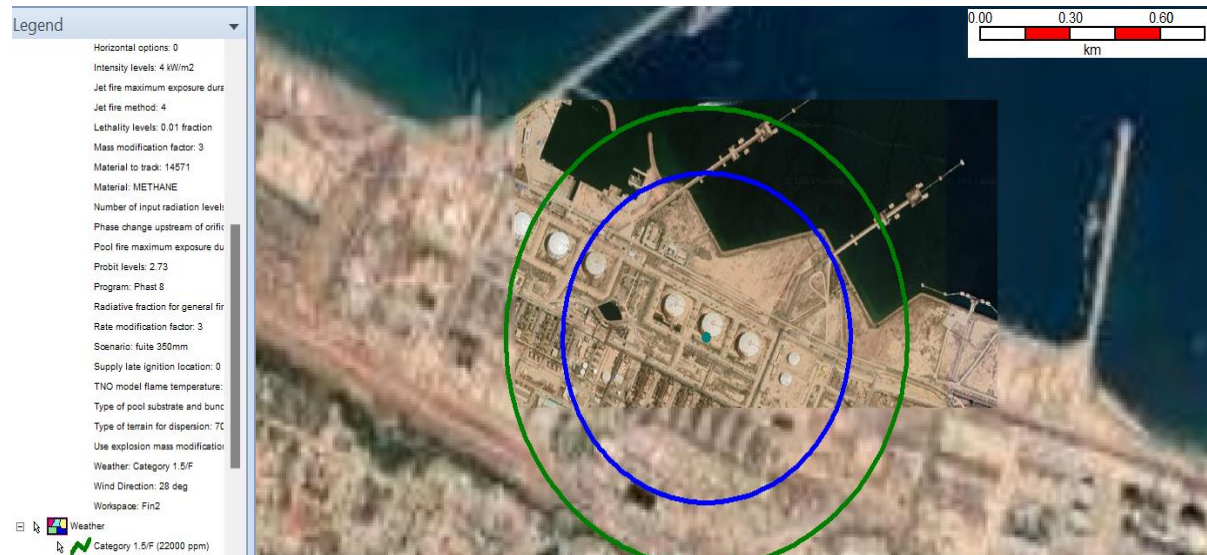


Figure IV. 21: Simulation de Flash Fire S2

Tableau IV. 31:Les résultats de simulation de Flach fire S2

Scénario	Météo	Distance maximale de tir éclair [m]	Hauteur de la distance maximale de tir éclair [m]	Temps [s]
fuite 350mm	Category 8/C	663.592	0	3617.02

La distance maximale de tir éclair est de 663.592 m, avec une hauteur de distance maximale de tir éclair de 0 m. Le temps nécessaire pour atteindre cette distance maximale est de 3617.02 s.

IV.3.4.3. Scénario N°3 :

Le scénario abordé dans cette section se déroule selon la séquence temporelle suivante :

Une rupture catastrophique du bac de stockage de GNL Les données de simulation sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 32:Les données de simulation de S3

Scénario	Météo	Température [degC]	Fraction de masse liquide dans la matière [fraction]	Diamètre des gouttelettes [um]	Vitesse [m/s]
Rupture catastrophique	Catégorie 8/C	-162.028	1	430.91	4.38262

IV.3.4.3.1. Simulation du Dispersion :

Tableau IV. 33: Les résultats de simulation du dispersion S3

Scénario	Météo	Distance to UFL [m]	Distance jusqu'au LFL [m]	Distance à la fraction LFL [m]
Rupture catastrophique	Catégorie 8/C	779.798	2256.46	3863.92



Figure IV. 23: Simulation du Dispersion S3

Les résultats montrent une distance à l'UFL (Lower Flammable Limit) de 779.798 m et une distance jusqu'au LFL (Upper Flammable Limit) de 2256.46 m. La distance à la fraction LFL est de 3863.92 m. Ces distances considérables soulignent la propagation étendue du nuage de vapeur inflammable dans les environs, augmentant ainsi les risques potentiels d'incendie ou d'explosion.

IV.3.4.3.2. Simulation du Pool fire (feu de nappe) :

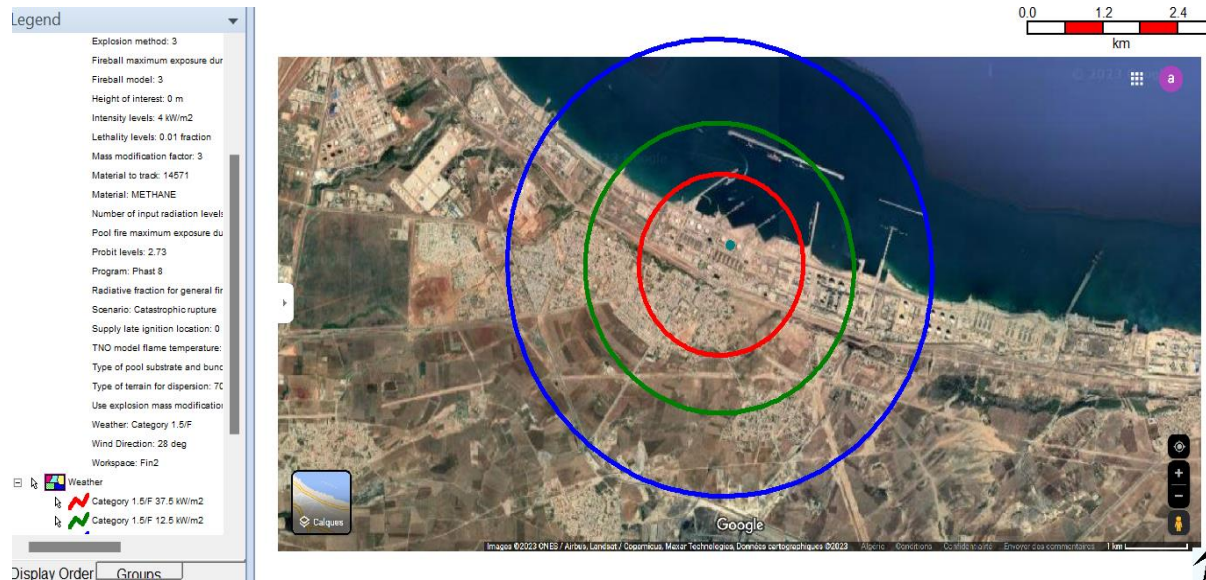


Figure IV. 24: Simulation du Pool fire S3

La figures ci-dessus montre les zones touchées par les radiations thermiques engendré par le (feu de nappe retardé) late pool fire au-delà du cercle bleu commence la distance de sécurité.

Tableau IV. 34: Les résultats de simulation du pool fire S3

Scénario	Météo	Diamètre pool [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 1 (4 kW/m2) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 2 (12,5 kW/m2) [m]	Distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 3 (37,5 kW/m2) [m]
Rupture catastrophique	Catégorie 8/C	1679.82	3671.43	2472.77	1638.37

Le diamètre du pool est mesuré à 1679.82 m. Les distances sous le vent jusqu'aux niveaux d'intensité 1, 2 et 3 indiquent les zones où la chaleur radiante atteint des niveaux de 4 kW/m², 12,5 kW/m² et 37,5 kW/m² respectivement. Avec une distance sous le vent jusqu'au niveau d'intensité 1 de 3671.43 m, ces résultats mettent en évidence l'étendue considérable de la zone enflammée et les risques associés.

IV.3.4.3.3. Simulation de l'explosion (UVCE) :

Les résultats de la simulation du scénario d'une rupture catastrophique de bac de stockage de GNL pour l'événement redouté (UVCE) sont présentés dans la Figure

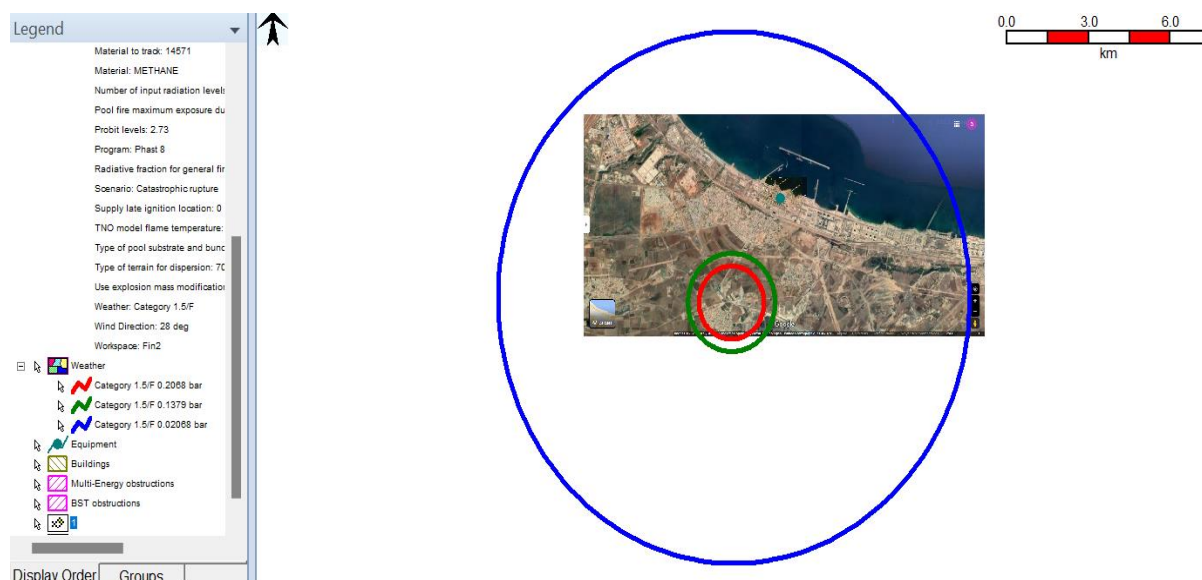


Figure IV. 25: Simulation de l'explosion S3

Tableau IV. 35: Les résultats de simulation d'explosion S3

Scenario	Météo	Niveau de surpression [bar]	Distance maximale [m]	Diamètre [m]	Centre d'explosion [m]
Rupture catastrophique	Catégorie 8/C	0.02068	12232.6	17225.2	3620
		0.1379	5391.58	3183.15	3800
		0.2068	4994.81	2369.63	3810

Les résultats indiquent un niveau de surpression de 0.02068 bar. La distance maximale de l'explosion est mesurée à 12232.6 m, avec un diamètre de 17225.2 m. Le centre de l'explosion est situé à 3620 m. Ces mesures témoignent d'une explosion de grande ampleur, mettant en danger les installations et les personnes dans un large rayon autour de la rupture du bac.

IV.3.4.3.4. Simulation de Flash Fire:

Les résultats de la simulation du scénario d'une rupture catastrophique de bac de stockage de GNL pour l'événement redouté Flash Fire) sont présentés dans la Figure

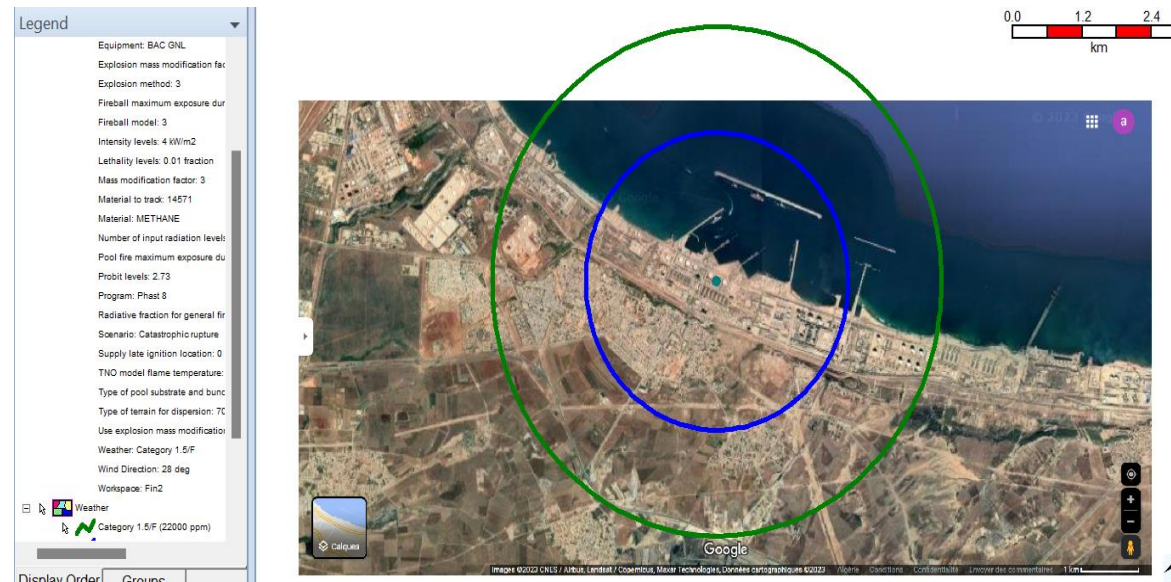


Figure IV. 26.: Simulation de Flash Fire S3

Tableau IV. 36: Les résultats de simulation de Flash fire S3

Scénario	Météo	Distance maximale de flash fire [m]	Hauteur de la distance maximale de flash fire [m]	Temps [s]
Rupture catastrophique	Catégorie 8/C	3871.02	0	803.29

La distance maximale du flash fire est de 3871.02 m, avec une hauteur de distance maximale de 0 m. Le temps nécessaire pour atteindre cette distance maximale est de 803.29 s. Ces résultats soulignent les risques d'incendie rapide et intense dans les environs immédiats de la rupture du bac.

IV.3.5. Discussion :

Les trois derniers scénarios présentent différents niveaux de gravité en termes de conséquences résultant d'un incident dans un bac de GNL. Examinons-les dans l'ensemble :

Scénario 1 - Petite fuite de 50 mm : Ce scénario présente des conséquences relativement limitées. La dispersion du nuage de vapeur inflammable a une distance à l'UFL de 31.6106 m et une distance jusqu'au LFL de 77.4076 m. Les dimensions du pool fire et du jet fire sont également relativement petites. Bien que cela puisse encore présenter des risques, les distances de propagation et les dimensions des feux restent assez restreintes.

Scénario 2 - Fuite de 350 mm : Ce scénario montre des conséquences plus étendues par rapport au premier scénario. La dispersion du nuage de vapeur inflammable a une distance à l'UFL de 219.014 m et une distance jusqu'au LFL de 477.029 m. Les dimensions des pool fires, du jet fire et de l'explosion sont également plus grandes. Cela indique une propagation plus importante du nuage de vapeur inflammable et des risques accrus pour les zones environnantes.

Scénario 3 - Rupture catastrophique du bac : Ce scénario présente les conséquences les plus graves parmi les trois. La dispersion du nuage de vapeur inflammable atteint des distances considérables, avec une distance à l'UFL de 779.798 m et une distance jusqu'au LFL de 2256.46 m. Les dimensions des pool fires, de l'explosion et du flash fire sont également extrêmement étendues. Ces mesures témoignent d'un risque élevé d'incendie, d'explosion et de propagation des effets thermiques sur une grande distance.

Pour conclure, les résultats des trois scénarios démontrent clairement l'importance de la gestion des risques et des mesures de sécurité appropriées lorsqu'il s'agit de manipuler et de stocker du GNL. Les conséquences des incidents augmentent considérablement en fonction de la gravité de l'incident, allant d'une petite fuite à une rupture catastrophique du bac. Il est impératif de mettre en place des protocoles rigoureux de prévention, de détection et de réponse aux incidents pour minimiser les risques potentiels pour la sécurité des personnes, des installations et de l'environnement.

Ces résultats soulignent également l'importance de l'évaluation approfondie des scénarios et de la modélisation des conséquences pour mieux comprendre les dangers potentiels

et élaborer des plans d'urgence et des mesures de sécurité adaptés. La prévention des incidents et la protection des parties prenantes doivent être au cœur de toute activité liée au GNL pour garantir une exploitation sûre et responsable de cette ressource énergétique précieuse.

IV.3.6. Simulation des effets dominos pour les trois Bacs de stockage de GNL du complexe GL2/Z :

Dans le complexe GL2/Z, la zone terminale abrite une zone de stockage de gaz naturel liquéfié (GNL), comprenant trois bacs de stockage identifiés comme A, B et C. Dans notre étude, nous avons initialement effectué une simulation des risques spécifiquement pour le bac B du GNL. Maintenant, nous allons élargir notre analyse en réalisant une simulation des effets domino pour les trois bacs de stockage ensemble. Pour évaluer comment un incident dans l'un des bacs de stockage peut potentiellement se propager et affecter les autres bacs. Cela permet de mieux comprendre les risques interconnectés et les conséquences possibles sur l'ensemble de la zone de stockage de GNL.

IV.3.5.1. Scénario :

En évaluant les interactions entre les bacs A, B et C, nous avons étudié un scénario d'incident potentiel qui pourrait se produire, à savoir une fuite moyenne de 350 mm

IV.3.5.1.1. Simulation de niveau d'effet de flash fire (feu éclair) :

Les résultats de la simulation d'effets dominos du scénario d'une fuite de 350mm de GNL pour l'événement redouté flash Fire sont présentés dans la Figure



Figure IV. 28: Simulation de niveau d'effet de flash fire pour 03 bacs

IV.3.5.1.2. Simulation de niveau d'effet de pool fire (feu de nappe) :

Les résultats de la simulation d'effets dominos du scénario d'une fuite de 350mm de GNL pour l'événement redouté pool fire (feu de nappe) sont présentés dans la Figure



Figure IV. 29.: Simulation de niveau d'effet de pool fire pour 03 bacs

IV.3.5.1.3. Simulation de niveau d'effet de l'explosion UVCE :

Les résultats de la simulation d'effets dominos du scénario d'une fuite de 350mm de GNL pour l'événement redouté explosion (UCVE) sont présentés dans la Figure

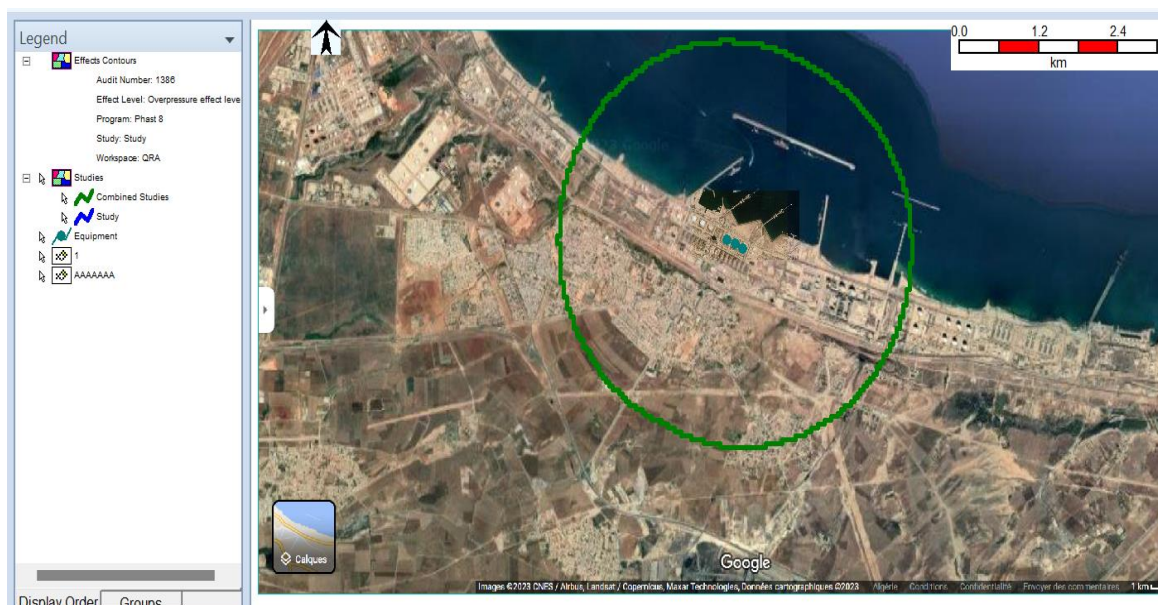


Figure IV. 30.: Simulation de niveau d'effet d'explosion pour 03 bacs;

Cette approche nous permettra d'obtenir une vision plus complète des risques associés à la zone de stockage de GNL du complexe GL2/Z. Les résultats de la simulation des effets

domino nous aideront à identifier les mesures de prévention et d'atténuation appropriées pour réduire les risques et renforcer la sécurité globale de l'installation.

Il est important de souligner que cette simulation des effets domino pour les trois bacs de stockage de GNL permettra de prendre en compte les interactions entre les différentes installations et de mieux appréhender les risques potentiels. Cela contribuera à une meilleure gestion des risques et à la mise en place de mesures de sécurité adéquates pour protéger les personnes, l'environnement et les installations du complexe GL2/Z.

IV.4. Modélisation par le logiciel SAFETI 8.0 :

IV.4.1. Hypothèses générales pour la modélisation :

IV.4.1.1. 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 GNL2Z. 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.

IV.4.1.2. 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 a proximité du complexe »

Tableau IV. 37:Les paramètres relatifs aux étincelles

Origine d'étincelle			Densité des véhicules /h	Vitesse moyenne km /h
Ligne de transport	de	30	25	

Tableau IV. 38:Probabilité relative d'inflammation dans le temps, t (s) [46]

Temp d'étincelle (s)	10
Probabilité d'étincelle	0.30

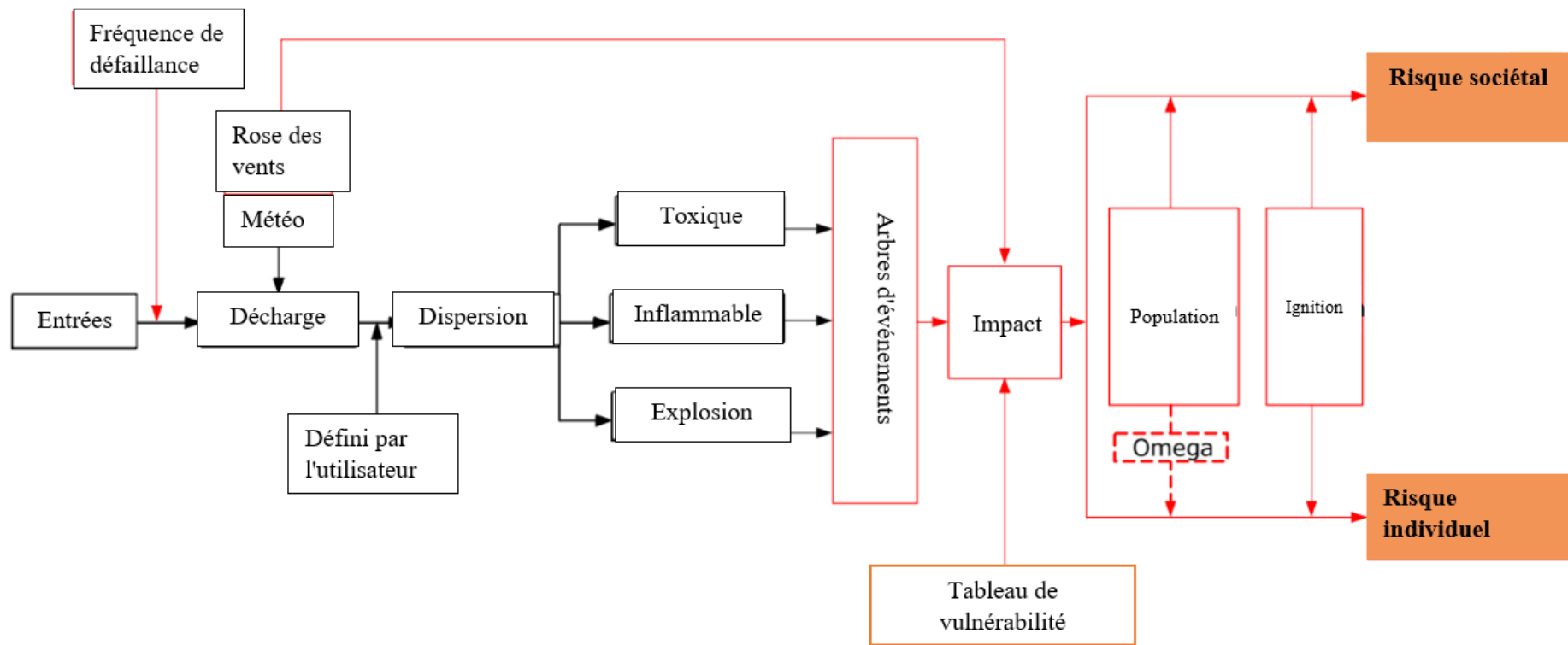
Tableau IV. 39 : Probabilités relatives aux fuites[47]

Type de fuites	Fréquences
Petite	$1.2 \cdot 10^{-4}$
Moyenne	$1.1 \cdot 10^{-5}$
Rupture catastrophique	$3.2 \cdot 10^{-6}$

Agglomération	Population
Bethioua	18 215
Ain El Bia	32 611
Administration	100
Salle de contrôle	15

Tableau IV. 39: Données humaines

IV.4.1.3. De PHAST à SAFETI :



PHAST → SAFETI

Figure IV. 31 : Schéma explicatif de la relation entre PHAST et SAFETI

IV.4.1.4. Les étapes d'une simulation par SAFETI :

(Annexe C)

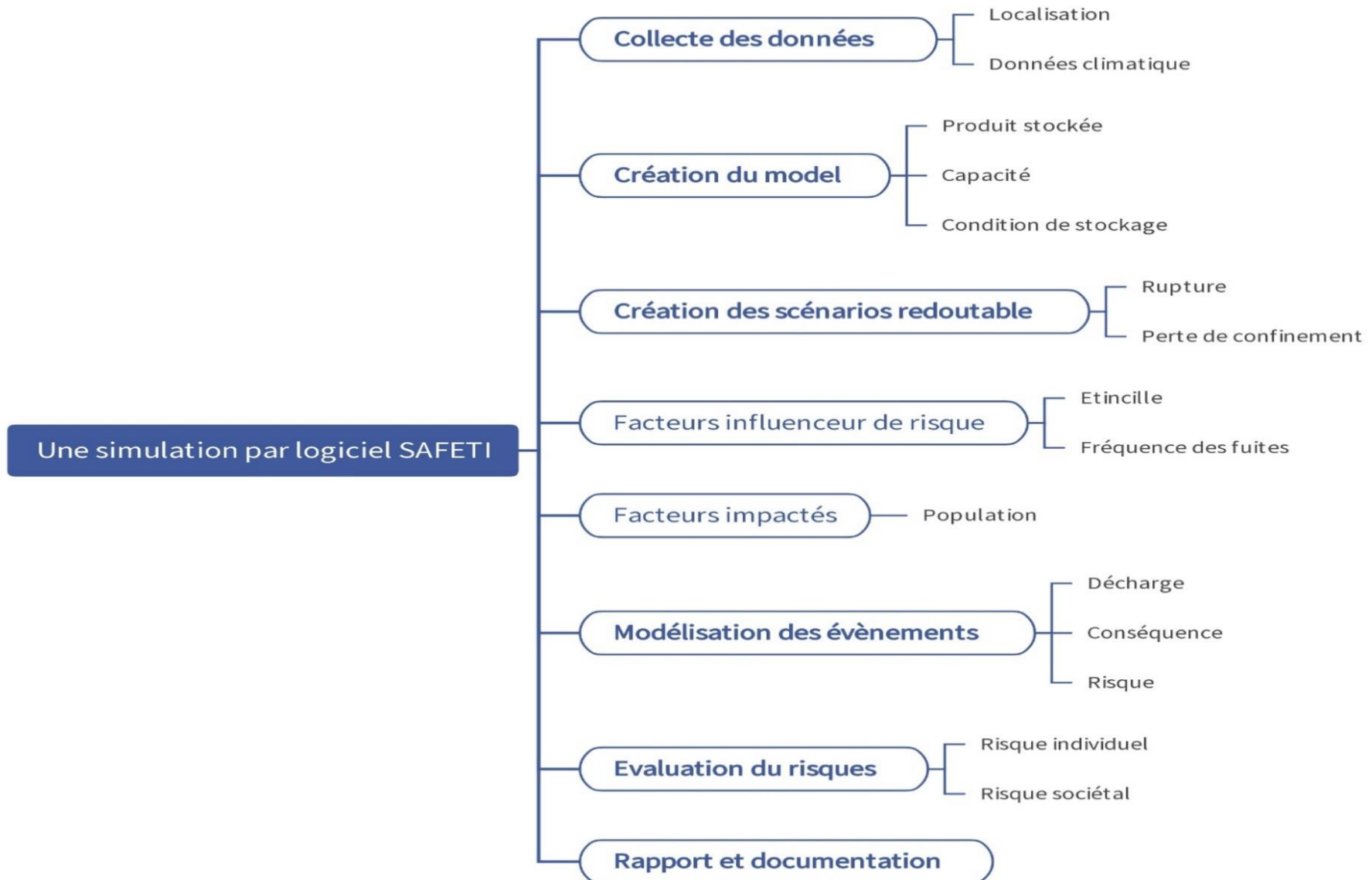


Figure IV. 32 : Schéma explicatif sur les étapes d'une simulation par SAFETI

IV.4.2. Évaluation de risques :

Les résultats en termes de risques individuels et sociétaux hors site sont documentés et évalués par rapport aux critères de risques dans les sections suivantes.

IV.4.2.1. Risque individuel :

Les contours globaux des risques individuels pour le terminal de GNL2Z sont présentés dans la figure IV.30. À partir de l'observation de ces contours globaux de risque, les concentrations suivantes peuvent être résumées.

- Le contour de risque de décès individuel de 1×10^{-5} par an apparaît autour du bac de stockage.
- Le contour de risque de décès individuel de 1×10^{-6} par an est centré sur le terminal GNL2Z, il s'étend également au côté Est du complexe GNL1Z et à la région du nord-est de Bethouia respectivement, qui couvrent la route.
- Le contour de risque de décès individuel de 1×10^{-7} par an est doté de tous le complexe GNL2Z et GNL1Z, d'une grande partie de Bethioua, et d'une grande surface du Port (zone de chargement du GNL)
- Le contour de risque de décès individuel de 1×10^{-8} et 1×10^{-9} par an englobe l'ensemble des deux complexes, de 80% de Bethioua et d'une grande surface du port.

Le risque maximal d'un décès individuel involontaire du terminal de GNL2Z dépasse la limite, c'est-à-dire qu'il empiète sur tous le complexe et sur la ville avoisinante.

De plus, il convient de souligner que les contours de risque individuel discuté dans cette section sont généralement utilisés pour la planification de l'utilisation des terres et représentent la probabilité de décès pour un individu se trouvant en permanence en position fixe pendant une année entière. En suppose que cet individu ne prend aucune mesure d'évacuation en cas d'évènement dangereux survenant au terminal de GNL2Z.

Par conséquent, en termes d'exposition au risque réel pour les individus, les résultats présentés sous forme de contours individuels sont conservateurs, mais ils sont la norme pour les études QRA des terminaux de GNL.

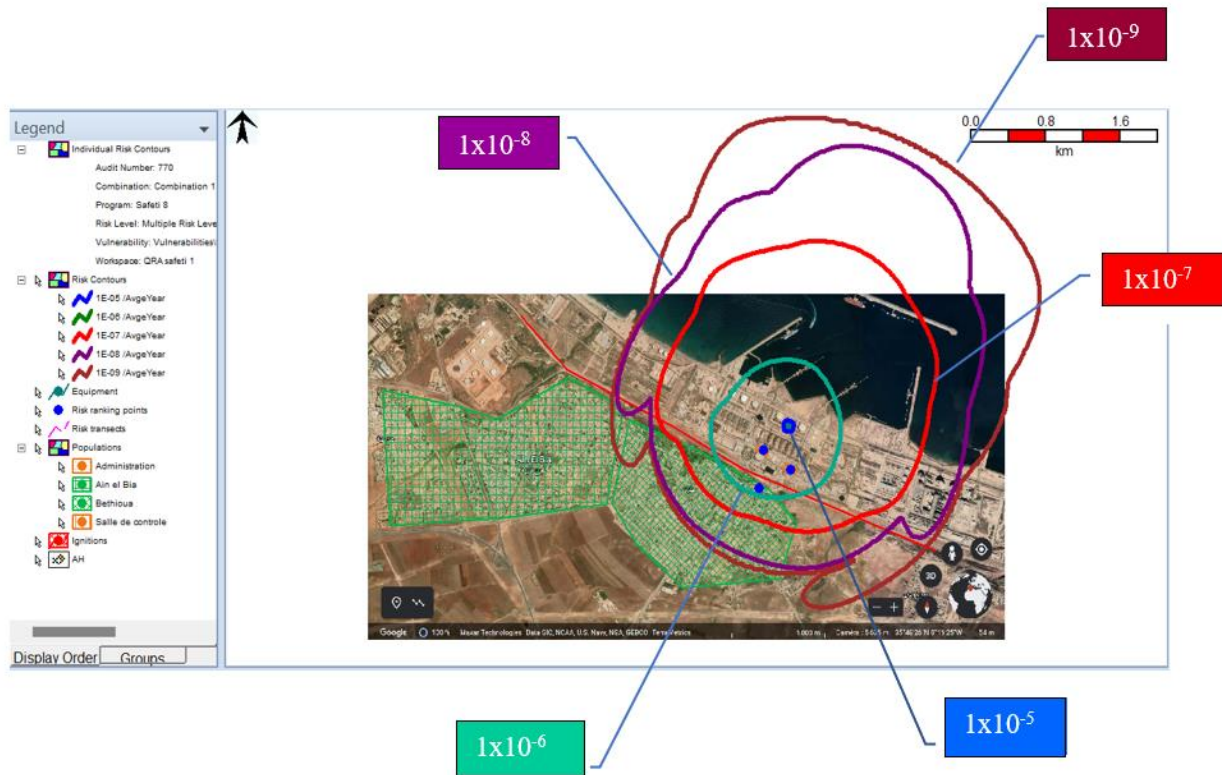


Figure IV. 34: Les contours globaux des risques individuels pour le terminal de GNL2Z

IV.4.2.2. Risque sociétal :

La courbe FN que nous étudions présente différentes zones pour évaluer le niveau de fatalités acceptables. 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 Figure IV.35, nous constatons qu'un nombre de fatalités de 1 avec une fréquence de 6.80×10^{-6} est considéré comme acceptable. De même, dans la zone ALARP, nous observons que des nombres de fatalités allant de 1 à 15, avec une fréquence de 5.41×10^{-6}

Cependant, ce qui est préoccupant, c'est que malgré la diminution de la fréquence de 5.41×10^{-6} à 1.3×10^{-8} , le nombre de fatalités reste élevé et dépasse la plage acceptable entre 15 et 4000. Cela nous indique clairement que la situation est inacceptable, même si la fréquence diminue. Il est essentiel de prendre des mesures supplémentaires pour réduire le nombre de fatalités dans cette zone.

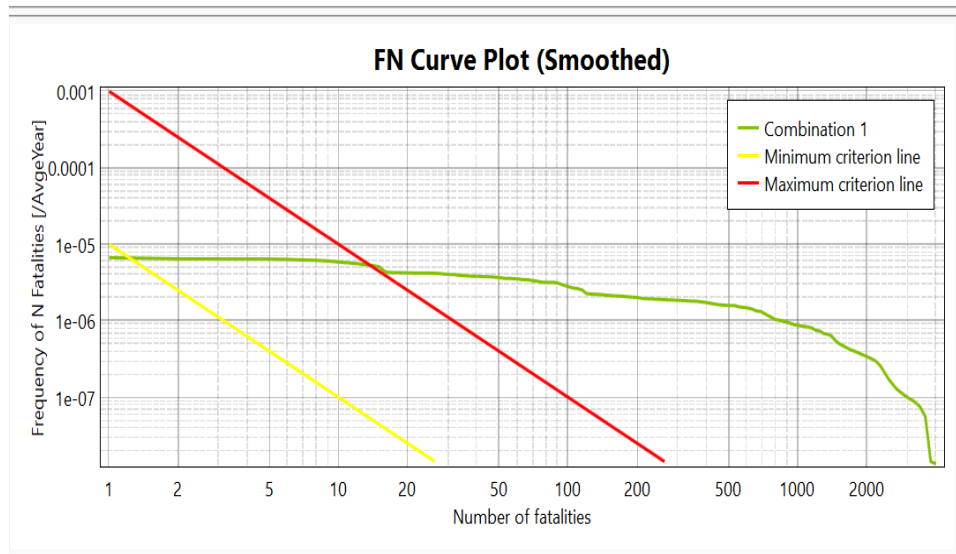


Figure IV. 35: La courbe F-N pour risque sociétal

Conclusion :

La liquéfaction du gaz naturel dans les complexes industriels comporte des risques significatifs, en particulier en ce qui concerne le stockage et le transfert du produit. Il est essentiel d'être conscient des dangers potentiels et de mettre en place des mesures préventives appropriées pour réduire les risques d'accidents majeurs. La modélisation des scénarios d'accidents a révélé que les conséquences les plus importantes de la perte de confinement du système de stockage de gaz naturel sont les incendies, les explosions et les dommages industriels.

Il convient de souligner l'importance de ne pas se focaliser uniquement sur la fréquence des incidents, mais également sur le nombre réel de fatalités. Même si la fréquence diminue, il est crucial de prendre des mesures plus strictes pour garantir la sécurité si le nombre de fatalités reste élevé. Il est primordial de réduire le nombre de fatalités, en particulier dans la zone inacceptable, afin d'assurer la sécurité et le bien-être de tous les intervenants.

Il est donc impératif de comprendre et de gérer les risques associés à la liquéfaction du gaz naturel, en mettant en place des mesures préventives adéquates pour minimiser les accidents et protéger les travailleurs, l'environnement et les installations industrielles.

Conclusion générale :

Dans ce mémoire, nous avons étudié l'approche QRA pour l'estimation du niveau de risque individuel et sociétal d'une installation. En utilisant des outils tels que HAZOP, PHAST et SAFETI, nous avons suivi les étapes clés de l'analyse QRA pour évaluer les risques associés à une installation donnée.

Tout d'abord, nous avons identifié les potentielles sources de dangers de l'installation et réalisé une étude HAZOP détaillée pour identifier les scénarios d'accidents possibles. Ensuite, en utilisant ADE, nous avons évalué les probabilités d'occurrence de ces scénarios, en prenant en compte les facteurs nécessaires à l'étude tels que la fréquence des événements initiaux. PHAST nous a permis de modéliser les conséquences des accidents, en évaluant les effets thermiques et les impacts environnementaux. Enfin, SAFETI nous a aidés à estimer les niveaux de risque individuel et sociétal associés à l'installation.

Ces outils et méthodologies ont été d'une grande valeur pour notre étude, fournissant des résultats quantitatifs et des informations précieuses sur les risques associés à l'installation. Grâce à l'approche QRA, nous avons pu identifier les scénarios d'accidents les plus critiques, évaluer leurs probabilités d'occurrence et quantifier les conséquences sur les individus et la société. Cela nous a permis de mieux comprendre les risques inhérents à l'installation et de formuler des recommandations pour atténuer ces risques.

Il convient de souligner que l'approche QRA ne constitue pas une solution unique pour éliminer tous les risques. Cependant, elle fournit une base solide pour une prise de décision éclairée en matière de sécurité. En identifiant les scénarios d'accidents les plus critiques et en évaluant les niveaux de risque associés, les décideurs et les responsables de la sécurité peuvent mettre en place des mesures préventives et des stratégies d'atténuation des risques plus efficaces.

Enfin, dans cette étude, on a :

- ✓ Mettre en avant l'approche QRA comme méthodologie pour évaluer les risques ;
- ✓ Identifier les sources de dangers potentielles liées au stockage de GNL ;
- ✓ Évaluer les probabilités d'occurrence des accidents liés au bac de stockage de GNL ;
- ✓ Modéliser les conséquences des accidents ;
- ✓ Estimer les niveaux de risque individuel et sociétal associés au bac de stockage de GNL ;
- ✓ Évaluer le niveau de risque individuel et sociétal associé au bac de stockage de GNL ;
- ✓ Mettre en évidence l'importance de l'approche QRA dans la prise de décisions éclairées en matière de sécurité ;
- ✓ Contribuer à la littérature existante sur l'estimation des risques dans les installations de stockage de GNL et fournir des perspectives pour les futures études dans ce domaine.

Bibliographie

- [1] : Chloé Griot, Pierre Alain Ayral. Terminologie en Science du Risque, 2002
- [2] : ISO 31010 2019
- [3] : <https://www.officiel-prevention.com/dossier/formation/formation-continue-a-la-securite/les-differents-concepts-de-prevention-des-risques-professionnels>
- [4] : [Zone ATEX : définition, réglementation et habilitations - CNFCE](#)
- [5] : <https://www.gazdetect.com/normes-reglementations/norme-et-reglementation-atex/>
- [6] : <https://atex.info/legislation/directives>
- [7] : <https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/scenario-catastrophe#0>
- [8] : <https://www.preventica.com/dossier-risque-incendie-causes-consequences.php>
- [9] : <https://www.ilocis.org/fr/documents/ilo041.htm>
- [10] : <https://primarisk.ineris.fr/>
- [11] : https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/boiling_liquid_expanding_vapor_bleve.php4
- [12] : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/genie-industriel-th6/qualite-et-securite-des-systemes-industriels-42153210/retour-d-experience-dans-les-industries-de-procede-ag4610/>
- [13] : <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/comment-utiliser-un-retour-d-experience-85979/>
- [14] : Base de données ARIA - État au 03/11/2015 , Accidentologie Gaz Naturel Liquéfié
- [15] : Rapport d'étude de danger globale GNL2Z 2019
- [16] : [Risques technologiques: la directive SEVESO et la loi Risques | Ministères Écologie Énergie Territoires \(ecologie.gouv.fr\)](#)
- [17] : <https://ec.europa.eu/environment/seveso/>
- [18] : <https://echa.europa.eu/regulations/clp/understanding-seveso>
- [19] : <https://www.groupseco.be/fr/actualites/directive-seveso>
- [20] : <https://www.ineris.fr/fr/risques/dossiers-thematiques/risque-natech-prevenir-impact-evenement-naturel-installation-4#:~:text=En%20France%2C%20la%20directive%20Seveso,pour%20les%20sites%20'Seveso'>

[21] : [Nouvelle réglementation hydrocarbures en Algérie - CEI HALFAOUI \(cei-halfaoui.com\)](http://cei-halfaoui.com)

[22] : <https://cei-halfaoui.com/wp-content/uploads/2021/10/Decret-executif-n%C2%B0-21-319-Algerie.pdf>

[23] : <https://cei-halfaoui.com/actu/decret-21-319-quelles-nouveautes/>

[24] : https://cei-halfaoui.com/actu/decret-21-319-quelles-nouveautes/?fbclid=IwAR1SIXFCcvF95K1fEnWcW0m9Xda0M5d-H0buG4pewIUuF69haEPcTZ_UBns

[25] : [Étude de danger - Définition \(actu-environnement.com\)](http://actu-environnement.com)

[26] : Imerys Ceramics France Renouvellement et extension de la carrière du « Garrisset » Communes de Lavercaillère, Peyrilles, Thédillac (46) ETUDE DE DANGERS Référence : 95267 Octobre 2017

[27] : <https://safetyculture.com/fr/themes/amde/>

[28] : <https://sphera.com/glossaire-fr/quest-ce-que-lanalyse-des-modes-de-defaillance-et-de-leurs-effets-amde/?lang=fr>

[29] : <https://safetyculture.com/fr/themes/analyse-des-risques>

[30] : <https://www.qualitiso.com/guide-construire-une-analyse-des-risques/>

[31] : <https://blog.cognibox.com/fr/blogue/analyse-des-risques-etapes-entreprises-suivre>

[32] : <https://www.cse-guide.fr/cartographie-risques-entreprise/>

[33] : <https://www.infoprotection.fr/cartographie-des-risques/>

[34] : Analyse des risques et prévention des accidents majeurs (DRA-07) Rapport intermédiaire d'opération de Prise en compte de l'influence des barrières de sécurité dans l'évaluation des risques , S. BOUCHET Unité Prévention Direction des Risques Accidentels Juin 2001 [Microsoft Word - rp_tram_nivrim_web.doc \(ineris.fr\)](#)

[35] : [Analyse Préliminaire des Risques – Méthodologies Appliquées \(pressbooks.pub\)](#)

[36] : <https://www.inrs.fr/demarche/fondamentaux-prevention/ce-qu-il-faut-retenir.html>

[37] : <https://www.inrs.fr/demarche/protection-collective/ce-qu-il-faut-retenir.html>

[38] : <https://www.franceenvironnement.com/sous-rubrique/protection-individuelle-et-collective-pour-industrie>

[39] : <https://www.odz-consultants.com/risques-industriels/gra/>

[40] : <https://www.rapport-gratuit.com/memoire-analyse-quantitative-des-risques-industriels/>

[41] : <https://www.cyrus-industrie.com/qra/>

[42] : <https://bing.com/search?q=Quantification+des+risques>

[43] : <https://bivi.afnor.org/notice-details/quantification-des-risques/1300473>

[44] : <https://www.manager-go.com/gestion-de-projet/dossiers-methodes/incidences-dune-decision>

[45] : Contribution à l'étude de la pollution et la sécurité du pôle industriel d'Arzew Mr. TIRES Hachemi

[46] :
<https://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr1034.pdf?fbclid=IwAR2ChI3Mkoer95Aw2xLsUupc7i7ZUHvw6jH71F5AFSWsoPyMj-Ky-kgTKMM>

[47] :
<https://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr1034.pdf?fbclid=IwAR2ChI3Mkoer95Aw2xLsUupc7i7ZUHvw6jH71F5AFSWsoPyMj-Ky-kgTKMM>

Annexes :

Annexe A

Référence Annexe A : JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE
N° 64 13 Moharram 1443 / 22 août 2021, Décret exécutif n° 21-319 du 5 Muharram 1443
correspondant au 14 août 2021

6	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 64	13 Moharram 1443 22 août 2021
Décret exécutif n° 21-319 du 5 Moharram 1443 correspondant au 14 août 2021 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.		
Le premier ministre, Sur le rapport du ministre de l'énergie et des mines, Vu la Constitution, notamment ses articles 112-5° et 141 (alinéa 2) ; Vu la loi n° 19-13 du 14 Rabie Ethani 1441 correspondant au 11 décembre 2019 régissant les activités d'hydrocarbures, notamment son article 157 ; Vu le décret présidentiel n° 21-275 du 19 Dhou El Kaâda 1442 correspondant au 30 juin 2021 portant nomination du Premier ministre ; Vu le décret présidentiel n° 21-281 du 26 Dhou El Kaâda 1442 correspondant au 7 juillet 2021 portant nomination des membres du Gouvernement ; Vu le décret exécutif n° 08-312 du 5 Chaoual 1439 correspondant au 14 janvier 2015 fixant les modalités d'approbation des études d'impact sur l'environnement pour les activités relevant du domaine des hydrocarbures ; Vu le décret exécutif n° 15-09 du 23 Rabie El Aouel 1436 correspondant au 14 janvier 2015 fixant les modalités d'approbation des études de dangers spécifiques au secteur des hydrocarbures et leur contenu ; Vu le décret exécutif n° 16-164 du 26 Chaâbane 1437 correspondant au 2 juin 2016 portant création, missions, organisation et fonctionnement des directions de wilayas de l'énergie ; Vu le décret exécutif n° 21-239 du 19 Chaoual 1442 correspondant au 31 mai 2021 fixant les attributions du ministre de l'énergie et des mines ;		
Décrète :		
Article 1er. — En application des dispositions de l'article 157 de la loi n° 19-13 du 14 Rabie Ethani 1441 correspondant au 11 décembre 2019 régissant les activités d'hydrocarbures, le présent décret a pour objet de fixer : — la liste des installations et ouvrages relevant des activités d'hydrocarbures qui, en raison de leur importance et des dangers ou des effets que leur exploitation génère, sont soumis, selon le cas, à étude d'impact sur l'environnement et étude de dangers ou à notice d'impact sur l'environnement et notice de dangers ; — les conditions et procédures d'octroi des autorisations d'exploitation des installations et ouvrages relevant des activités d'hydrocarbures ;		
— les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement, leur contenu et la périodicité de leur actualisation ; — les modalités d'approbation des études et des notices de dangers, leur contenu et la périodicité de leur actualisation ; — les modalités d'approbation des études de risques relatives aux activités de recherche et leur contenu ; — la procédure d'enquête publique relative aux activités d'hydrocarbures.		
Art. 2. — Au sens du présent décret, il est entendu par : Commission de wilaya chargée du contrôle des activités d'hydrocarbures : Ci-après dénommée « Commission hydrocarbures » : la commission instituée par l'article 19 du présent décret. Danger : Une propriété intrinsèque d'une substance, d'un agent, d'une source d'énergie ou d'une situation qui peut provoquer des dommages pour les personnes, les biens et l'environnement. Demandeur : Le prospecteur, l'entreprise nationale, les parties contractantes, l'opérateur amont, l'opérateur aval et le concessionnaire. Installation : Unité ou ensemble d'unités, permettant la conduite des activités hydrocarbures, sur terre ou en mer, sous la responsabilité d'un exploitant. Ouvrage : Toute canalisation ou ensemble de canalisations de transport d'hydrocarbures ou de produits pétroliers y compris les installations intégrées liées à la canalisation ou à l'ensemble des canalisations et qui sont sous la responsabilité d'un exploitant. Risque : Elément caractérisant la survenue du dommage potentiel lié à une situation de danger. Il est habituellement défini par deux éléments : la probabilité de survenance du dommage et la gravité des conséquences.		
CHAPITRE 1er LISTE DES INSTALLATIONS ET OUVRAGES RELEVANT DES ACTIVITES D'HYDROCARBURES SOUMIS A ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT ET ETUDE DE DANGERS OU A NOTICE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT ET NOTICE DE DANGERS		
Art. 3. — La liste des installations et ouvrages soumis à étude d'impact sur l'environnement et étude de dangers est fixée au tableau (A) de l'annexe 1 du présent décret. La liste des installations et ouvrages soumis à notice d'impact sur l'environnement et notice de dangers est fixée au tableau (B) de l'annexe 1 du présent décret.		

10	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 64	13 Moharram 1443 22 août 2021
Art. 27. — Lorsque les circonstances l'exigent, la commission hydrocarbures peut charger un ou plusieurs de ses membres de missions de contrôle particulières. La commission peut aussi effectuer des inspections de contrôle des installations et ouvrages hydrocarbures, à la demande de l'ARH ou à la demande du président de la commission.		
Art. 28. — Il est institué une commission de consultation regroupant les représentants de l'ARH, du ministère chargé de l'environnement et de la direction générale de la protection civile. La commission de consultation se réunit à l'issue de l'examen des études dans le respect des dispositions des chapitres 3 et 4 ci-dessous, afin de recueillir les avis de ses membres.		
Art. 29. — Les membres de la commission de consultation et leurs suppléants sont désignés sur proposition de l'autorité dont ils relèvent, pour une durée de trois (3) ans renouvelable, par arrêté du ministre chargé des hydrocarbures. Il est procédé à leur remplacement dans les mêmes formes.		
Art. 30. — La présidence et le secrétariat de la commission de consultation sont assurés par l'ARH.		
Art. 31. — La commission de consultation peut faire appel à toute personne qui, en raison de sa compétence, peut contribuer par son expertise sur des questions spécifiques.		
Art. 32. — Le procès-verbal des travaux de la commission de consultation fait ressortir l'avis de chaque membre de la commission.		
Art. 33. — Lorsque l'installation ou l'ouvrage hydrocarbures est endommagé(e) à la suite d'un incendie, d'une explosion ou de tout autre accident majeur, l'exploitant est tenu de transmettre un rapport à l'ARH et au wali territorialement compétent.		
Ce rapport précise : — les circonstances et les causes de l'accident ; — les dommages sur les personnes, les biens et l'environnement ; — les mesures prises ou envisagées pour éviter un accident similaire et pour en pallier les effets à moyen ou à long terme.		
Art. 34. — Toute modification du périmètre des activités hydrocarbures, de la dimension des installations, de la capacité de traitement et/ou de production, des procédés technologiques prévus ou de conversion ou reconversion des équipements, doit faire l'objet d'une nouvelle demande d'autorisation d'exploitation, conformément aux dispositions du présent décret.		
Dans le cas de l'actualisation de l'étude ou de la notice d'impact sur l'environnement et/ou de l'étude ou de la notice de dangers, l'autorisation d'exploitation peut être mise à jour, suite à l'appréciation, selon le cas, de l'ARH ou du wali territorialement compétent. Art. 35. — Lorsqu'une installation ou un ouvrage hydrocarbures change d'exploitant, le nouvel exploitant, dans le mois qui suit la prise en charge de l'exploitation, doit en faire la déclaration à l'ARH et au wali territorialement compétent. Art. 36. — Si l'installation ou l'ouvrage hydrocarbures est mis à l'arrêt définitif, son exploitant est tenu de procéder à l'abandon et à la remise en état des sites, conformément à la législation et à la réglementation en vigueur et aux prescriptions contenues dans l'autorisation d'exploitation ainsi qu'aux clauses du cahier des charges spécifiques aux différents sites. A ce titre, dans les trois (3) mois avant la date de l'arrêt définitif, l'exploitant est tenu de transmettre à l'ARH et à la commission hydrocarbures territorialement compétente un programme des travaux d'abandon et de remise en état des sites.		
CHAPITRE 3 LES MODALITES D'APPROBATION DES ETUDES ET DES NOTICES D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT, LEUR CONTENU ET LA PERIODICITE DE LEUR ACTUALISATION		
Art. 37. — L'étude ou la notice d'impact sur l'environnement vise à déterminer l'insertion d'un projet dans son environnement en identifiant et en évaluant les effets directs et/ou indirects du projet, et vérifie la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement par le projet concerné. A ce titre, l'étude ou la notice d'impact sur l'environnement doit prévoir les mesures nécessaires pour éliminer, atténuer ou compenser les impacts négatifs et améliorer les effets positifs du projet. Les contenus de l'étude et de la notice d'impact sur l'environnement sont fixés à l'annexe 2 du présent décret.		
Art. 38. — L'étude ou la notice d'impact sur l'environnement est réalisée, à la charge du demandeur, par un bureau spécialisé pré-qualifié, conformément à la réglementation en vigueur.		
Section 1 Les modalités d'approbation des études d'impact sur l'environnement et leur contenu		
Art. 39. — L'étude d'impact sur l'environnement est introduite par le demandeur auprès de l'ARH pour approbation.		

Annexe B :

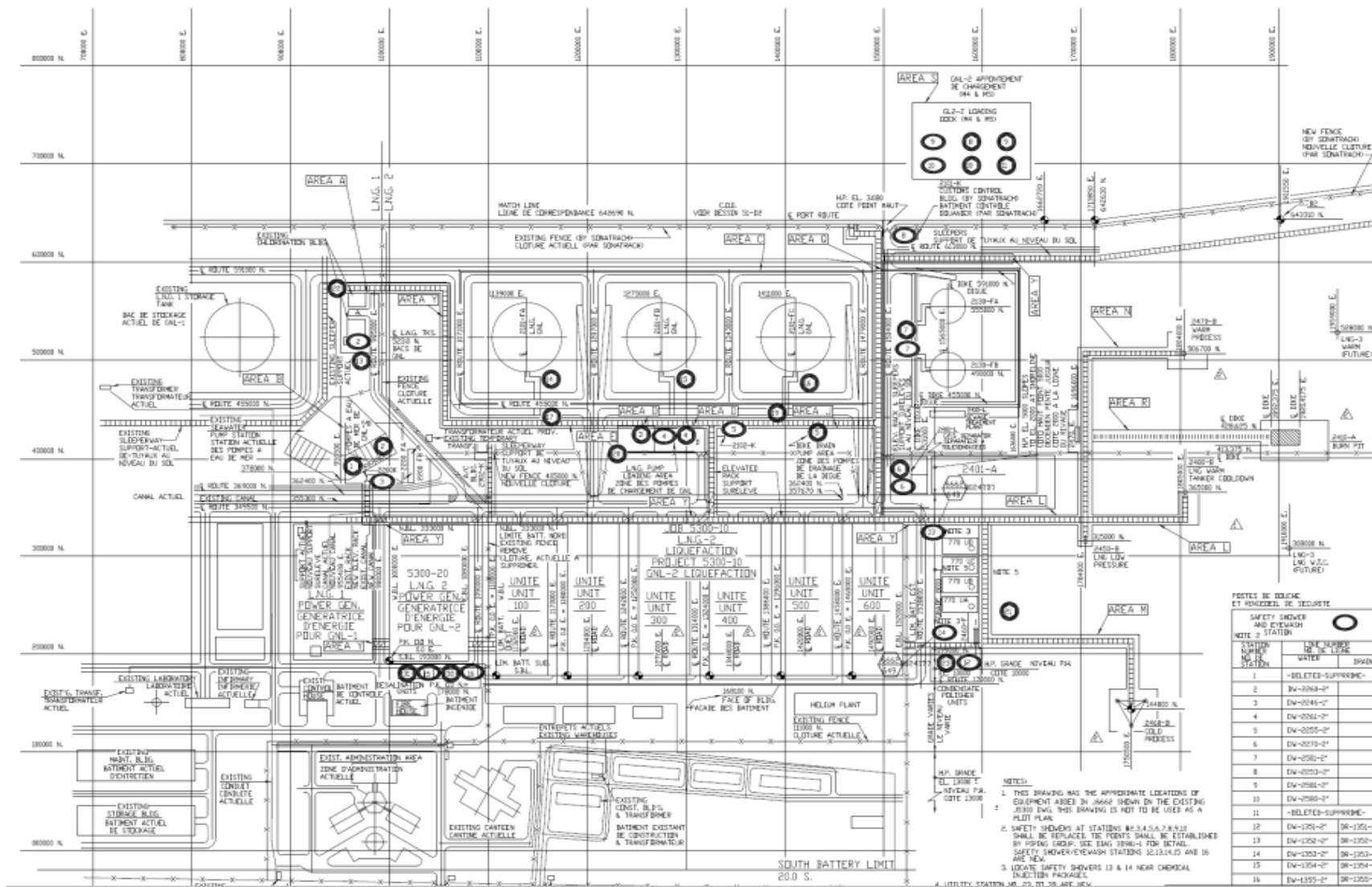
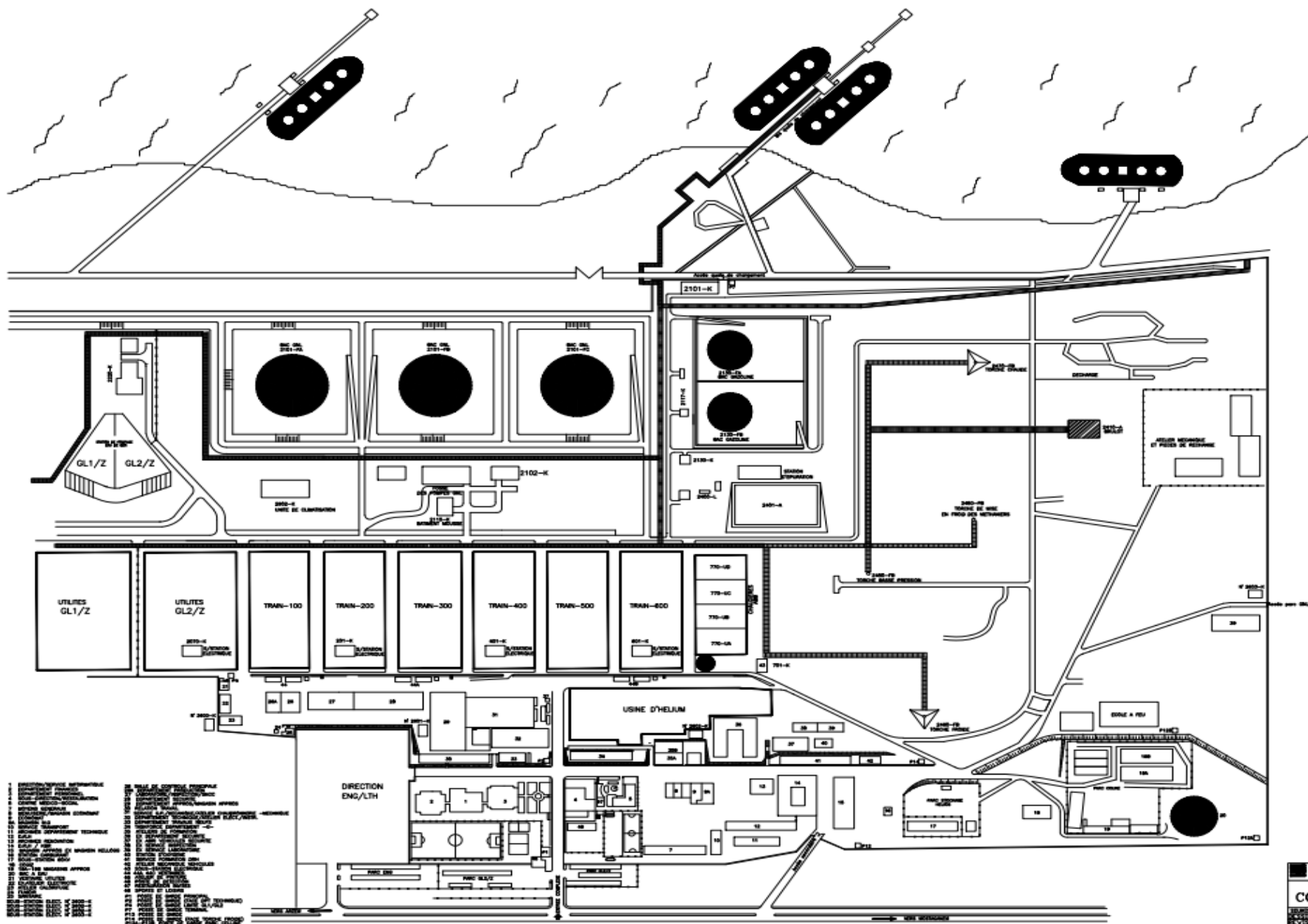


Figure 1: PLAN GENERALE DU SITE GNL2Z



SYMBOL	DESCRIPTION
...	...

DEPARTEMENT TECHNIQUE			
GL2Z			
PLAN DE MASSE			
COMPLEXE GL2Z			
DATE	IND	VISA	DATE
...

Figure 2: Plan de mase R1-model V2022 de GNL2Z

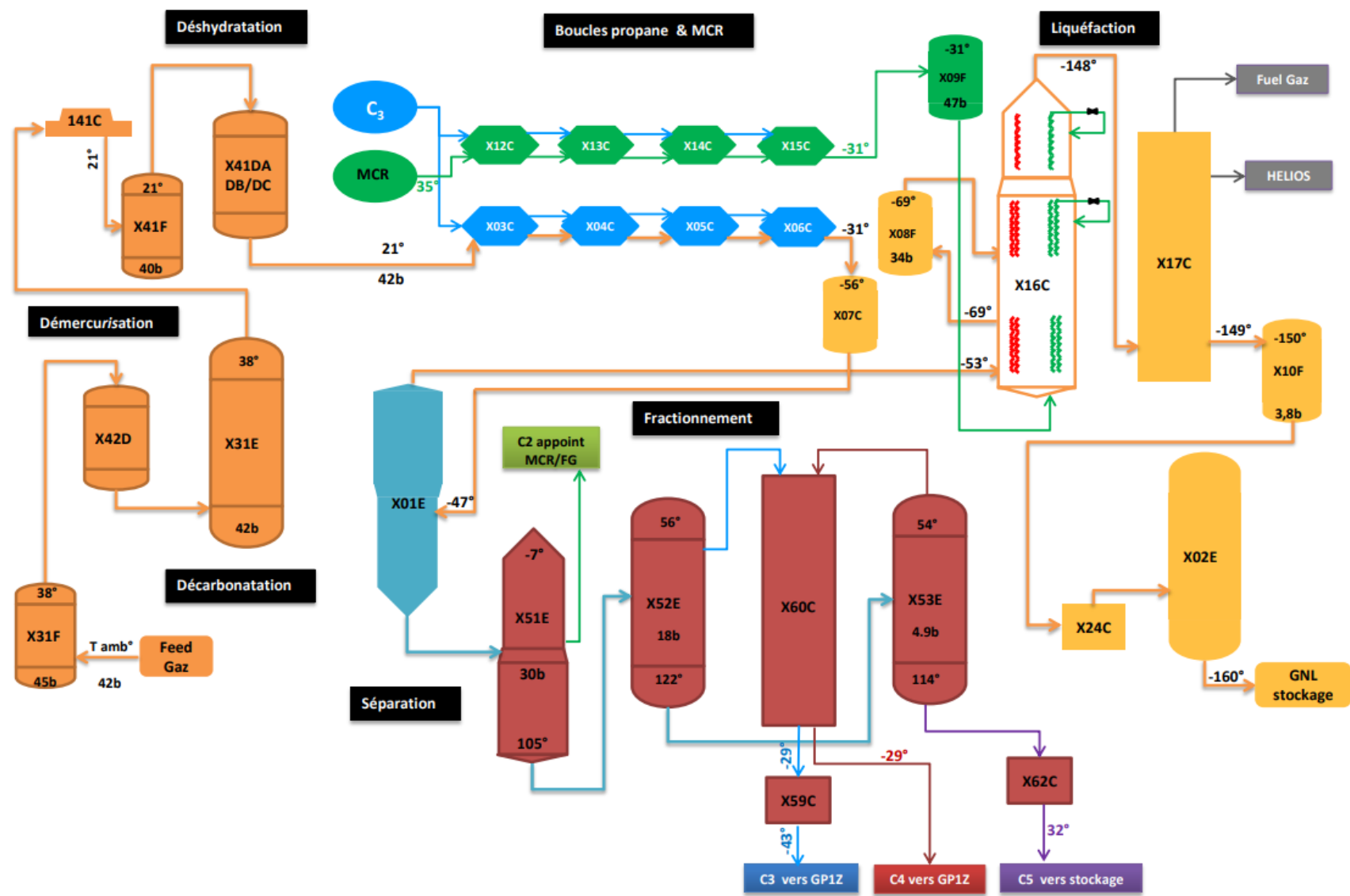


Figure 3: Shéma procédé simplifié GNL2Z

Annexe C :

- **Logiciels utilisés :**

1. **Logiciel PHA :**

- **Pourquoi Process Hazard Analysis (PHA) ?**

Le logiciel PHA offre une solution efficace pour respecter les réglementations et réduire les risques liés aux processus industriels. Il permet de prévenir les incidents qui peuvent entraîner des blessures, des pertes en capital, des dommages environnementaux et des problèmes de réputation. Le logiciel PHA est convivial, flexible et basé sur les connaissances acquises grâce à une utilisation commerciale étendue. Il propose des modèles standard pré-formatés et de nombreuses fonctionnalités intuitives. En utilisant PHA, les entreprises peuvent capturer et partager les connaissances en matière d'évaluation des risques, assurant ainsi la conservation de l'expertise en ingénierie et facilitant les évaluations futures.

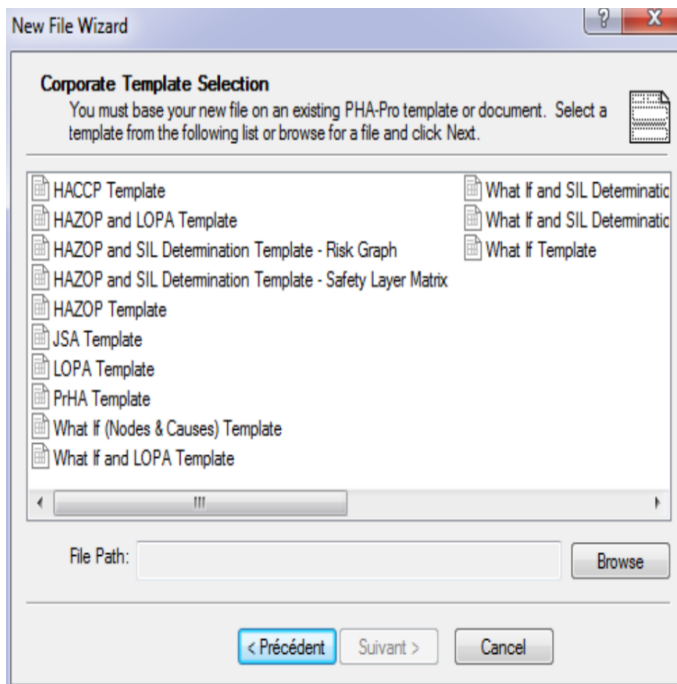


Figure 4: Les modèles standards de PHA

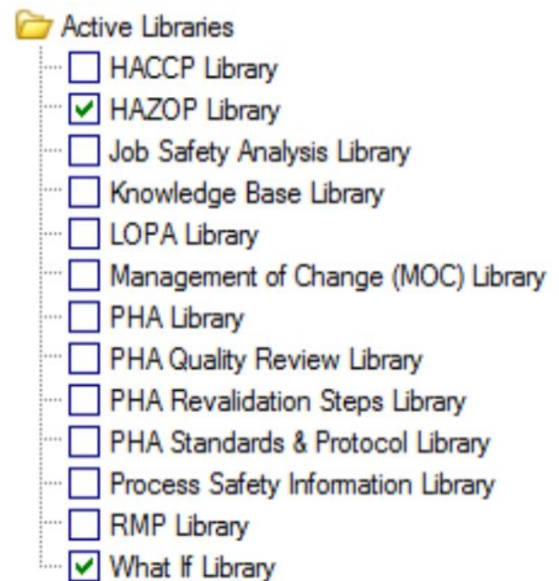


Figure 5: Bibliothèques pré-remplies de PHA

2. Logiciel PHAST8.0 :

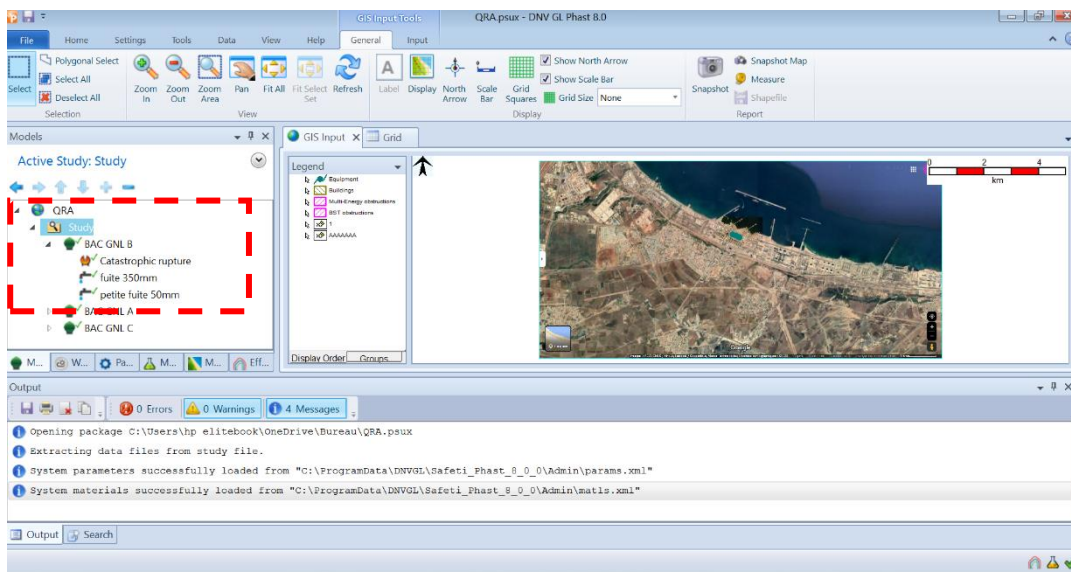


Figure 6 : Introduction du modèle général

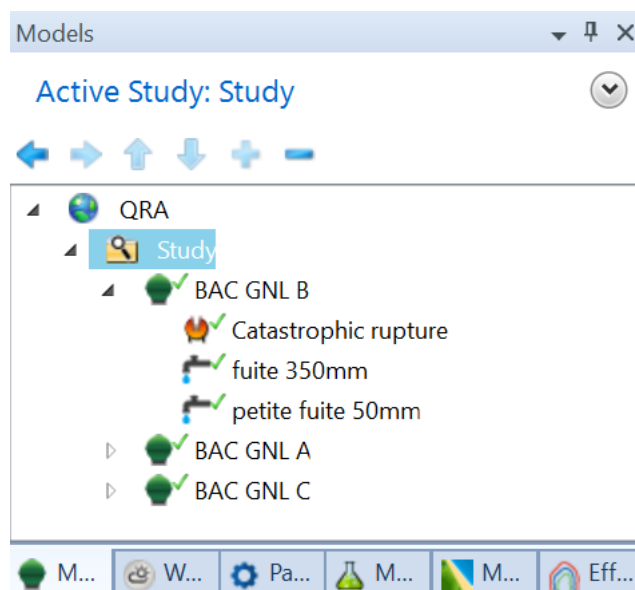


Figure 7 : Différents types de scénarios

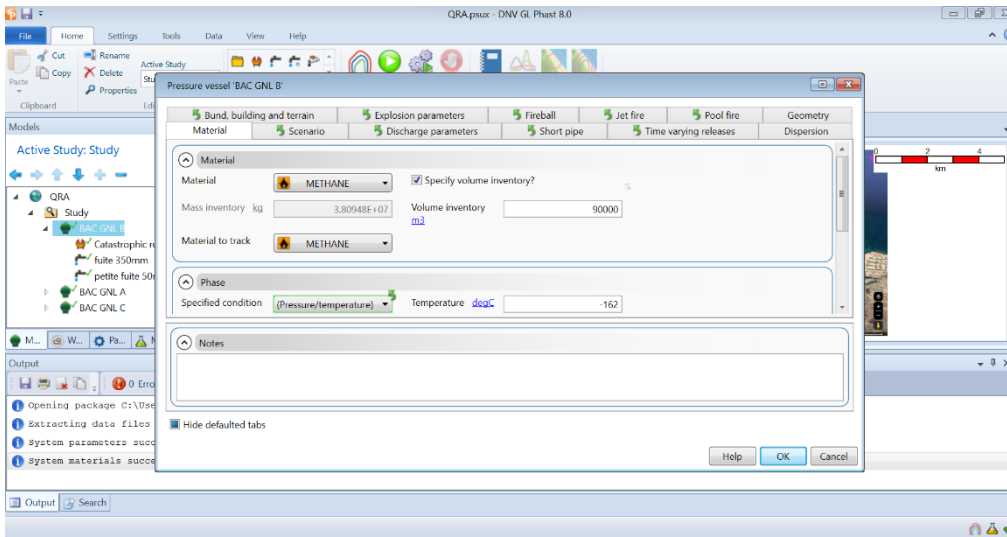


Figure 8 : Données importantes équipement

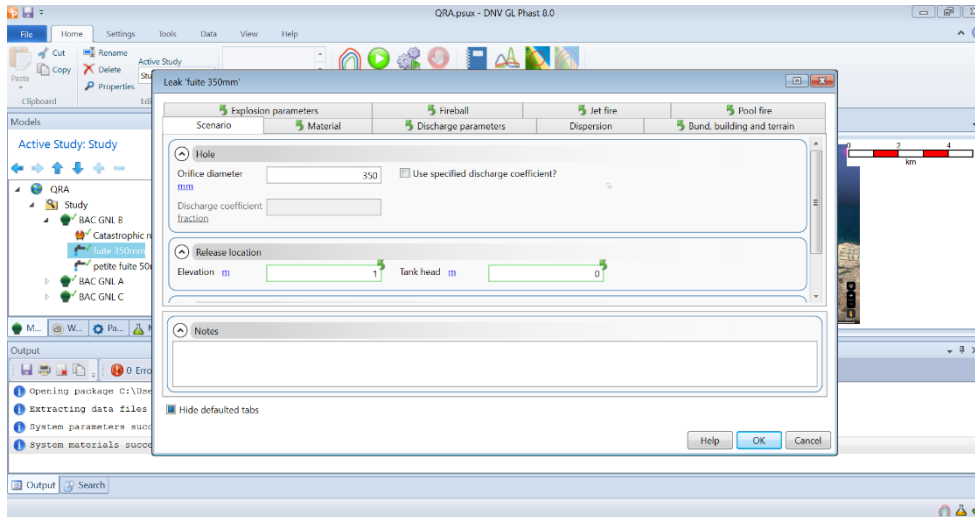


Figure 9 : Données importantes scénario

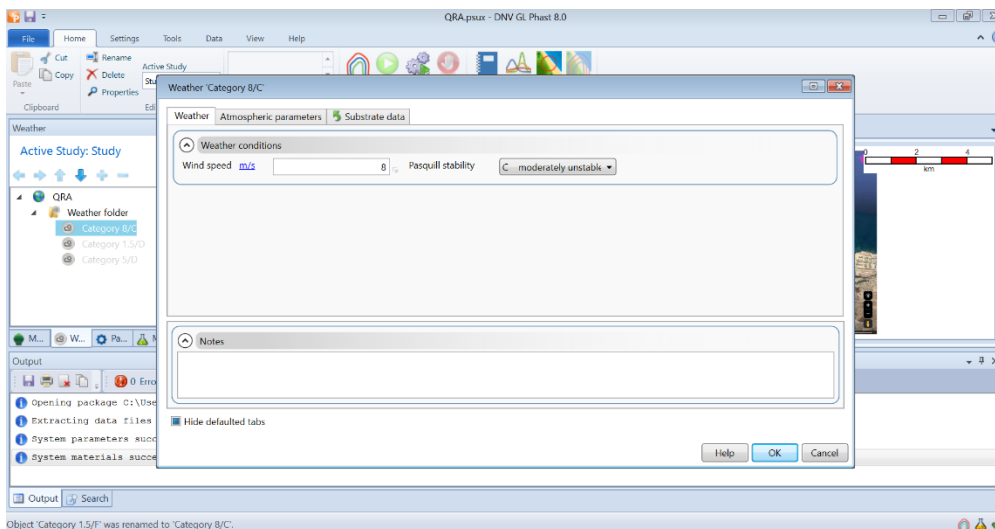


Figure10 : Données climatique

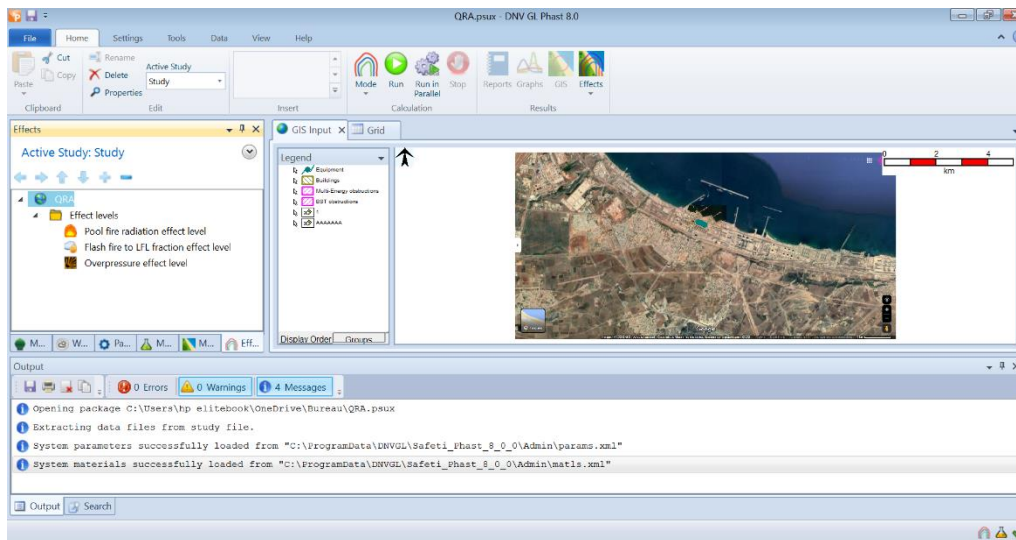


Figure11 : Niveau d'effets

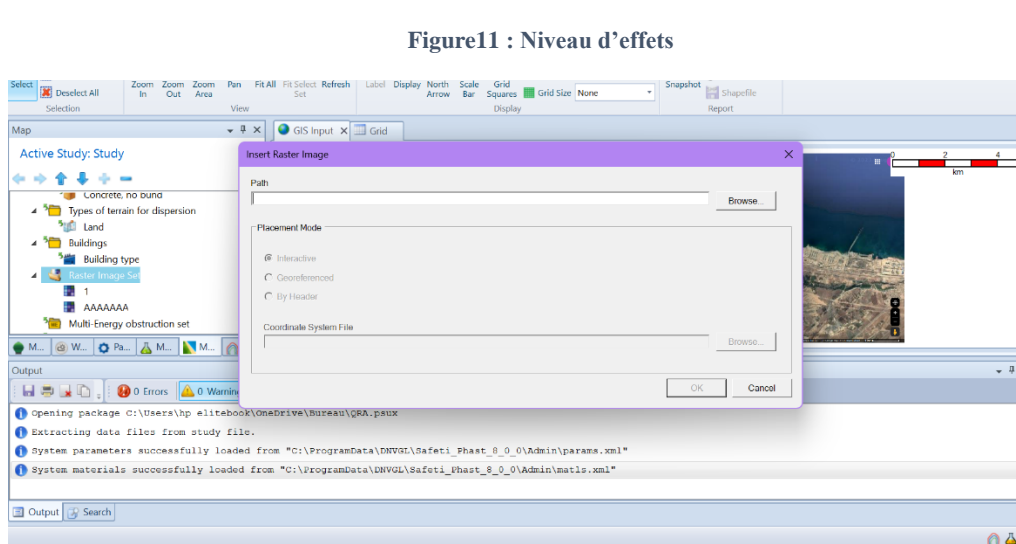


Figure 12 : L'insertion d'une photo

3. Logiciel SAFETI 8.0 :

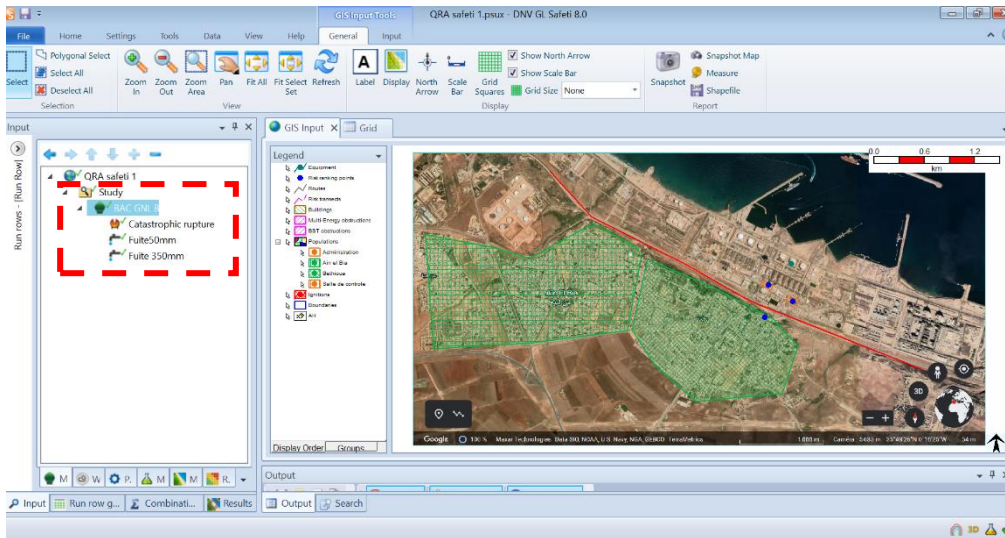


Figure 13 : Introduction du modèle général

Figure 13 : Introduction du modèle général

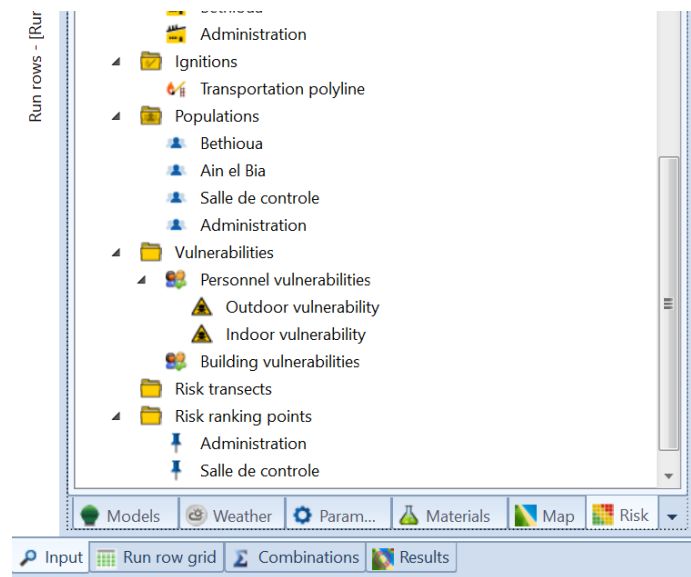


Figure 14 : Facteurs de risque

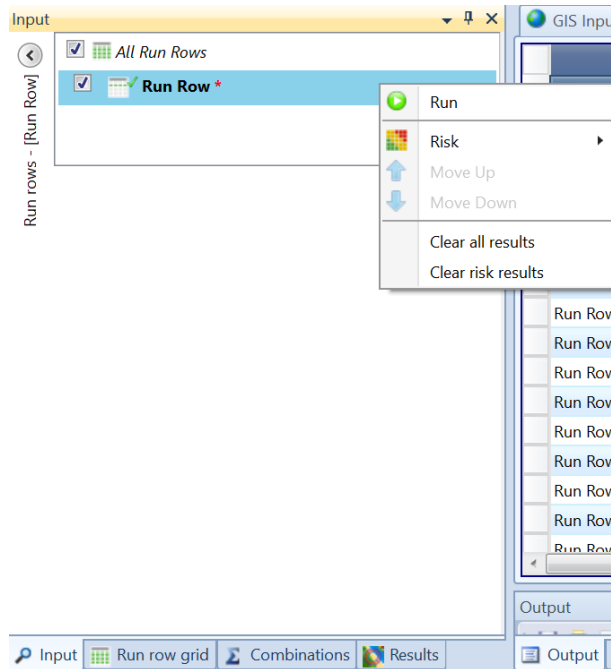


Figure 15 : Lancement du calcul

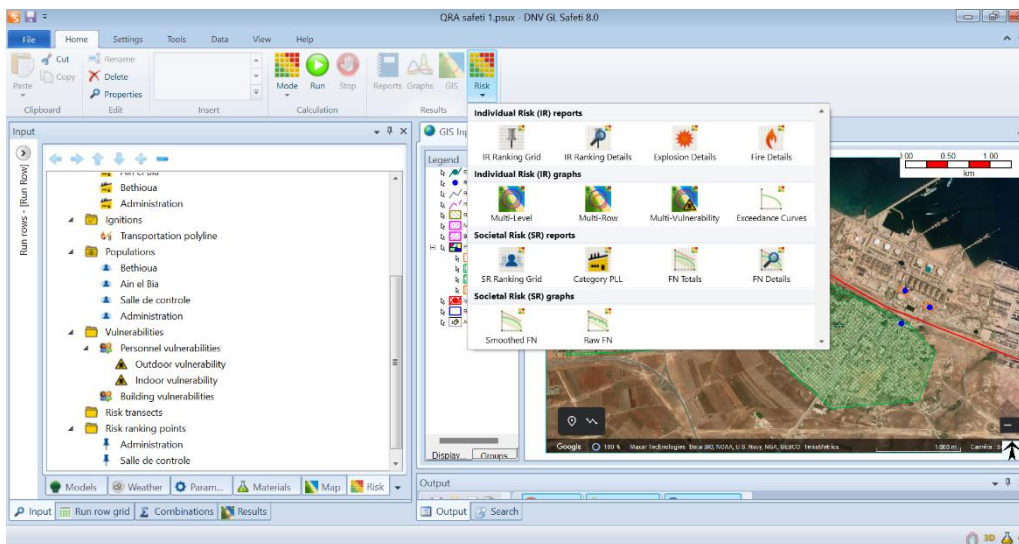


Figure16 : Résultats du calcul