

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Frères Mentouri Constantine -1
Faculté des Sciences de la Technologie

Département Génie des Transports



N° de série : 58/D3C/2021

N° d'ordre : 05/TR/2021

Thèse

Pour l'Obtention du diplôme de
DOCTORAT 3ème CYCLE

Domaine : Science et technologie
Filière / Spécialité : Hygiène et Sécurité Industrielle

Présentée par

HASSANI Mouaadh

Thème

**Evaluation de la vulnérabilité humaine,
matérielle et environnementale face aux divers
accidents industriels majeurs ou aux
catastrophes.**

Devant le Jury :

Président :	Pr. KHOLAI Omar	Université Frères Mentouri, Constantine 1
Rapporteur :	Dr. BOUZERARA Ramdane	Université Frères Mentouri, Constantine 1
Co-Rapporteur :	Pr. CHAIB Rachid	Université Frères Mentouri, Constantine 1
Examineur :	Pr. BENRETEM Abdelouhab	Université Badji Mokhtar, Annaba
Examineur :	Pr. HEROUS Lazhar	Université Badji Mokhtar, Annaba
Examineur :	Pr. BOUZAOUIT Azzedine	Université 20 Aout 1955, Skikda

Année Universitaire : 2020-2021

أهدي هذا العمل:

إلى كل طالب علم صاحب رسالة

إلى والداي وإلى عائلتي

معاذ

Remerciements

اللهم لك الحمد حمدا كثيرا طيبا مباركا فيه، ملء السموات وملء الأرض، وملء ما شئت من شيء بعد، أهل الثناء والمجد، أحق ما قال العبد، وكلنا لك عبد، أشكرك ربي على نعمك التي لا تعد، وآلائك التي لا تحد، أحمدك ربي وأشكرك على أن يسرت لي إتمام هذا البحث على الوجه الذي أرجو أن ترضى به عني.

ثم أتوجه بالشكر إلى من رعياني طالبا في برنامج الدكتوراه، ومعدا هذا البحث أستاذاي ومشرفي الفاضلين الأستاذان: **شايب رشيد** و **بوزرارة رمضان**، الذين لهما الفضل- بعد الله تعالى- على البحث والباحث مذ كان الموضوع عنوانا وفكرة إلى أن صار رسالة وبحثا. فلهما مني الشكر كله والتقدير والعرفان.

وأتوجه بالشكر الجزيل إلى جميع أعضاء مخبر هندسة النقل والبيئة وطاقم قسم هندسة النقل أساتذة وإدارة في كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة الاخوة منتوري بقسنطينة الذين لم يألوا جهدا في توجيهي وإمدادي بما احتجت إليه.

ويوجب علي الاعتراف بالفضل أن أشكر السيد: **يعيش ياسين** رئيس قسم الوقاية والامن الصناعي بمديرية العمليات، فرع التنقيب بمؤسسة سونطراك و لكل زملائي بالعمل في ذات المكان، لما قدموه لي من مساعدة وتشجيع و تسهيل طيلة مشوار الدراسة.

وأقدم بشكري الجزيل في هذا اليوم إلى أساتذتي الموقرين في لجنة المناقشة رئاسة وأعضاء، الاستاذة: **خولاي عمر**، **بن رائم عبد الوهاب**، **حيروس لزهرو بوزويت عزالدين**، وهذا لتفضلهم علي بقبول مناقشة هذه الرسالة، فهم أهل لسد خللها وتقويم معوجها وتهذيب نتواتها والإبانة عن مواطن القصور فيها، سائلا الله الكريم أن يثيبهم عني خيرا.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
<i>Chapitre 01</i>	<i>4</i>
CONCEPTS GENERAUX SUR LE RISQUE ET LA VULNERABILITE DES ACCIDENTS INDUSTRIELS MAJEURS	4
1.1. Introduction	4
1.2. Concepts sur les risques d'accidents industriels majeurs	5
1.2.1. Notion de risque.....	5
1.2.2. Définition du risque industriel majeur	7
1.2.3. Typologies et conséquences des risques industriels majeurs	9
1.2.4. Définition de l'installation à risque majeur (Installations classées).....	15
1.2.5. Définition de la zone a risque majeur	16
1.2.6. Définition d'Accident industriel majeur	16
1.3. Les phénomènes critiques des risques industriels majeurs.....	16
1.3.1. Phénomène de BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)	16
1.3.2. Phénomène d'UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion).....	19
1.3.3. Phénomène de Feu flash (Flash Fire)	21
1.3.4. Phénomène de Feu de Jet (Feu de chalumeau)	21
1.3.5. Phénomène de Feu de nappe (feu de flaque)	23
1.3.6. Phénomène de Boilover	23
1.4. Retour d'expérience sur les accidents industriels majeurs	24
1.4.1. Accidents de Skikda (Janvier 2004).....	25
1.4.2. Incendie sur bacs de pétrole S105/106, (Octobre 2005).....	25
1.5. Réglementation internationale et locale pour les risques d'accidents industriels majeurs.....	26
1.5.1. Le recueil « Prévention des accidents industriels majeurs » de l'OIT	26
1.5.2. Directives européennes SEVESO	27
1.5.3. Règlements Algérienne	27
1.6. Intégration de la vulnérabilité dans l'approche d'évaluation de risque	28
1.7. Concepts et définitions de la vulnérabilité et la résilience	32
1.7.1. La Vulnérabilité	32
1.7.2. La Résilience	36
1.8. Prévention des risques Industriels majeurs.....	37
1.9. Conclusion.....	39

<i>Chapitre 02</i>	40
--------------------------	----

MODELES ET APPROCHES D'ANALYSE ET D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE	40
---	----

2.1. Introduction	40
2.2. Modèles proposés dans le cadre des catastrophes naturelles et changement climatique.....	41
2.2.1. Modèle de la complexité des concepts de vulnérabilité	41
2.2.2. Modèle de Progression de la vulnérabilité :	42
2.2.3. Modèle des composantes de la vulnérabilité :.....	43
2.2.4. Modèle socio-écologique de la vulnérabilité.....	44
2.2.5. Modèle des dangers du lieu	49
2.2.6. Modèle de la vulnérabilité des bâtés et des communautés.....	50
2.2.7. Modèle de Structure générale de la vulnérabilité.....	51
2.2.8. Ensemble des Modèles d'évaluation de la vulnérabilité.....	53
2.3. Modèles et approches d'analyse et évaluation de la vulnérabilité des installations industrielles face aux risques d'agression et malveillance	54
2.3.1. Approche SVA du Centre Américain de la sécurité des processus chimiques (CCPS):	54
2.3.2. Approche SVA de l'institut Américain de pétrole API/NPRA.....	61
2.3.3. Approche d'analyse de la vulnérabilité des sites industriels chimiques face aux menaces de malveillance et de terrorisme (INERIS)	63
2.3.4. Approche d'analyse et gestion des risques pour la protection des Installations critiques RAMCAP	64
2.3.5. Approche d'outil d'évaluation de la sureté chimique (CSAT/SVA)	65
2.3.6. Modèle de la societe Américaine de l'industrie chimique et de ses affiliés SOCMA/SVA	66
2.4. Modèles et approches d'analyse et évaluation de la vulnérabilité face aux risques industriels majeurs.....	66
2.4.1. Approche d'évaluation des risques accidentels pour les industries ARAMIS	66
2.5. Conclusion :	70

<i>Chapitre 03</i>	71
--------------------------	----

ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE DU RISQUE INDUSTRIEL MAJEUR : ETUDE DE CAS	71
--	----

3.1. Introduction	71
3.2. Définition de la méthode proposée.....	72
3.3. Les étapes de l'approche VAMIR.....	74
3.3.1. Présentation du champ d'études.....	74

3.3.2. Identification des scénarios possibles du risque.....	74
3.3.3. Détermination des effets propagés.....	74
3.3.4. Identification des zones des effets	75
3.3.5. Identification des cibles.....	77
3.3.6. Evaluation de la vulnérabilité.....	79
3.3.7. Réduction de la vulnérabilité.....	82
3.3.8. Réévaluation de la vulnérabilité.....	83
3.4. Application de la méthode VAMIR (Etude de cas).....	84
3.4.1. Définition du système et des objectifs à atteindre de l'étude	84
3.4.2. Données d'entrée nécessaires de l'étude	84
3.4.3. Identification du scénario étudié	93
3.4.4. Description de l'outil de simulation.....	97
3.4.5. Simulation du scénario de BLEVE d'une sphère GPL	98
3.4.6. Identification des cibles touchées.....	99
3.4.7. Analyse et évaluation de la vulnérabilité	100
3.5. Conclusion.....	102
 <i>Chapitre 04</i>	 <i>104</i>
 REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU RISQUE INDUSTRIELS MAJEUR.....	 104
4.1. Introduction	104
4.2. Réduction de la vulnérabilité.....	105
4.2.1. Réduction de l'intensité des effets (Mitigation).....	105
4.2.2. Réduction de la sensibilité des cibles (Adaptation).....	114
4.3. Ré-identification des cibles Après la réduction de Vulnérabilité	122
4.4. Réévaluation de la vulnérabilité Après la réduction	123
4.5. Conclusion.....	125
 CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES	 127
Annexe A- Résultats des simulations des BLEVEs de sphère GPL de Volume de 0 à 100% (7170 m ³).....	129
Références Bibliographiques.....	133

Liste des figures

Figure 1.1. Courbe de Farmer, concept du risque majeur (ORRM.fr)	8
Figure 1.2. Effet des accidents industriels (ILO & WHO, 1991).....	10
Figure 1.3. Les phases du phénomène de BLEVE (ERI.inc)	19
Figure 1.4. Explosion d'UVCE dans une zone de processus. (cngspw.com)	21
Figure 1.5. Caractéristiques du phénomène de feu de jet (Hassani, 2014)	22
Figure 1.6. Simulation du phénomène de feu de flaque (Truchot et al., 2010).....	23
Figure 1.7. Les phases du phénomène de Boilover (Slideserve.com).....	24
Figure 1.8. Les composants d'évaluation du Risque majeur Aléa/Vulnérabilité	30
Figure 1.9. Cadres de Réalisation du plan général de la prévention des risques majeurs (Hassani et al., 2018).....	38
Figure 2.1. Représentation de Birkmann de l'échelle et de la complexité des concepts de vulnérabilité (Birkmann, 2013).	41
Figure 2.2. La progression de la vulnérabilité. (Wisner et al., 2011).....	43
Figure 2.3. Les cinq composantes de la vulnérabilité et leurs principaux déterminants (Cannon, 2008).....	44
Figure 2.4. Les déterminants sociaux de la catastrophe naturelle de Cannon.(Wisner et al. 2004).....	45
Figure 2.5. Le modèle socio-écologique de la vulnérabilité (Turner et al., 2003).	46
Figure 2.6. Modèle socio-écologique du IPCC (2012), adapté par Birkmann & Welle, 2015.	48
Figure 2.7. Modèle des dangers du lieu (Cutter, 1996).	50
Figure 2.8. Modèle simplifié de la vulnérabilité des bâtés et des communautés (Hufschmidt, 2011).....	51
Figure 2.9. Structure générale de la vulnérabilité (Kumar & Bhattacharjya, 2020b)	52
Figure 2.10. Vue d'ensemble des différentes approches, méthodologies et outils d'évaluation des pertes et dommages (Birkmann & Welle, 2015).....	53
Figure 2.11. Méthode d'évaluation de la vulnérabilité de la sureté (CCPS, 2010)	55
Figure 2.12. Etape d'analyse et Evaluation de la vulnérabilité de SVA/CCPS (CCPS, 2010)	58
Figure 2.13. Méthodologie d'évaluation des vulnérabilités de sûreté SVA (API & NPRA, 2003).....	62
Figure 2.14.. Synergie de la méthode d'analyse de vulnérabilité de sureté de l'INERIS avec d'autres méthodes. (INERIS, 2015)	63
Figure 2.15. Processus de la méthode d'analyse et gestion des risques pour la protection des Installations critiques RAMCAP (ASME, 2005).	65
Figure 2.16. Structure hiérarchique de la vulnérabilité globale (De Dianous et al., 2004).....	68
Figure 2.17. Structure hiérarchique de la vulnérabilité humaine (De Dianous et al., 2004)....	68

Figure 3.1. Algorithme d'analyse et d'évaluation de la vulnérabilité face au risque industriel majeur	73
Figure 3.2. Matrice d'évaluation de vulnérabilité	79
Figure 3.3. Processus de Réduction de la Vulnérabilité.....	83
Figure 3.4. Situation géographique “ Hassi-R'mel ” (Sellami, 2013)	84
Figure 3.5. Installations voisines de CSTF.....	88
Figure 3.6. Conception d'une Sphère GPL	93
Figure 3.7. Arbres des défaillances d'une sphère GPL sous pression.....	94
Figure 3.8. Arbres des conséquences de la perte de confinement d'une sphère GPL sous pression.....	96
Figure 3.9. Bow-tie d'une perte de confinement d'une sphère GPL.....	97
Figure 3.10. Cartographie des zones des effets thermiques et des zones vulnérables.....	99
Figure 3.11. Classement des cibles touché dans la matrice de Vulnérabilité.....	102
Figure 4.1. Courbe de diamètre de Boule de Feu/ Volume de Sphère GPL.....	106
Figure 4.2. Courbe de Durée de Boule de Feu/ Volume de Sphère GPL.....	107
Figure 4.3. Courbes des Doses Thermiques de référence (Flux/Durée).....	108
Figure 4.4. Distances des effets thermiques parraport au taux de remplissage.....	110
Figure 4.5. Distances des effets thermiques parraport au volume de GPL	110
Figure 4.6. Zones des effets thermiques sur l'homme à 100% de volume	111
Figure 4.7. Zones des effets thermiques sur l'homme à 39% de volume	112
Figure 4.8. Zones des effets thermiques sur l'homme à 21% de volume	114
Figure 4.9. Zone refuge dans le cas des effets thermiques continus (intensité allant jusqu'à 8 kW/m ²) (AMARIS & INERIS, 2017)	115
Figure 4.10. Zone refuge dans le cas des effets de surpression (intensité allant jusqu'à 50 mbar) (AMARIS & INERIS, 2017)	115
Figure 4.11. Exemples des pictogrammes des zones de rassemblement et de refuge (AMARIS & INERIS, 2017).....	119
Figure 4.12. Exemple d'un mur coupe-feu ou écrans thermiques (AMARIS & INERIS, 2017)	121
Figure 4.13. Exemple d'un merlon contre les effets thermiques (AMARIS & INERIS, 2017)	121
Figure 4.14. Classement de cibles touchées dans la matrice de vulnérabilité avant et après la réduction	124

Liste des tableaux

Tableau 1.1. Liste des menaces selon la catégorie des cibles	6
Tableau 1.2. Echelle de la gravité des dommages Humains et matériels (Huet, 2000)	7
Tableau 1.3. Exemples d'explosions industrielles	12
Tableau 1.4. Exemples d'incendies majeurs	13
Tableau 1.5. Exemples de rejets toxiques importants	15
Tableau 2.1. Tableau d'analyse de la vulnérabilité propose par l'ENERIS (Thiebot, 2016) ...	64
Tableau 3.1. Les effets des phénomènes dangereux (Dianous et al.,2004).....	75
Tableau 3.2. Formulaire proposée de check-list d'identification des cibles touchées	78
Tableau 3.3.Echelle d'évaluation de vulnérabilité	80
Tableau 3.4.Echelle d'évaluation de l'Intensité	80
Tableau 3.5.Echelle d'évaluation de la Sensibilité.....	81
Tableau 3.6.Résumé non-technique de la méthode (tableau de VAMIR).....	82
Tableau 3.7.Données météorologiques de HRM.....	85
Tableau 3.8.Population avoisinantes et établissements.....	86
Tableau 3.9.Différents secteurs de SH/DP Hassi-R'mel.....	87
Tableau 3.10.Installations voisines de CSTF	88
Tableau 3.11.Caractéristiques Des Sphères GPL.....	91
Tableau 3.12.Taux de contributions de causes de défaillance des réservoirs (Spouge, 2006). 94	
Tableau 3.13.Probabilités de défaillance (Rupture) d'un réservoir (/an) (SRD, 2009).....	95
Tableau 3.13.Caractéristique de boule de feu	98
Tableau 3.14.Distance des seuils des effets thermiques.....	98
Tableau 3.15.Identification des cibles touchées par le phénomène étudié.....	100
Tableau 3.16.Analyse et Evaluation de Vulnérabilité des cibles touchées.	101
Tableau 4.1. Caractéristiques de boule de feu suivant le volume et le taux de remplissage. .	106
Tableau 4.2. Flux thermiques équivalents aux seuils de référence des doses thermiques.	108
Tableau 4.3. Distances des effets thermiques par rapport au taux de remplissage.....	109
Tableau 4.4. Caractéristique de boule de feu de 21% de remplissage	113
Tableau 4.5. Distance des seuils des effets thermiques de 21% de remplissage.....	113
Tableau 4.6. Efficacité des barrières technique dans tous les types des effets.....	120
Tableau 4.7. Identification des cibles touchées Après la réduction d'intensité.....	122
Tableau 4.8. Les cibles touchées après l'adaptation et la mitigation	123
Tableau 4.9. Analyse et Evaluation de Vulnérabilité des cibles touchées après la réduction	124

Listes des Acronymes et Symboles

Acronymes

AHP	Analytic Hierarchy Process
ALOHA®	Aerial Locations of Hazardous Atmospheres
API	American Petroleum Institute
ARAMIS	Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of SEVESO II directive
ASME	American Society of Mechanical Engineers
BIT	Bureau International du Travail
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion
CBDRM	Community Based Disaster Risk Management
CCA	Climate Change Adaptation
CCPS	Center for Chemical Process Safety
CFATS	Chemical Facility Anti-Terrorism Standards
CM	Contre Mesures
CNDG	Centre National de Dispatching de Gaz
CPSRM	Commission Permanente Spécialisée des Risques Majeurs
CSAT	Chemical Security Assessment Tool
CSTF	Centre de Stockage et de Transfert Facile
DE	Décret Exécutif
DHS	Ministère américain de l'Intérieur
DNV	Det Norske Veritas (International accredited registrar and classification society)
DRR	Disaster risk reduction
EDD	Etude De Danger
EI	Evènement Initiateur
ENSP	Entreprise Nationale de Service de Puits
ERC	Evènement Redouté Central
FIR	Forces d'Intervention Rapide
FORIN	Forensic Investigations of disasters
FS	Fonction de Sureté
GN1K	Unité N° 1 du gaz naturel complexe Sonatrach , Skikda
GNL	Gaz naturel liquéfié
GPL	Gaz de Pétrole Liquéfié
GTP	Entreprise de Grand Travaux Pétroliers
HAZOP	Hazard and Operability Study
HRM	Hassi R'Mel
ICSU	International Council of Scientific Unions
IE	Intensité Elevée
IF	Intensité Faible
ILO	International Labour Organization
IM	Intensité Moyenne
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (France)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRDR	Integrated Research on Disaster Risk
IS	Intensité Significative
ISDR	International Strategy for Disaster Reduction
ISO	International Organization for Standardization
LII	Limite Inferieur d'Inflammabilité

LSI	Limite Supérieur d'Inflammabilité
MIMAH	Method of Identification of the major accident hazards
MIRAS	Method of Identification of Reference Accident Scenarios
MSPP	Scenario Maximum Physiquement Possible
NC	Niveau de Criticité
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration's Office of Response and Restoration
NPRA	National Pharmaceutical Regulatory Agency
OHSAS	British Standard Occupational Health and Safety Assessment
OIT	Organisation Internationale du Travail
ORSEC	Plan d'Organisation des Secours
PAM	Plan d'Aide Mutuelle
PAR	Pressure And Release (progression de la vulnérabilité)
PGPRM	Plan Général de Prévention du Risque Majeur
PhD	Phénomène Dangereux
PII	Plan d'Intervention Interne
POS	Plan d'Occupation de Sol
PPI	Plan Particulier d'Intervention
PSV	Pressure Safety Valve
RAMCAP	Risk Analysis and Management for Critical Asset Protection
REX	Retour d'Expérience
SE	Sensibilité Elevée
SEI	Seuil des Effets Irréversibles
SEL	Seuil des Effets Létaux
SELS	Seuil des Effets Létaux Significatifs ;
SF	Sensibilité Faible
SH-DP	Sonatrach / Division Production
SH-TRC	Sonatrach / Transport par Canalisation
SLT	Température Limite Surchauffé
SM	Sensibilité Moyenne
SOCMA	Society of Chemical Manufacturers and Affiliates
SoVI	Social Vulnerability Index
SREX	Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation
SS	Sensibilité Significative
SVA	Security Vulnerability Assessment
TCDD	Tetrachlorodibenzodioxin (produit chimique)
UE	Union Européenne
UNDRO	United Nations Disaster Relief Organization
UNISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reduction
UVCE	Unconfined Vapor Cloud Explosion
VAMIR	Vulnerability Assessment for Major Industrial Risks
VCA	Vulnerability and Capacity Assessment
VCE	Vapor Cloud Explosion
VE	Vulnérabilité Elevée
VF	Vulnérabilité Faible
VM	Vulnérabilité Moyenne
VS	Vulnérabilité Significative
WHO	World Health Organization

Symboles

\cap	Intersection
C	Criticité
E	la dose thermique exprimée en $KW^{4/3}/m^2.s$
G	Gravité
I	Intensité
kPa	Kilopascal: unit of pressure measurement
Q	le flux thermique reçu à l'instant t, évaluant dans le temps, exprimée en KW/m^2
R	Risque
S	Sensibilité
T	Température
t	la durée totale d'exposition au flux thermique, exprimée en seconde
V	Vulnérabilité
V_E	Vulnérabilité Environnementale
V_H	Vulnérabilité Humaine
V_M	Vulnérabilité Matérielle
$X_i, Y_i \text{ et } Z_i.$	Facteurs quantitatifs
$a, \beta \text{ et } \gamma$	Facteurs de pondération.
κ	Coefficient expérimental représente la densité de population
f	Fonction

INTRODUCTION GENERALE

Le risque est une notion dynamique de la contingence et pour assurer sa gestion, il est important d'évaluer son niveau et d'identifier les facteurs qui peuvent augmenter ou diminuer le risque ([Monferini et al., 2013](#)). En outre, il est essentiel de développer un système de sécurité clair et détaillé qui contribue à assurer la meilleure sécurité d'exploitation des installations et de l'environnement de travail ([Liou et al., 2008](#)).

Certains risques majeurs, s'ils apparaissent, entraînent des blessures ou des décès de travailleurs, la dégradation des biens et l'interruption de la production, la mise en danger des riverains et la pollution de l'environnement ([Hellas et al., 2019](#)).

L'industrie pétrolière et gazière est sujette à une grande variété d'incidents et à plusieurs situations qui peuvent sérieusement perturber son fonctionnement normal. C'est pourquoi les installations à haut risque doivent fonctionner dans des conditions de sûreté et de sécurité strictes ([Carter et al., 2003](#)).

Les grandes unités industrielles pétrolières telles que les sites de Skikda, Arzew, Hassi Messaoud et Hassi R'Mel en Algérie sont des sources de danger permanent en raison de leur proximité avec les zones urbanisées où les effets domino sont très possibles ([Ait Ouffroukh et al., 2018](#)). Ainsi, le premier objectif de l'exploitant de ces unités industrielles est de tenter de maîtriser les risques. C'est une logique de sécurité pour prévenir les dangers ou réduire les effets d'un éventuel événement sur les personnes, les biens et l'environnement. Cette logique s'inscrit dans une démarche de développement durable puisque la prévention tend à réduire les conséquences économiques, sociales et environnementales d'un éventuel incident. Par conséquent, la nature des risques, les événements possibles qui peuvent accroître leur occurrence et leurs conséquences doivent être détaillés. Cette évaluation des risques doit être effectuée pour toute tâche avant le début de l'activité industrielle complète.

La mise en œuvre de mesures de sécurité adaptées à une situation de travail donnée nécessite une évaluation sérieuse des risques et de la vulnérabilité ([Baladeh et al., 2019](#)). Cette évaluation consiste en une étude approfondie du lieu de travail visant à détecter les éléments, les situations et les procédures qui peuvent menacer la vie humaine ([Rehak, 2020](#)). Plusieurs méthodes sont proposées dans la littérature pour évaluer les risques sur le lieu de travail, mais il n'existe pas de méthode universelle ou de référence ([Tixier et al., 2002](#)). Par conséquent,

chaque entreprise doit adapter la méthode d'évaluation en fonction de ses conditions de travail, en particulier dans les entreprises industrielles présentant des risques majeurs.

La gestion des risques industriels devient une responsabilité inévitable pour des raisons juridiques, économiques, environnementales et éthiques ([O'Neal et al., 2002](#)).

La connaissance des risques possibles permet de mieux évaluer les conséquences potentielles des phénomènes et de développer les mesures de prévention et de protection appropriées en fonction de la vulnérabilité spécifique du site étudié.

L'identification et l'analyse de la vulnérabilité sont maintenant des étapes importantes vers l'évaluation des risques en présence de cibles affectées ; les personnes, l'environnement et les biens. De plus, l'étude des vulnérabilités fournit des informations précieuses qui seront utilisées pour développer un plan d'action spécifiquement adapté aux besoins réels de l'unité industrielle qui permettra de mieux orienter les efforts de contrôle et de réduction des risques ([Wang et al., 2018](#)). Alors que la plupart des études de vulnérabilité se concentrent sur la sensibilité des lieux de travail aux risques naturels, aux menaces malveillantes et au terrorisme, une approche méthodologique pour l'évaluation de vulnérabilité face aux risques technologiques ou industriels majeurs n'est pas encore bien développée ([Lim Thiebot, 2016](#) ; [Argenti et al., 2018](#)).

L'objectif de la présente étude est de proposer une approche méthodologique pour l'analyse et l'évaluation de la vulnérabilité des industries à haut risque visant à limiter les risques et à promouvoir la sécurité des travailleurs, le tout pour assurer la protection de l'environnement et pour un développement durable et sûr. Il s'agit d'une méthode ayant pour objectif l'évaluation de la vulnérabilité des cibles à protéger en termes de sécurité dans le cadre d'évaluation, contrôle et gestion des risques. Pour valider la méthode développée, une étude de cas a été menée, entre janvier 2018 et juin 2019, sur un site de production et de stockage d'hydrocarbures dans la zone de Hassi R'Mel situé à proximité de complexes résidentiels et d'entreprises voisines où le niveau de vulnérabilité est qualifié de très élevé, selon le décret exécutif [DE 05/476 \(2005\)](#).

Pour enrichissement des idées et plus de détails dans le contexte, cette thèse de doctorat présente quatre chapitres organisés comme suit :

- ❖ Le premier chapitre présente des concepts généraux du risque et notamment le risque industriel majeur avec un retour d'expérience sur les accidents industriels majeurs survenus dans le territoire national et international. Le chapitre présente

aussi un recueil des normes et de réglementation applicable dans le contexte. La vulnérabilité a été abordée en tant que partie intégrante dans le processus d'évaluation du risque. La dernière partie du chapitre montre la variance dans la définition et la compréhension du terme « vulnérabilité » avec le temps et dans les différentes disciplines.

- ❖ Le deuxième chapitre fournit un état de l'art des modèles d'identification et d'évaluation de la vulnérabilité dans les différents contextes (risque naturel, risque d'attaque et de malveillance et le risque industriel). Le chapitre montre que les études n'ont pas mis en évidence l'étude et l'évaluation de la vulnérabilité face au risque industriel majeur.
- ❖ Dans le chapitre 03, nous proposons une méthode semi-quantitative d'analyse et d'évaluation de la vulnérabilité face aux risques industriels majeurs, et pour la validation de l'approche proposée, une application a été faite sur un site de production d'hydrocarbures avec une grande capacité de stockage.
- ❖ Le chapitre 04 et dans le cadre de gestion du risque et vulnérabilité, offre un processus de réduction de la vulnérabilité face au risque industriel majeur par la mitigation pour diminuer d'intensité des phénomènes dangereux et par l'adaptation pour réduire la sensibilité des cibles. Une réévaluation de la vulnérabilité a été faite en utilisant la méthode proposée dans le même système pour voir l'efficacité des barrières de mitigation et d'adaptation proposées.

Ces chapitres sont suivis d'une conclusion générale qui clôture la thèse par les principaux résultats de l'étude en présentant les avantages et les limites de la méthode proposée suivi par des perspectives d'évolution de l'analyse et l'évaluation de la vulnérabilité face au risque industriels majeurs.

Chapitre 01

CONCEPTS GENERAUX SUR LE RISQUE ET LA VULNERABILITE DES ACCIDENTS INDUSTRIELS MAJEURS

1.1. Introduction

L'industrie des hydrocarbures est classée parmi les industries à hauts risques où chaque activité qu'elle soit industrielle ou commerciale est sujette à une grande variété d'incidents ou à des situations graves pouvant sérieusement perturber son fonctionnement, voire l'endommager et même la détruire. Ces incidents peuvent se transformer en accidents industriels majeurs (exemple l'explosion GN1K de Skikda). De plus, cette industrie constitue le premier vecteur de la nouveauté, la première destinataire des services les plus divers, un point d'appui essentiel pour la croissance, le secours et la vitalité du tissu économique nationale. Pour cette dernière, les accidents signifient des retraites anticipées coûteuses, la perte de personnels qualifiés, l'absentéisme et des primes d'assurance élevées. Ainsi, l'enseignement et la formation des hommes à la prévention des risques industriels s'imposent dans ce secteur stratégique du pays. Bref, ce secteur industriel est au cœur du développement économique et de l'emploi de notre pays. De ce fait, l'hygiène et la sécurité industrielle dans nos entreprises s'impose avec plus de rigueur et devient un facteur fondamental et une composante militaire dans ce type d'industrie.

Il est donc de plus en plus nécessaire, tant dans les économies développées que dans les économies en développement, de garantir que la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement et que les risques dus à l'implantation et à l'exploitation de sites potentiellement dangereux, les industries polluantes et les activités associées sont correctement évaluées et gérées. L'intégration de la sécurité et du développement à la prise en compte des avantages sociaux et économiques pour la collectivité est une priorité de la plupart des gouvernements. De même, il est nécessaire d'assurer une allocation optimale de ressources limitées dans les processus d'évaluation et de gestion des risques. À cette fin, la classification et la hiérarchisation des différents risques en vue d'une évaluation plus détaillée devient une question d'importance urgente.

1.2. Concepts sur les risques d'accidents industriels majeurs

1.2.1. Notion de risque

La perception du risque se diffère d'une personne à l'autre en fonction de sa position, son point de vue, ses attitudes et son expérience ce qui rend l'étude du risque de plus en plus complexe. Plusieurs chercheurs ([Aven, 2012](#)) ont proposé une théorie du risque de base fondée sur un bref examen sélectionné au cours des 15-20 dernières années et il a présenté l'évolution du concept de risque dans l'Oxford English Dictionary depuis 1679. Ils ont utilisé cette définition pour discuter de la manière dont les perspectives de risque influencent la communication des risques entre les décideurs, les analystes des risques et les experts. En effet, les ingénieurs, les concepteurs et les développeurs voient le risque d'un point de vue technologique, les prêteurs et les contractants ont tendance à le voir sous l'angle économique et financier ([KarimiAzari et al., 2011](#)).

Alors, la question est : qu'est-ce qu'un risque ? La première réponse, le risque est la probabilité qu'un événement ou une action puisse avoir un effet néfaste sur l'organisation ([Yang, 2011](#)).

Pour [Mazouni \(2008\)](#), le risque est une propriété intrinsèque de toute décision. Il se mesure par une combinaison de plusieurs facteurs (gravité, occurrence, exposition, etc.), bien qu'il soit généralement limité à deux facteurs : la gravité et la fréquence des survenues d'accidents potentiellement dommageables qui intègrent certains facteurs d'exposition. Dans l'OHSAS 18001 (British Standard Occupational Health and Safety Assessment Series), le risque est une combinaison de la probabilité d'occurrence d'un événement dangereux ou d'expositions à un danger et de la gravité qui peut être causée par l'événement ou l'exposition. Dans ce contexte (OHSAS 18001), la notion de risque pose deux questions orientées :

1. Quelle est la probabilité qu'un événement dangereux ou une situation particulière se produise réellement à l'avenir ?
2. Quelle serait la gravité de l'impact sur la santé et la sécurité si l'événement dangereux ou l'exposition se produisait réellement ?

Le risque peut être défini comme un événement incertain ou un ensemble de circonstances qui, s'il survient, auront un effet sur la réalisation d'un ou plusieurs objectifs ([Tuncel & Alpan, 2010](#)). Cependant, pour [Marhavidas et al. \(2012\)](#), le risque a été considéré

comme la possibilité que quelqu'un ou quelque chose qui est évaluée soit affectée par le danger. Ce dernier est désigné par toute condition dangereuse ou source potentielle d'un événement indésirable avec un potentiel de préjudice ou dommage. Pour [Bakr et al. \(2012\)](#), le mot «risque» signifie que l'incertitude peut être exprimée par la probabilité.

Le Centre européen de normalisation a répertorié une soixantaine de normes liées au mot « risque ». Il s'agit d'une « non-conformité » en qualité, d'une « pollution » en environnement, d'une « défaillance » d'un équipement, d'une « intoxication » ou d'une « atteinte corporelle » en matière de sécurité des personnes, mais aussi d'un « rendement » en finance ou d'une « opportunité » pour le manager d'entreprise.

La norme ISO 31000 propose une définition exhaustive qui peut être applicable dans toutes les disciplines : le risque est l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs ([ISO 31000, 2018](#)).

Remarque : Il faut remarquer qu'il y a une interaction entre le danger et le risque.

Un processus ou un événement naturel ou d'origine humaine susceptible de créer une perte est un danger, c'est-à-dire une source générale de danger. L'exposition réelle d'une chose ayant une valeur humaine à un danger est un risque et elle est souvent considérée comme la combinaison d'une probabilité et d'une perte. Ainsi, un danger est une menace potentielle pour l'homme et son bien-être, et le risque (ou la conséquence) est la probabilité d'occurrence d'un danger spécifique ([ISO 31000, 2018](#)).

Le danger, le risque et la catastrophe opèrent à des échelles variables. Le tableau suivant donne une liste des menaces par ordre de gravité décroissante

Tableau 1.1. Liste des menaces selon la catégorie des cibles

Dangers	Menaces
Personnes	décès, blessures, maladies, stress et traumatismes
Biens	les dommages matériels, tant aux particuliers qu'à l'État
Environnement	la perte de la flore et de la faune
Développement	rupture du rythme de développement, perte des moyens de subsistance

1.2.2. Définition du risque industriel majeur

Un risque industriel est un événement accidentel qui se produit sur un site industriel et entraîne des conséquences immédiates graves pour le personnel, les riverains, et l'environnement. Ce risque est aujourd'hui omniprésent dans notre vie quotidienne. En effet, la plupart des produits de grande consommation sont issus des industries chimiques ou pétrolières, qui sont génératrices de risques : les substances dangereuses utilisées par ces industries, mais aussi les processus de fabrication, de manipulation ou de transport et les conditions de stockage de ces substances peuvent être à l'origine de phénomènes dangereux. Ainsi, le risque est défini par : « la possibilité qu'un événement d'origine naturelle ou résultant de l'action humaine (aléa) s'applique à une zone où se concentrent des enjeux humains, matériels ou environnementaux ». Donc, le risque majeur est un événement rare et d'une grande gravité : nombreuses victimes, dégâts matériels importants, impacts environnementaux ([Pigeon, 2010](#)).

Le risque majeur est la possibilité d'un événement d'origine naturelle ou anthropique, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dommages importants et dépasser les capacités de réaction de la société ([DDTM, 2017](#)).

Le célèbre volcanologue, Haroun Tazieff, donne la définition suivante du risque majeur : « C'est la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre. » ([SIDPC, 2003](#)).

L'échelle ci-après (échelle de gravité) est utilisée pour caractériser globalement le niveau de dommage que subit la société ([Huet, 2000](#)).

Tableau 1.2. Echelle de la gravité des dommages Humains et matériels proposée par ([Huet, 2000](#))

	Classe	Dommages Humains	Dommages Matériels
0	Incident	Aucun blessé	Moins de 0,3 M€
1	Accident	1 ou plusieurs blessés	Entre 0,3 et 3 M€
2	Accident Grave	1 à 9 morts	Entre 3 et 30 M€
3	Accident Très Grave	10 à 99 morts	Entre 30 et 300 M€
4	Catastrophe	100 à 999 morts	Entre 300 et 3000 M€
5	Catastrophe Majeure	1000 morts ou plus	3000 M€ ou plus

Un risque majeur est caractérisé par :

- sa gravité : qui occasionne de nombreuses victimes ou des dégâts économiques importants ;
- sa faible fréquence qui crée une tendance à l'oublier.

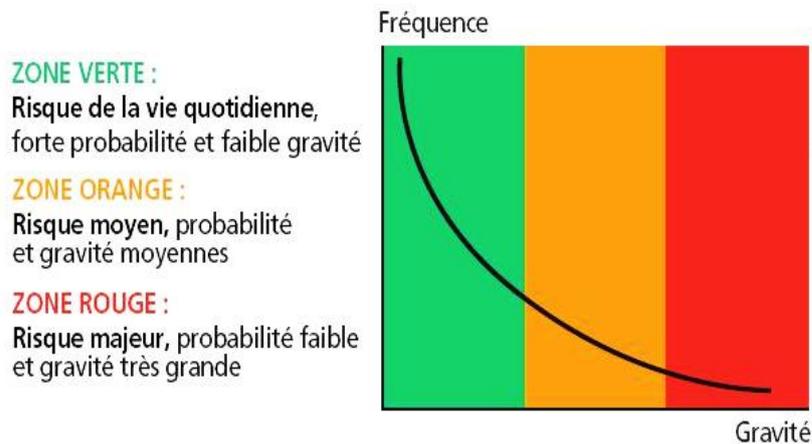


Figure 1.1. Courbe de Farmer, concept du risque majeur (ORRM.fr)

Pour [Khudbiddin et al. \(2018\)](#), les risques industriels majeurs sont définis comme une menace pouvant entraîner un événement néfaste pour la vie humaine à l'intérieur ou à l'extérieur du site. Il se traduit par dix blessures ou plus et/ou une ou plusieurs blessures à l'extérieur, ou par le rejet de produits chimiques toxiques, une explosion, un incendie ou un déversement de produits chimiques dangereux entraînant des situations d'urgence "sur le site" ou "hors site" ou des dommages aux équipements entraînant l'arrêt du processus ou ayant un ou des effets néfastes sur l'environnement.

Selon la loi algérienne N° [04/20](#) relatif à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, un risque majeur est toute menace probable pour l'homme et son environnement pouvant survenir du fait d'aléas naturels exceptionnels et/ou du fait d'activités humaines.

Les sources des principaux risques d'accidents industriels sont les éléments à l'origine d'événements dangereux dans les établissements qui utilisent produisent ou stockent des substances dangereuses telles que :

- Les réacteurs,
- Les équipements : conduites, condenseur...
- Les récipients de stockage de substances dangereuses
- Les unités de production.

1.2.3. Typologies et conséquences des risques industriels majeurs

Les risques industriels majeurs sont généralement associés au potentiel d'incendie, d'explosion ou de dispersion de produits chimiques toxiques et impliquent généralement le rejet de matières du confinement suivi, dans le cas des matières volatiles, de leur vaporisation et de leur dispersion. Les accidents impliquant des risques majeurs peuvent inclure ([ILO & WHO, 1991](#)):

- ✓ la fuite d'une matière inflammable, le mélange de la matière avec l'air, la formation d'un nuage de vapeur inflammable et la dérive du nuage vers une source d'inflammation, entraînant un incendie ou une explosion affectant le site et éventuellement zones peuplées ;
- ✓ la fuite de matières toxiques, formation d'un nuage de vapeur et la dérive du nuage, affectant directement le site et les zones éventuellement peuplées.

Dans le cas d'un rejet de substances inflammables le plus grand danger provient d'une fuite massive et soudaine de liquides ou de gaz volatils, produisant un grand nuage de gaz inflammable et éventuellement vapeur explosive (Commission de Santé et sécurité, Royaume-Uni 1976). Si ce nuage était enflammé, les effets de la combustion dépendraient de nombreux facteurs, dont la vitesse du vent et l'étendue à laquelle le nuage a été dilué avec de l'air. Tels risques pourraient faire un grand nombre de victimes et des dommages importants sur le site et au-delà de son des frontières. Néanmoins, même pour les accidents graves l'effet est généralement limité à quelques centaines à quelques mètres du site.

Le rejet soudain de très grandes quantités de matières toxiques peut causer des décès et des blessures graves à une distance beaucoup plus grande. En théorie, un tel rejet pourrait, par certains temps produire des concentrations létales à plusieurs kilomètres du point de libération, mais le nombre de victimes dépendrait de la densité de population sur le chemin du nuage et de l'efficacité des dispositifs d'urgence, qui pourrait inclure l'évacuation.

Certaines installations ou groupes d'installations représentent les deux types de menace. En outre, l'explosion et la projection des missiles d'une explosion peuvent affecter l'intégrité d'autres lieux contenant des substances inflammables et toxiques. Ces phénomènes dangereux peuvent être à l'origine d'effets dominos sur les installations environnantes, en particulier dans les zones industrielles où la compatibilité d'activités n'est pas respectée. L'onde de choc ou le souffle d'une explosion, ainsi que les projections de fragments impactent les installations proches. Mais peuvent également entraîner des effets domino loin de la fuite, notamment

lorsque le nuage inflammable formé explose sur un point chaud situé jusqu'à plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de mètres de la fuite. Cette situation peut exister lorsque l'industrie se situe en groupes en raison de l'attraction de l'énergie, de l'eau ou d'un bassin de travail. En effet, il n'est pas rare de trouver trois ou plus des installations séparées mais contiguës présentant une combinaison d'explosion et de risques toxiques le long d'une rive d'un fleuve ou d'un estuaire ou près d'un logement l'évolution de la situation.

Le rejet de matières inflammables ou toxiques dans l'atmosphère peut donc conduire à une explosion, un incendie ou la formation d'un nuage toxique, que nous allons l'examiner en détail

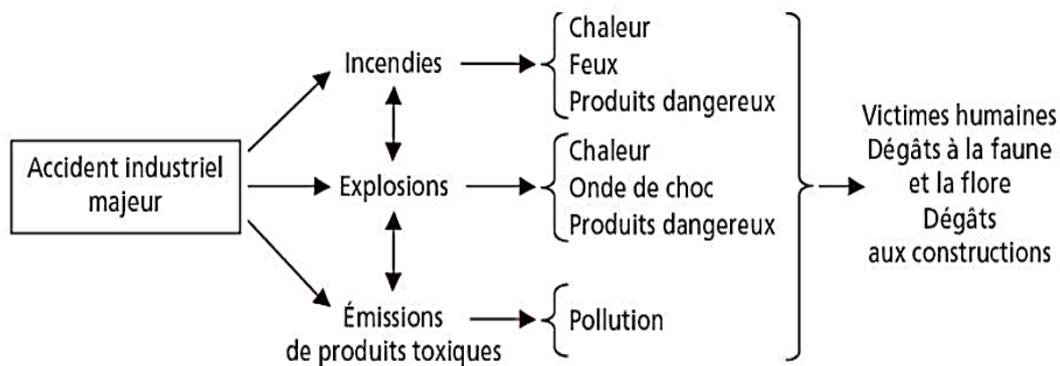


Figure 1.2. Effet des accidents industriels (ILO & WHO, 1991)

1.2.3.1. Le risque d'explosions

Les explosions sont caractérisées par une onde de choc qui peut être entendue comme une détonation et qui peut causer des dommages aux bâtiments, briser des fenêtres et éjectant des projectiles sur des distances de plusieurs centaines mètres. Les blessures et les dommages sont dans le premier lieu causés par l'onde de choc de l'explosion elle-même. Les personnes sont renversées ou renversées et enterrées sous des bâtiments effondrés ou blessés par verre volant. Bien que les effets de la surpression puissent directement entraîner des décès, l'histoire des explosions industrielles montre que les effets indirects de l'effondrement des bâtiments, les vitres et les débris volants qui peuvent causer des pertes de vies humaines et des blessures graves.

Il faut signaler que les effets de l'onde de choc varient en fonction des caractéristiques du matériel, de la quantité impliquée et du degré de confinement du nuage de vapeur. Les pics de pression dans une explosion varient donc d'une légère surpression à quelques centaines de kilopascals (kPa). La blessure directe à l'homme se produit à des pressions de 5-10 kPa (avec perte

de la vie se déroulant généralement à une plus grande surpression), considérant que les habitations sont démolies et les fenêtres et des portes brisées à des pressions aussi faibles que 3-10 kPa. La pression de l'onde de choc diminue rapidement avec l'augmentation de la distance par rapport à la source d'explosion. A titre d'exemple, l'explosion d'un camion-citerne contenant 50 tonnes de propane donne lieu à une pression de 14 kPa à 250 mètres et une pression de 5 kPa à 500 mètres du réservoir.

a. Déflagration et détonation

Les explosions peuvent se produire sous forme de déflagration ou de détonation, en fonction de la vitesse de combustion au cours de l'explosion. La déflagration se produit lorsque la vitesse de combustion ou la vitesse de la flamme est relativement lente, de l'ordre de 1 m/sec. Dans le cas d'une détonation, la vitesse de la flamme est extrêmement élevée. Le front de flamme se déplace comme une onde de choc, avec une vitesse typique de 2 000 à 3 000 m/sec. Une détonation génère des pressions plus importantes et est beaucoup plus destructrice qu'une déflagration. La pression de pointe provoquée par une déflagration dans un récipient atmosphérique fermé atteint environ 70-80 kPa, alors qu'une détonation peut facilement atteindre une pression de 200 kPa.

Le fait qu'une déflagration ou une détonation ait lieu dépend du matériau en cause ainsi que des conditions dans lesquelles l'explosion se produit. Il est généralement admis qu'une explosion en phase vapeur exige un certain degré de confinement pour que la détonation ait lieu.

b. Explosions de gaz et de poussières

La distinction entre gaz et poussière les explosions peuvent être faites sur la base du matériel impliqué. Les explosions de gaz généralement catastrophiques se produisent lorsque des quantités considérables de produits inflammables les matières sont libérées et dispersées dans l'air pour former un nuage de vapeur explosif avant l'allumage place. Les explosions de poussières se produisent lorsque des solides inflammables les matériaux sont mélangés intensivement à l'air. La matière solide dispersée se présente sous forme de poudre avec des particules de très petite taille. L'explosion se produit à la suite d'un événement déclencheur tel qu'un incendie ou une petite explosion qui provoque une poudre qui s'est déposée sur les surfaces pour qu'elles deviennent aéroportées. En se mélangeant avec l'air, il en résulte une explosion secondaire qui, à son tour peut créer une explosion tertiaire, etc. Dans le passé, ces séries d'explosions ultérieures ont conduit à des catastrophes et à la destruction des usines. Parce que les céréales, le lait en poudre et la farine sont inflammables, les explosions de

poussières ont été plus commun dans l'industrie agricole. Toutefois, l'histoire des explosions de poussières, en particulier celles de ces dernières années, a montré que les effets néfastes sont généralement confinés au lieu de travail plutôt que à ceux qui vivent en dehors de l'usine.

Tableau 1.3. Exemples d'explosions industrielles

Le produit chimique	Conséquences		Lieu et date
	Décès	Blessures	
Diméthyléther	245	3800	Ludwigshafen, Allemagne, 1948
Kérosène	32	16	Bitburg, Allemagne, 1954
Isobutane	7	13	Lake Charles, Louisiane, États-Unis, 1967
Pétrole	2	85	Pernis, Pays-Bas, 1968
Propylène	/	230	East St. Louis, Illinois, États-Unis, 1972
Propane	7	152	Decatur, Illinois, États-Unis, 1974
Cyclohexane	28	89	Flixborough, Royaume-Uni, 1974
Propylène	14	107	Beek, Pays-Bas, 1975

Tous les exemples donnés sont des explosions de nuages de vapeur qui, dans certains cas, ont entraîné une détonation due au confinement du nuage de gaz.

1.2.3.2. Le risque d'incendies

Les effets du feu sur les personnes prennent la forme de brûlures cutanées dues à l'exposition aux radiations thermiques. La gravité des brûlures dépend de l'intensité de la chaleur et du temps d'exposition. Le rayonnement thermique est inversement proportionnel au carré de la distance de la source. D'une manière générale, la peau résiste à une énergie thermique de 10 kW/m^2 pour environ 5 secondes et à celle de 30 kW/m^2 pour seulement 0,4 seconde avant que la douleur ne soit ressentie.

Les incendies se produisent plus fréquemment dans l'industrie que les explosions et les rejets toxiques, bien que les conséquences en termes de pertes de vies humaines soient généralement moins. Par conséquent, le feu peut être considéré comme ayant un potentiel de danger moins important que les explosions et les rejets toxiques. Cependant, si l'inflammation des matières inflammables qui s'échappent est retardée, un nuage de vapeur non confiné de matières inflammables peut se former.

Les incendies peuvent prendre plusieurs formes différentes, notamment les feux de jet, les feux de piscine, les feux à inflammation instantanée et les explosions, d'un liquide

surchauffé sous pression (BLEVE). Un jet de feu apparaîtrait comme une longue flamme étroite produite, par exemple, par une fuite de gazoduc enflammée. Un feu de nappe serait produit, par exemple, si un déversement de pétrole brut d'un réservoir de stockage dans une nappe s'enflammait. Un feu flash pourrait se produire si une fuite de gaz atteignait une source d'ignition et brûlait rapidement jusqu'à la source du rejet. Le BLEVE est généralement beaucoup plus grave que les autres incendies et est décrit plus en détail ci-dessous.

Un autre effet mortel qui doit être pris en compte dans le cas d'incendie est l'appauvrissement de l'oxygène dans l'atmosphère en raison de la consommation d'oxygène dans le processus de combustion - en général, celui-ci est limité à proximité immédiate de l'incendie. D'importance sont également les effets sur la santé résultant de l'exposition aux fumées générées par le feu. Ces fumées peuvent comprendre des gaz toxiques, tels que le dioxyde de soufre de la combustion du disulfure de carbone et les oxydes d'azote provenant d'un incendie impliquant le nitrate d'ammonium.

Une liste de quelques incendies majeurs est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 1.4. Exemples d'incendies majeurs

Le produit chimique	Conséquences		Lieu et date
	Décès	Blessures	
Diméthyléther	245	3800	Ludwigshafen, Allemagne, 1948
Méthane	136	77	Cleveland, Ohio, États-Unis, 1944
GPL¹ (BLEVE)	18	90	Feyzin, France, 1966
GNL²	40	/	Staten Island, New York, États-Unis, 1973
Méthane	52	/	Santa Cruz, Mexique, 1978
GPL (BLEVE)	650	2 500	Mexico Clty, Mexique, 1985

¹Gaz de pétrole liquéfié, ²Gaz naturel liquéfié

Il est parfois difficile de faire la distinction entre un incendie et une explosion. Bien souvent, une explosion est suivie d'un incendie, et les victimes sont causées par les deux phénomènes.

1.2.3.3. Le risque des rejets toxiques

Il existe un grand nombre de produits chimiques avec qui on doit faire une attention particulière pour éviter d'avoir des effets néfastes sur les travailleurs. La discipline majeure de l'hygiène du travail a existé pour développer les méthodes nécessaires pour contrôler

l'exposition à ces produits chimiques, éventuellement sur une période aussi longue comme la durée de travail d'un opérateur d'usine. Il s'agit d'une importance fondamentale pour la sécurité des travailleurs. Les effets des produits chimiques toxiques lorsqu'on les considère des risques majeurs, d'autre part, sont tout à fait différents et sont préoccupés par l'exposition aiguë pendant et après un accident majeur plutôt que l'exposition à longue durée.

La toxicité des produits chimiques est généralement déterminée en utilisant quatre méthodes principales. Il s'agit d'études d'incidents, d'études épidémiologiques, d'expériences animales et de tests de micro-organismes. Malgré leur valeur évidente, ces méthodes souffrent toutes de faiblesses, mais qui obligent à faire preuve de prudence dans l'interprétation des résultats. Autres facteurs affectent également la toxicité des produits chimiques, par exemple l'âge, le sexe, les antécédents génétiques, la nutrition, la fatigue, les maladies, l'exposition à d'autres substances ayant des effets synergiques, les heures et les modes de travail.

Bien que les données sur la toxicité ne soient pas abondantes, la toxicité de certains produits chimiques a été établie. Le chlore, par exemple, est connu dangereux pour la santé humaine à des concentrations situées entre 10 et à 20 ppm pour une exposition de 30 minutes. Le gaz de chlore devient mortel à des concentrations allant de 100-150 ppm pour une durée d'exposition de 5-10 minutes. L'exposition au chlore pendant des périodes plus courtes peut être fatale à des concentrations de 1 000 ppm. En ce qui concerne les conséquences d'un rejet de chlore, on sait qu'un rejet instantané de 10 tonnes de ce produit chimique peut produire une concentration maximale de 140 ppm à une distance de 2 km dans le sens de vent et de 15 ppm à une distance de 5 km dans des conditions météorologiques de type D5 (temps normal de non-inversion).

Le **Tableau 1.5** énumère quelques accidents industriels majeurs impliquant des rejets toxiques de différentes substances chimiques, dont certains ont causé des décès. Le chlore et l'ammoniac sont les produits chimiques toxiques les plus couramment utilisés en quantités dangereuses et tous deux ont un historique d'accidents majeurs. Néanmoins, d'autres produits chimiques, tels que l'iso-cyanate de méthyle et la dioxine, doivent être utilisés avec un soin particulier en raison de leur toxicité plus élevée, même s'ils peuvent être manipulés en quantités moindres.

Tableau 1.5. Exemples de rejets toxiques importants

Le produit chimique	Conséquences		Lieu et date
	Décès	Blessures	
Phosgène	10	/	Poza Rica, Mexique, 1950
Chlorine	7	/	Wilsum, République fédérale d'Allemagne, 1952
Dioxine/TCDD	/	/	Seveso, Italie, 1976
Ammoniac	30	25	Cartagena, Colombie, 1977
Dioxyde de soufre	/	100	Baltimore, Maryland, États-Unis, 1978
Sulfure d'hydrogène	8	29	Chicago, Illinois, États-Unis, 1978
Iso-cyanate de méthyle	2 000	200 000	Bhopal, Inde, 1984

1.2.4. Définition de l'installation à risque majeur (Installations classées)

L'installation à risque majeur (Installations classées) est toute unité technique fixe dans laquelle interviennent une ou plusieurs activités figurant dans la nomenclature des installations classées selon la réglementation ([DE 06/198, 2006](#)).

Les autorités compétentes devraient prendre des dispositions pour que les installations existantes et les nouvelles installations à risques majeurs proposées soient clairement définies et identifiées par une liste de substances ou de catégories de substances dangereuses et de quantités seuils associées, qui devrait inclure selon le décret exécutif [DE 07/144](#) :

- a) **des produits Très toxiques** : substances ou préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée en très petites quantités, entraînent la mort ou des risques aigus ou chroniques ;
- b) **des produits Toxiques** : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée en petites quantités, entraînent la mort ou des risques aigus ou chroniques ;
- c) **des produits Comburants** : substances ou préparations qui, au contact d'autres substances, notamment des substances inflammables, présentent une réaction fortement exothermique ;
- d) **des produits Explosibles** : substances ou préparations solides, liquides, pâteuses ou gélatineuses qui, même sans intervention d'oxygène atmosphérique, peuvent présenter une réaction exothermique avec développement rapide de gaz et qui, dans des

conditions d'essais déterminées, détonent, déflagrent rapidement ou, sous l'effet de la chaleur, explosent en cas de confinement partiel ;

- e) *des liquides Inflammables* : substances ou préparations liquides, dont le point d'éclair est égal ou supérieur à 21°C et inférieur ou égal à 55°C ;
- f) *des produits Corrosifs* : substances et préparations qui, en contact avec des tissus vivants, peuvent exercer une action destructrice sur ces derniers.

La définition et l'identification des installations à risques majeurs par les autorités compétentes devraient être organisées de manière à permettre de fixer des priorités pour les installations nécessitant une attention particulière

1.2.5. Définition de la zone A risque majeur

Le Décret exécutif [DE 05-476](#) du 20 décembre 2005 déclarant Hassi -R 'Mel zone à risques majeurs, (Art. 2) a défini la zone à risques majeurs comme une zone exposée à un risque majeur entraînant des conséquences immédiates et graves aux personnes, aux biens et à l'environnement.

1.2.6. Définition d'Accident industriel majeur

Les accidents majeurs dans l'industrie sont des événements de faible fréquence à fort impact.

Un accident majeur est défini comme "un événement soudain et inattendu, notamment une émission, un incendie ou une explosion de grande ampleur, résultant d'une évolution anormale dans le cadre d'une activité industrielle, entraînant un danger grave pour les travailleurs, la population ou l'environnement, qu'il soit immédiat ou différé, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation et impliquant une ou plusieurs substances dangereuses" ([ILO & WHO, 1991](#)). La directive SEVISO et notamment dans l'article 3 avait le même sens que pour définir ce terme.

1.3. Les phénomènes critiques des risques industriels majeurs

1.3.1. Phénomène de BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)

L'explosion de vapeur en expansion de liquide bouillant (BLEVE) comme «une libération soudaine d'une grande masse de liquide surchauffé sous pression dans

l'atmosphère». La libération soudaine peut se produire en raison d'une défaillance du confinement causée par un incendie, un coup de missile, la corrosion, des défauts de fabrication, une surchauffe interne, etc. ([CCPS, 1999](#)).

Selon [Birk & Cunningham \(1994\)](#), «un BLEVE est la libération explosive de vapeur en expansion et de liquide bouillant lorsqu'un récipient contenant un gaz liquéfié sous pression tombe en panne de manière catastrophique». Ils ont en outre défini la «défaillance catastrophique» comme l'ouverture soudaine d'un réservoir pour libérer son contenu presque instantanément. La perte du confinement soudaine d'une vapeur pressurisée et liquéfiée provoque une ébullition-vaporisation instantanée et explosive, conduisant à une série d'impacts cataclysmiques.

Un BLEVE donne lieu à ce qui suit ([Abbasi & Abbasi, 2007](#)):

- Crachement d'une partie du liquide pour former des flaques de courte durée ; ces dernières seraient en feu si le liquide est inflammable ;
- Feu, si la vapeur liquéfiée sous pression est inflammable, comme c'est souvent le cas, le BLEVE conduit à une boule de feu
- Onde de choc ;
- Projection des missiles ;
- Dégagement de gaz toxique, lorsque le matériau soumis à BLEVE est toxique, comme dans le cas de l'ammoniac ou du chlore, les effets néfastes comprennent la dispersion de gaz toxiques.

BLEVE ne se produira pas en un instant. Cela se produira lorsque certaines conditions sont remplies, c'est-à-dire que les signaux d'avertissement sont négligés. Voici les conditions qui doivent être présentes pour une explosion de vapeur liquide en ébullition :

- **Produit liquide** : la vapeur seule ne peut pas conduire à BLEVE. Une cargaison de liquide doit être présente à l'intérieur du réservoir pour que cela se produise. Même l'eau peut conduire à BLEVE. Cependant, il n'y aura pas d'incendie car il n'est pas inflammable.
- **Récipient sous pression** : la cargaison liquide doit se trouver dans un conteneur ou une cale hermétiquement fermée. Un conteneur ventilé peut conduire à BLEVE uniquement si le mécanisme de ventilation devient défectueux, entraînant un développement de pression à l'intérieur du réservoir ou de la cale.

- **Augmentation de la température ($> T$ d'ébullition)** : La température de la cargaison liquide enfermée doit être au-dessus de son point d'ébullition à la pression atmosphérique pour contribuer à l'explosion de vapeur de liquide bouillant. Lorsqu'une cale à cargaison ou une citerne sous pression est chauffée, la pression de vapeur augmente. Un point d'ébullition élevé accompagne l'augmentation de la pression de vapeur.
- **Perte de confinement de la structure** : Le liquide a besoin d'un chemin pour s'échapper du réservoir pressurisé et se convertir en vapeur, ce qui ne peut se produire qu'en cas de défaillance structurelle du réservoir.

Comme indiqué précédemment, BLEVE ne se produira pas soudainement ou si l'un des éléments expliqués précédemment est manquant. Voici les étapes qui peuvent conduire à BLEVE

- a. **Défaillance au réservoir** : la *panne* du réservoir peut être due à différentes raisons pouvant entraîner une augmentation de la pression interne et une défaillance de la partie la plus faible du réservoir.
- b. **Transition de phase** : lorsque la structure du réservoir tombe en panne, une dépressurisation soudaine du gaz liquéfié se produit. Le mélange de vapeur liquide, qui était dans un état thermodynamique saturé avec une température plus élevée que son point d'ébullition, deviendra surchauffé lorsque la pression initiale du réservoir / maintien diminue à la pression atmosphérique en quelques millisecondes.
- c. **Crachement de mélange de vapeur liquide** : Comme la température est supérieure à la température limite surchauffée (SLT), la nucléation rapide des bulles commencera à l'intérieur du réservoir conduisant à une violente éclaboussure du mélange liquide / vapeur hors du récipient dans l'atmosphère.
- d. **Explosion** : Au fur et à mesure de la dépressurisation, accompagnée d'une transition de phase intense à l'état surchauffé, l'ébullition du liquide suivie de la nucléation des bulles conduira ensemble à une explosion.

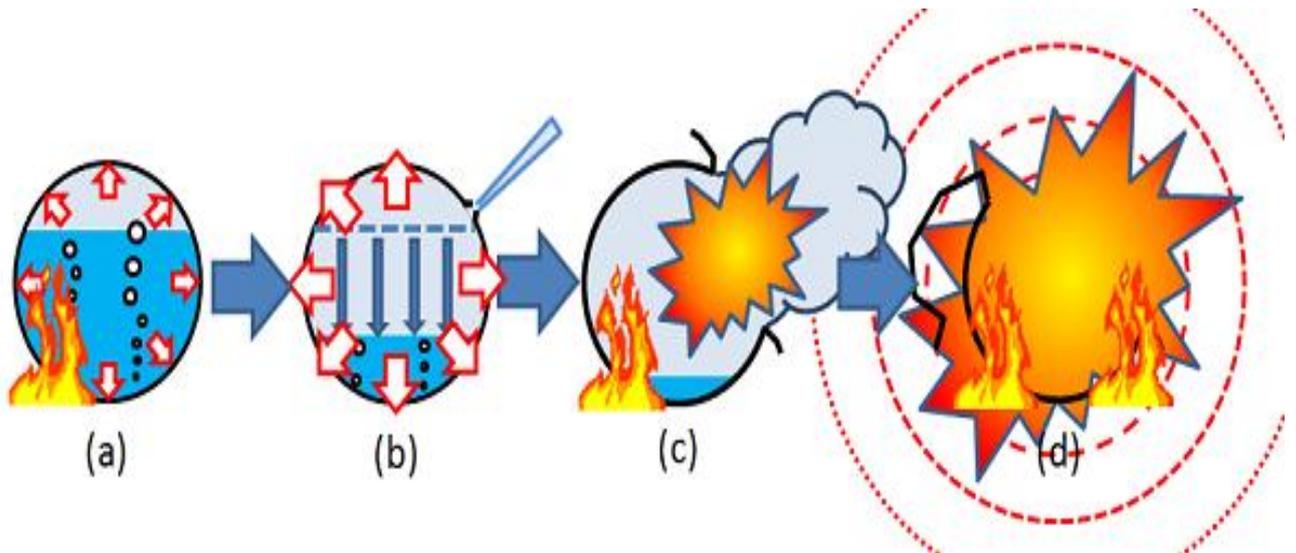


Figure 1.3. Les phases du phénomène de BLEVE ([ERI.inc](#))

Le BLEVE et avant de se produire, présente les signes d'alerte suivant :

- Bruit dans la coque métallique du réservoir ;
- Décoloration de la structure du réservoir ;
- Écaillage de petites pièces métalliques ;
- Bulle ou renflement à la surface du réservoir ;
- Une augmentation soudaine de la pression du réservoir.

1.3.2. Phénomène d'UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion)

L'explosion du nuage de vapeur ou mieux connue sous le nom de VCE est le principal danger dans une industrie de transformation, des bâtiments et des installations de transport qui utilisent des combustibles liquides dans leurs activités. Le VCE dans l'industrie des procédés cause des accidents plus graves que les autres explosions, bien que les explosions puissent entraîner des pertes de vie et des dommages plus importants. En général, on considère que les incendies présentent moins de risques de catastrophe que les explosions. Cependant, le VCE qui survole des zones peuplées peut être mortel. La boule de feu VCE émet une chaleur mortelle. Un autre effet mortel est l'épuisement atmosphérique de l'oxygène causé par les flammes (flash fire). De plus, le feu est une menace majeure dans les Structures qui peut causer de graves dommages et la mort ([Sharma et al., 2013](#)).

Les accidents dus à l'explosion d'un nuage de vapeur non confiné dans une zone ouverte provoquant un impact massif. D'après plusieurs études sur les accidents, l'incendie ou

l'explosion initiale dépend des types de combustible, de la vitesse de création du nuage qui dépend de la vitesse du vent et de l'état de la surface, du délai avant l'explosion ainsi que de la source d'inflammation ([Atkinson et al., 2007](#); [Sharma et al., 2013](#)). Deux paramètres interviennent dans l'allumage initial, à savoir la pression et la densité de la vapeur. Le risque d'inflammation est faible lorsque la pression de vapeur est plus faible et la densité de vapeur est plus élevée, comme dans le cas de la vapeur d'essence et du gaz de pétrole liquéfié (GPL). Inversement, avec une pression de vapeur plus élevée et une densité de vapeur plus faible, comme dans le cas d'un accident de fuite de propane, un nuage de vapeur élevé libéré par une intrusion d'air produira un mélange inflammable ([Strehlow, 1973](#)).

Un grand nuage de pré-mélange sera enflammé avec la condition des explosions qui se produisent rarement, qui est une déflagration à grande vitesse. Cet événement entraînera une onde de choc. En termes de dispersion et de retard de la formation du nuage de vapeur dans l'accident, cela peut être distingué en deux types de sources de nuage de vapeur qui sont un déversement unique massif et une fuite continue. Avec les modèles de dispersion, il est possible de cartographier les zones de la LII et la LSI. Lors d'un déversement unique massif, la concentration du nuage de vapeur subira une décroissance au fil du temps tandis qu'une fuite continue, la concentration augmentera avec le temps, surtout si les conditions de vitesse du vent sont très faibles. La région inflammable sera affectée par la stabilité de l'atmosphère. Le nuage de vapeur d'un carburant léger comme l'hydrogène sera dispersé rapidement de sorte qu'il soit moins dangereux car la concentration diminuera immédiatement dans un espace ouvert. Au contraire, le nuage de vapeur de carburant lourd sera plus dangereux car les résultats de l'étude montrent que le processus de dispersion se produit lentement. En revanche, un nuage de vapeur de carburant lourd se trouvera au sol de sorte qu'en cas d'incendie, la surface du sol se refroidira et la vitesse de la flamme diminuera. Ce sera le cas différent si un incendie survient à la surface de l'eau car le processus de refroidissement ne se produit pas aussi rapidement que dans le cas des incendies au sol. Par conséquent, la possibilité d'une explosion due à un déversement de carburant à la surface de l'eau devient plus élevée ([Strehlow, 1973](#)). Cependant, il est signalé qu'il y a des accidents enregistrés avec un impact grave sur le cas de déversement de carburant au sol. Ceci est toujours en question car il existe des considérations possibles de transfert de chaleur comme le rayonnement.

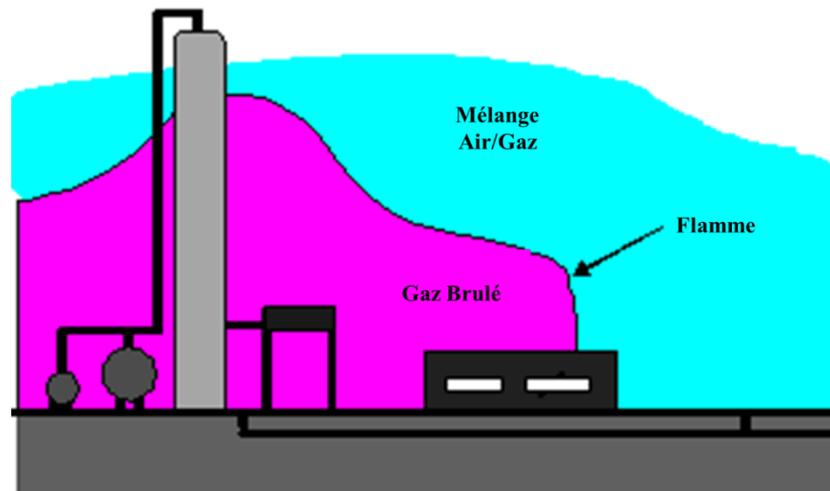


Figure 1.4. Explosion d'UVCE dans une zone de processus. (cngspw.com)

1.3.3. Phénomène de Feu flash (Flash fire)

Un incendie instantané se produit lorsqu'un nuage de gaz inflammable et d'air s'enflamme. La vitesse de combustion est fonction de la concentration du composant inflammable dans le nuage et également de la vitesse du vent. Quelques secondes après l'allumage, la flamme se propage à la fois au vent et sous le vent de la source d'inflammation. Initialement, la flamme est contenue dans le nuage en raison de la combustion pré mélangée des régions dans les limites d'inflammabilité. Par la suite, la flamme s'étend sous la forme d'un panache de feu au-dessus du nuage. Le bord sous le vent de la flamme commence à se déplacer vers le point de déversement après avoir consommé la vapeur inflammable sous le vent de la source d'allumage ([Villafañe et al., 2013](#)).

Les vitesses typiques de propagation de la flamme sont de l'ordre de 4 m/s. La vitesse et la dispersion de la flamme augmentent avec la vitesse du vent. La durée de cet incendie est très courte et les dommages sont causés par le rayonnement thermique et l'appauvrissement en oxygène ([Johnson, 2010](#)).

1.3.4. Phénomène de Feu de jet (Feu de chalumeau)

Un feu de jet ou de chalumeau est une flamme de diffusion turbulente résultant de la combustion d'un carburant libéré en continu avec une impulsion significative dans une ou plusieurs directions particulières. Les feux de jets peuvent provenir de rejets d'inventaires gazeux, de liquide clignotant (biphasé) et de liquide pur.

Les incendies à réaction représentent un élément important du risque associé aux accidents majeurs sur les installations offshore. Les flux de chaleur élevés vers des objets heurtés ou engloutis peuvent conduire à une défaillance structurelle ou à une défaillance de la cuve / de la tuyauterie et à une éventuelle escalade supplémentaire. Le développement rapide d'un incendie à réaction a des conséquences importantes sur les stratégies de contrôle et d'isolement ([Johnson et al., 1997](#)).

Les propriétés des feux à réaction dépendent de la composition du carburant, des conditions de rejet, du taux de rejet, de la géométrie du rejet, de la direction et des conditions de vent ambiant. Les rejets biphasés à faible vitesse de matériau de condensat peuvent produire des flammes flottantes paresseuses, affectées par le vent, suies et fortement radiatives similaires aux feux de piscine. Les rejets soniques de gaz naturel peuvent produire des incendies à vitesse relativement élevée qui sont beaucoup moins flottants, moins de suie et donc moins radiatifs ([Cowley & Johnson, 1992](#)).

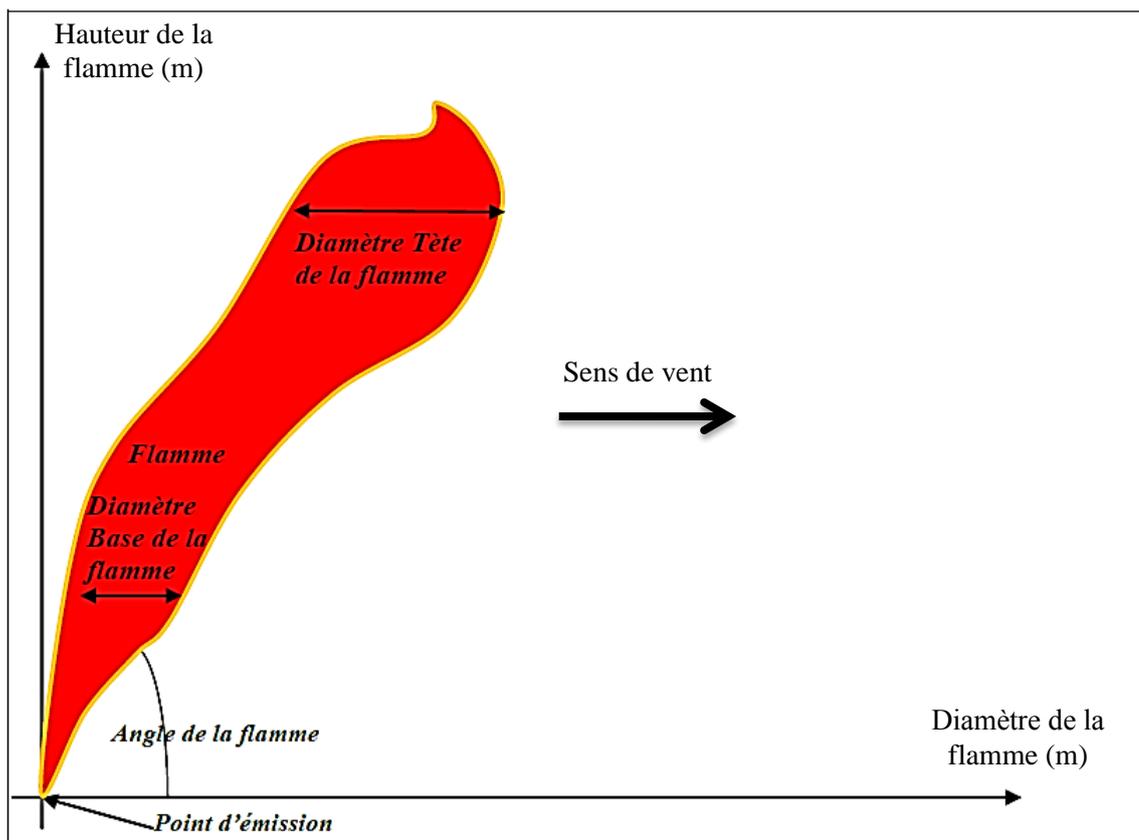


Figure 1.5. Caractéristiques du phénomène de feu de jet ([Hassani, 2014](#))

1.3.5. Phénomène de Feu de nappe (Feu de flaque)

Un feu de flaque décrit un incendie résultant de la combustion d'une nappe de combustible liquide en vaporisation où le carburant a un élan initial nul ou faible. Les feux en plein air seront bien ventilés (contrôlés par le combustible), mais les incendies à l'intérieur des enceintes peuvent devenir sous-ventilés (contrôlés par la ventilation). Les incendies de nappe peuvent être statiques (par exemple, là où la flaque est contenue) ou des incendies en cours ([Truchot et al., 2010](#)).

Ce phénomène implique principalement la surface de la nappe en contact avec l'air. Certains scénarios donneront lieu à un feu de flaque libre ou à un feu de cuvette (lorsque l'équipement est entouré d'une rétention). Le feu de flaque peut résulter de la rupture ou de la fuite d'un équipement contenant un liquide inflammable.

Les incendies des flaques représentent un élément important du risque associé aux accidents majeurs sur les installations offshore ([Cowley & Johnson, 1992](#)).

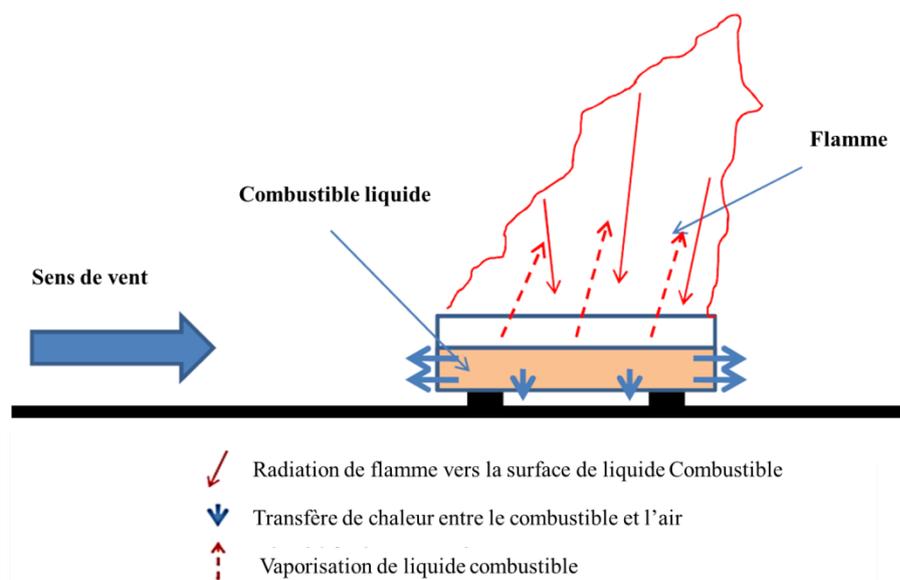


Figure 1.6. Simulation du phénomène de feu de flaque ([Truchot et al., 2010](#)).

1.3.6. Phénomène de Boilover

Un Boilover est une éjection violente de certains hydrocarbures liquides et se produit après une durée prolongée lors d'un incendie dans un réservoir de stockage. Cela se produit en raison de la vaporisation de la sous-couche d'eau qui se trouve généralement à la base d'un réservoir de stockage, ce qui entraîne l'éjection de carburant chaud du réservoir, un énorme

élargissement du feu, la formation d'une boule de feu et un incendie au sol étendu ([Broeckmann & Schecker, 1995](#) ; [Koseki et al., 1991](#)). La sous-couche d'eau existe à la base d'un réservoir du fait de la présence d'eau dans le carburant, le réservoir étant ouvert à l'atmosphère et donc soumis à la pluie et à l'introduction d'eau lors de la lutte contre l'incendie.

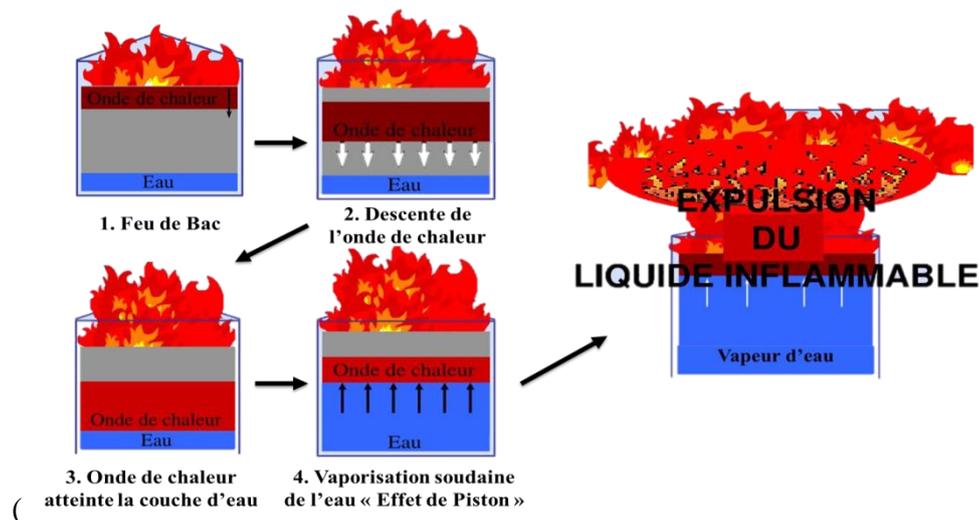


Figure 1.7. Les phases du phénomène de Boilover ([Slideserve.com](#))

Le phénomène de Boilover, tel que décrit dans de nombreuses publications pertinentes, peut se produire comme ([Buang, 2014](#)):

- Boilover de la zone chaude - lorsque la couche de combustible est très importante au moment où le débordement se produit.
- Boilover de la couche mince - lorsque la couche de combustible est très mince au moment de l'ébullition.

1.4. Retour d'expérience sur les accidents industriels majeurs

Les accidents se sont produits dès les premiers jours du développement de l'industrie, jusqu'à très récemment. Bien que les systèmes de gestion des risques aient été améliorés au fil des ans, ils ne sont pas encore totalement efficaces pour maîtriser les risques rencontrés dans le monde, des grands accidents à cause d'activités industrielles ont été survenus, et les résultats étaient catastrophiques que ce soit dans les êtres humains, les biens et/ou l'environnement (Voir la section 1.2.3).

Au niveau local, L'Algérie a aussi eu sa part d'accidents industriels majeurs qui sont considérés comme un réveil de départ dans le sens de prévention des risques majeurs :

1.4.1. Accident de Skikda (Janvier 2004)

Le 19 janvier 2004, l'Algérie a connu le plus grand accident industriel depuis l'indépendance. Vers 18h 40, une explosion a retenti dans le complexe de gaz naturel liquéfié (GNL) de Skikda, faisant voler en éclat les vitres des habitations d'une grande partie de la ville. Les gens sortirent dans les rues croyant à un tremblement de terre avant d'apercevoir une image opaque sur les hauteurs de la ville. Le bilan établi par le ministère de la santé fait état de 27 morts et de 74 blessés et un mouvement de panique jamais égalé dans la ville puisque une grande partie de la population a quitté la ville pour une nuit. L'incendie immense qui s'est déclaré après l'explosion a été maîtrisé vers 4 heures du matin. Selon un responsable de la sécurité de l'unité de Skikda qui s'est exprimé sur la radio nationale : « l'explosion a été causée par une chaudière défectueuse, tout en précisant que l'état défectueux de la machine avait été signalé dans un rapport plus d'un an auparavant et que celle-ci avait été réparée superficiellement ([Aini, 2011](#)).

1.4.2. Incendie sur bacs de pétrole S105/106, (Octobre 2005)

Le 4 octobre 2005 à 10h00, un incendie s'est déclaré sur le bac de pétrole brut S106 au terminal de stockage de Skikda. L'incendie s'est répandu plus tard au bac S105 adjacent. L'incendie fut complètement circonscrit le 12 octobre et les deux bacs furent totalement détruits. Le bilan des pertes humaines s'élève à deux fatalités. Cet accident a pour cause, l'inflammation d'un mélange gazeux inflammable dont l'origine du gaz inflammable a bien été identifiée comme étant le toit du bac 106. L'évaporation du gaz et les conditions climatiques, caractérisées par une faiblesse du vent, ont favorisé la concentration d'un nuage de gaz localisé au niveau du côté Sud-Est du bac, par la suite, le nuage de gaz a été enflammé par le véhicule des deux victimes. Un témoin oculaire affirme avoir vu la flamme partir du dessous du véhicule, à partir du moteur. La source d'ignition pourrait être un point chaud sous le moteur ou un organe électrique du véhicule ([Aini, 2011](#)).

1.5. Réglementation internationale et locale pour les risques d'accidents industriels majeurs

1.5.1. Le recueil « Prévention des accidents industriels majeurs » de l'OIT

À la suite des différents accidents majeurs, le Bureau international du travail (BIT), Organisme Opérationnel de l'Organisation Internationale du Travail (OIT), a réuni en octobre 1990 plusieurs experts internationaux, désignés par les gouvernements, les employeurs et les syndicats des travailleurs. Ces experts ont examiné et ont mis au point un projet de mesures de prévention des accidents industriels majeurs qui a été publié par le BIT en 1991. Ce recueil de directives sert de guide pour les différents organismes (autorités compétentes, inspections, syndicats et fédérations d'employeurs, bureaux d'étude et d'ingénierie) et personnes physiques (exploitants et chefs d'entreprises, responsables de sécurité) afin qu'ils puissent mettre au point des règles et des mesures de sécurité adaptées à leurs situations ([ILO & WHO, 1991](#)).

Les principaux points développés dans ce recueil sont les suivants :

- Dispositions générales ;
- Composantes du système de prévention des accidents majeurs ;
- Obligations des autorités ;
- Obligations des exploitants ;
- Obligations et droits des travailleurs ;
- Obligations des exportateurs et des consultants de technologies présentant des risques d'accidents industriels majeurs :
- Besoins en personnel, en équipements et en sources d'information ;
- Étude des dangers ;
- Prévention des causes d'accidents majeurs ;
- Sûreté de fonctionnement des installations, des dispositifs de commande et de régulation, des équipements de sécurité, des inspections, entretiens et réparations ;
- Plan d'urgence interne ;
- Plan d'urgence externe ;
- Information de la population au sujet des installations dangereuses avant et après un accident majeur ;
- Politique d'implantation et occupation des sols ;
- Rapport aux autorités compétentes ;
- Mise en œuvre du système de prévention des accidents majeurs ;

1.5.2. Directives européennes SEVESO

En Europe et suite à de l'accident de Seveso en 1976, l'Union européenne (UE) a incité à l'adoption de la directive Seveso qui vise à prévenir et à maîtriser de tels accidents. La directive a été périodiquement modifiée sur la base des leçons tirées des accidents industriels majeurs.

La directive Seveso a révélé deux modifications importantes et est aujourd'hui connue sous le nom de directive Seveso II.1

La directive Seveso II vise à :

- prévention des accidents majeurs impliquant des substances dangereuses
- limitation des conséquences des accidents sur l'homme et l'environnement

À cette fin, la directive apporte les instruments de gestion des accidents majeurs et garantit la mise en pratique des procédures de sécurité pour la prévention et l'atténuation des effets des accidents majeurs ([Porter & Wettig, 1999](#)).

1.5.3. Règlementation Algérienne

L'Algérie et suite aux différents accidents qui ont survenus à travers le monde et particulièrement dans le territoire national et dans le cadre de prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes, a mis en place un processus réglementaire dans ce sens. Il s'agit en particulier de la [loi 04/20](#) du 25/12/2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.

Cette loi a pour objet d'édicter les règles de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.

Le législateur Algérien a complété et détaillé la [loi 04/20](#) par des décrets exécutifs tel que :

- Décret exécutif n° [DE 06-198](#) du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement ;
- Décret exécutif n° [DE 07-144](#) du 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement ;

Dans cette perspective, des zones d'exploitation pétrolières et pétrochimiques les plus importantes en Algérie, ont été déclarées comme zones à risques majeurs par des décrets exécutifs suivants :

- Décret exécutif n° [DE 05/127](#) du 24/04/2005 déclarant Hassi Messaoud zone à hauts majeurs
- Décret exécutif n° [DE 05/477](#) du 20 décembre 2005 déclarant le pôle Berkine zone à risques majeurs.
- Décret exécutif n° [DE 06/161](#) du 17 mai 2006 déclarant la zone industrielle de Skikda zone à risques majeurs.
- Décret exécutif n° [DE 06/162](#) du 17 mai 2006 déclarant la zone industrielle d'Arzew zone à risques majeurs.
- Décret exécutif n° [DE 06-163](#) du 17 mai 2006 déclarant le pôle In Amenas zone à risques majeurs.
- Décret exécutif n° [DE 05-476](#) du 20 décembre 2005 déclarant Hassi -R 'Mel zone à risques majeurs.

Ces décrets ont pour objet de fixer les mesures à prendre à l'intérieur du périmètre d'exploitation des gisements dans le cadre de la prévention d'un risque majeur et/ou de la gestion d'une catastrophe.

L'organisme responsable d'assurer la mise en application de ces réglementations est la commission permanente spécialisée des risques majeurs créée du conseil national de l'information géographique par l'[Arrêté du 12 juin 1999](#).

1.6. Intégration de la vulnérabilité dans l'approche d'évaluation de risque

La prise en compte des dangers seuls peut conduire à un ensemble de priorités d'action déséquilibrées. Il est tout aussi important de prendre en compte la gravité des impacts possibles du danger ainsi que la fréquence ou la probabilité qu'un événement dangereux se produise. La combinaison de la gravité et de la probabilité est appelée le niveau de risque.

Pour déterminer la gravité d'un événement dangereux, il faut examiner la vulnérabilité d'une communauté. La vulnérabilité est définie comme les personnes, les biens, les infrastructures, les industries et les ressources, ou les environnements qui sont particulièrement exposés aux effets néfastes d'un aléa ([PEP, 2004](#)).

La probabilité reflète la fréquence d'occurrence d'un événement dangereux particulier et peut aller d'événements rares se produisant tous les deux siècles à des événements plus fréquents, qui comportent généralement un nombre élevé d'incidents enregistrés ou de preuves anecdotiques ([PEP, 2004](#)). Par exemple, une communauté peut avoir un service d'incendie professionnel à plein temps, ce qui la rend moins vulnérable à un incendie de structure qu'une communauté similaire sans service d'incendie. De même, une communauté avec une caserne de pompiers située dans une plaine inondable est plus vulnérable qu'une communauté similaire avec une caserne de pompiers construite en dehors de la zone de la plaine inondable en raison de la possibilité que la caserne de pompiers soit hors service à la suite d'une inondation. Comme la caserne de pompiers sur la plaine inondable (une installation vulnérable), une communauté peut avoir des zones proportion de résidents âgés ou très jeunes, ce qui augmente la vulnérabilité de cette communauté.

Actuellement, Il n'existe pas de véritable consensus sur la manière d'évaluer et d'intégrer les composantes intrinsèques du risque ([Villagrán de León, 2006](#)). En principe, une évaluation de risque examine les dangers qui peuvent avoir un impact sur une communauté et le risque que chaque événement dangereux représente pour la communauté dans son ensemble et pour les éléments vulnérables de la communauté ([EmergeX, 2006](#)). Donc, quel que soit l'approche suivie pour l'évaluation : le risque doit exprimer la probabilité d'occurrence d'événements indésirables ou de dommages (victimes, biens, emplois, interruption du développement économique, dommages environnementaux) découlant de la relation entre l'émergence de aléas naturels ou anthropiques et les enjeux vulnérables. Alors, on peut évaluer le risque par deux composants essentiels ([Foerster, 2009](#)) :

- l'Aléa, qui représente la probabilité d'occurrence d'un événement particulier (naturel ou technique) avec une fréquence donnée (période de retour) ou pendant une période de temps et dans un espace géographique donnés ;
- la Vulnérabilité, qui représente la prédisposition d'un ou plusieurs éléments exposés ou enjeux (bâtiments, infrastructures, personnes, services, processus, organisations, etc.) à être affectés, endommagés ou détruits du fait de la survenue de cet événement

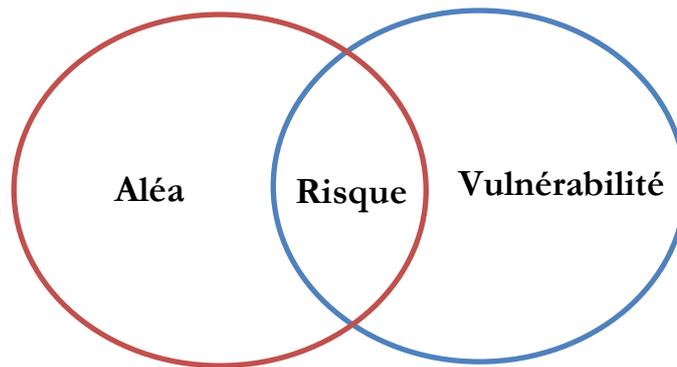


Figure 1.8. Les composants d'évaluation du Risque majeur Aléa/Vulnérabilité

Une expression mathématique pour le risque en termes de dangers et de vulnérabilités est représentée comme suit :

$$Risque = f(Aléa, Vulnérabilité) \quad (1.1)$$

Où f représente la fonction qui décrit la combinaison entre l'aléa et la vulnérabilité. Un exemple de cette fonction est le produit simple, tel que proposé par la [ISDR \(2004\)](#):

$$Risque = Aléa \times Vulnérabilité \quad (1.2)$$

[Alexander \(2002\)](#) définit le risque comme "la probabilité qu'un niveau particulier de perte soit subi par une série donnée d'éléments à la suite d'un niveau donné d'aléa ". Le risque total serait alors constitué de la somme des victimes, dommages et pertes prévisibles, représentée par l'équation :

$$Risque = Aléa \times Vulnérabilité \times \sum \text{éléments à risque} \quad (1.3)$$

L'Organisation des Nations Unies pour les secours en cas de catastrophe, [UNDRO \(1980\)](#) ainsi que [Dilley et al. \(2005\)](#) présentent le risque comme la combinaison de trois composantes : l'aléa, l'exposition et la vulnérabilité. Dans ce contexte, la vulnérabilité est une caractéristique intrinsèque des personnes, des infrastructures et des utilisations des terres importantes d'un point de vue socioéconomique et environnemental, tandis que l'aléa est lié à l'ampleur, à la durée, à l'emplacement et au moment de l'événement. Dans ce cas, la relation entre le risque, l'aléa, la vulnérabilité et l'exposition est représentée comme suit :

$$Risque = Aléa \times Vulnérabilité \times Exposition \quad (1.4)$$

Dans le même sens et avec l'ajout d'un coefficient κ expérimental représente la densité de population, la Chambre Technique de Grèce (1999-2005) avait proposé dans un projet de réalisation d'une stratégie face au risque sismique ([Dilly et al., 2005](#)):

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Exposition} \times \kappa \quad (1.5)$$

Dans la deuxième phase de ce projet, une autre formule a été utilisée :

$$\text{Risque} = (\text{Aléa} - \text{Action de Renforcement}) \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Exposition} \times (\text{facteur d'ajustement des dommages aux coûts}) \quad (1.6)$$

La capacité d'adaptation qui représente la gestion des ressources disponible avant, pendant et après la catastrophe, ce terme est proposé par plusieurs études dans le contexte comme un facteur d'évaluation du risque ([Villagrán de León, 2006](#)):

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} / \text{Capacité d'adaptation} \quad (1.7)$$

[Hahn et al. \(2003\)](#), en utilisant les termes d'aléa, vulnérabilité, exposition et capacités d'adaptation, ont développé un modèle dans lequel le risque est représenté par la formule :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} + \text{Vulnérabilité} + \text{Exposition} - \text{Capacité d'adaptation}$$

Mathématiquement la somme dans les formules représente la disjonction (la fonction OU), mais par contre le risque représente l'interaction des facteurs ($\text{Aléa} \cap \text{Vulnérabilité} \cap \text{Exposition}$), on n'a pas du risque sans aléa ou sans vulnérabilité, alors cette hypothèse est juste seulement pour indiquer les paramètres du risque mais n'est pas pour la quantification de risque.

Contrairement aux deux modèles précédents utilisant la capacité d'adaptation, [Villagrán De León \(2001\)](#) a défini la relation suivante pour le risque :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Défauts de préparation} \quad (1.8)$$

À cet égard, les déficiences en matière de préparation font référence aux conditions préexistantes qui inhibent une institution, une communauté, une société ou un pays à réagir de manière efficace et opportune une fois l'événement survenu déclenche la catastrophe afin de minimiser ses impacts, en particulier les pertes de vies humaines. De telles carences comprennent l'absence de comités d'urgence et de plans d'urgence, l'absence de systèmes d'alerte rapide, et mesures connexes.

Le risque devrait représenter la probabilité de conséquences néfastes, ou de pertes attendues (décès, blessures, biens, moyens de subsistance, activité économique perturbée ou environnement endommagé) résultant des interactions entre les dangers naturels ou anthropiques et les conditions vulnérables ([ISDR, 2004](#)).

1.7. Concepts et définitions de la vulnérabilité et la résilience

1.7.1. La Vulnérabilité

Le concept de vulnérabilité est utilisé depuis plus d'une décennie, en particulier dans le domaine de la géographie. Actuellement, la vulnérabilité est utilisée dans le domaine de la gestion des risques, des dangers et des catastrophes, ainsi que dans les domaines du changement global et des études sur l'environnement et le développement. Au cours des dernières années, la vulnérabilité des villes et des mégapoles est devenue un point central. Cependant, il n'existe pas de conceptualisation commune de la vulnérabilité ([Cutter, 1996](#)).

Ainsi, les significations de la vulnérabilité sont encore floues. Il existe un potentiel personnel ou individuel de pertes ou une sensibilité à ces pertes qui ont des domaines à la fois spatiaux et non spatiaux (vulnérabilité individuelle).

Il existe une vulnérabilité sociale, y compris la vulnérabilité des groupes sociaux ou de la société dans son ensemble aux pertes potentielles dues à des événements désastreux. Il y a aussi la vulnérabilité des bâtis et des services (réseau électrique ou infrastructure ...). Enfin, il existe un potentiel de perte dérivé de l'interaction de la société avec les conditions biophysiques qui à son tour affectent la résilience de l'environnement pour répondre au danger ou à la catastrophe et influent sur l'adaptation de la société à ces conditions changeantes.

De nombreuses divergences dans la signification de la vulnérabilité découlent des différentes orientations épistémologiques et des pratiques méthodologiques qui en découlent. Il existe également des variations considérables dans le choix des risques eux-mêmes (par exemple, naturels, chimiques, technologiques, biologiques, artificiels, instrumentaux), l'échelle (mondiale ou locale) et les régions choisies pour l'examen (développées ou en développement).

La littérature sur la vulnérabilité est également bifurquée lorsqu'il s'agit de comprendre les causes de la vulnérabilité, ce qui n'est pas une surprise compte tenu des différentes orientations théoriques. Certaines études de vulnérabilité adoptent une perspective politico-économique et suggèrent une structure causale qui se concentre sur les impacts sociaux différentiels et les capacités à faire face à la crise en question. Les causes de la vulnérabilité sociale s'expliquent par les conditions sociales sous-jacentes qui sont souvent assez éloignées de l'événement déclencheur du danger. Selon [Watts & Bohle \(1993\)](#), par exemple, la vulnérabilité est définie par trois processus : le droit (ou la capacité économique),

l'autonomisation (pouvoir politique/social) et l'économie politique (modèles de reproduction sociale fondés sur les classes historiques/structurelles).

Le tableau suivant représente les différentes de la vulnérabilité de plusieurs auteurs dans ce contexte :

Tableau 1.5. Définitions de la vulnérabilité des différents auteurs

Définitions de Vulnérabilité	Auteurs
La vulnérabilité comme un outil de gestion des risques d'inondation compte tenu de son approche multidimensionnelle.	Kumar & Bhattacharjya (2020a)
La vulnérabilité comme un cadre intégré qui comprend l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation pour évaluer le degré de dommage.	Lee & Choi (2018)
Définir la vulnérabilité comme un terme multidimensionnel tenant compte des composantes sociales, économiques et hydrologiques de tout état pendant le risque.	Kaspersen & Halsnæs (2017)
La vulnérabilité a été définie comme le degré auquel un système, ou une partie d'un système, peut réagir négativement lors de la survenance d'un événement dangereux.	Proag (2014)
La vulnérabilité représente le préjudice potentiel encouru par une personne, un bien, une activité ou un assemblage d'articles qui est en danger . Le risque est motivé par des dangers naturels, technologiques, sociaux, intentionnels ou complexes et le résultat potentiel est une catastrophe. Comme elle est principalement le résultat de facteurs sociaux, économiques, politiques et culturels dans la prise de décision, la vulnérabilité est construit socialement.	Alexander (2013)
La vulnérabilité fait partie de la condition humaine qui consiste à vivre en tant que créatures temporelles qui subissent des changements et des transformations de toutes sortes et qui vivent avec la conscience de la probabilité du changement.	Berzins McCoy (2013)
La vulnérabilité est un indicateur, qui montre la relation entre le contact physique, économique et social de la catastrophe avec la zone d'intérêt.	Birkmann (2006)
La vulnérabilité est la possibilité de conséquences néfastes en termes de décès, de blessures, de biens, de moyens de subsistance ou d'endommagement de l'environnement résultant d'interactions entre des dangers naturels ou induits par l'homme et des conditions dangereuses.	UNISDR et al. (2009)
Par vulnérabilité, nous entendons les caractéristiques d'une personne ou d'un groupe et leur situation qui influencent leur capacité à anticiper, à faire face, à résister et à se remettre de l'impact d'un aléa naturel (un événement ou un processus naturel extrême)	Wisner et al. (2004)

Par vulnérabilité, nous entendons l'état d'une zone donnée en ce qui concerne le aléa, l'exposition, et les caractéristiques de préparation, de prévention et de réaction pour faire face à des aléas naturels spécifiques. Il s'agit d'une mesure de la capacité de cet ensemble d'éléments à résister à des événements d'un certain caractère physique	Weichselgartner & Bertens (2000)
La vulnérabilité est une situation qui met les personnes en danger tout en réduisant leurs moyens de réaction ou en leur refusant la protection disponible	Comfort et al. (1999)
La vulnérabilité représente la sensibilité de l'utilisation des terres (zones) au phénomène de danger	Gilard & Givone. (1997)
La vulnérabilité est mieux définie comme une mesure globale du bien-être humain qui intègre l'exposition environnementale, sociale, économique et politique à une série de perturbations potentiellement néfastes. La vulnérabilité est un espace social multicouche et multidimensionnel défini par les capacités politiques, économiques et institutionnelles des personnes dans des lieux et à des moments précis	Bohle et al. (1994)
La vulnérabilité est définie en termes d'exposition, de capacité et de potentialité. En conséquence, la réponse normative et prescriptive à la vulnérabilité consiste à réduire l'exposition, à améliorer la capacité d'adaptation, à renforcer le potentiel de récupération et à renforcer le contrôle des dommages (c'est-à-dire à minimiser les conséquences destructrices) par des moyens privés et publics	Watts & Bohle (1993)
La vulnérabilité humaine est la fonction des coûts et des avantages des zones habitées exposées aux risques de catastrophes naturelles	Alexander (1993)
La vulnérabilité est la capacité différentielle des groupes et des individus à faire face aux dangers, en fonction de leur position dans le monde physique et social	Dow (1992)
La sensibilité humaine aux risques environnementaux représente une combinaison d'exposition physique et de vulnérabilité humaine ± l'étendue de la tolérance sociale et économique disponible sur le même site	Smith (1992)
La vulnérabilité a trois connotations : elle désigne une conséquence (par exemple, la famine) plutôt qu'une cause (par exemple, la sécheresse) ; elle implique une conséquence négative (par exemple, les rendements du maïs sont sensibles à la sécheresse ; les ménages sont vulnérables à la faim) ; et c'est un terme relatif qui différencie les groupes socio-économiques ou les régions, plutôt qu'une mesure absolue ou une privation	Downing (1991)
La vulnérabilité est le degré de perte d'un élément ou d'un ensemble d'éléments à risque donné résultant de la survenance d'une phénomène d'une ampleur donnée et exprimé sur	UNDRO (1991)

une échelle de 0 (aucun dommage) à 1 (perte totale). En termes simples, cela signifie que le la mesure dans laquelle l'individu, la famille, la communauté, la classe ou la région risque de subir un malheur soudain et grave à la suite d'un événement naturel extrême	
Distingue entre la vulnérabilité en tant que condition biophysique et la vulnérabilité telle que définie par les conditions politiques, sociales et économiques de la société. Elle plaide pour la vulnérabilité dans l'espace géographique (où se trouvent les personnes et les lieux vulnérables) et la vulnérabilité dans l'espace social (qui, en ce lieu, est vulnérable)	Liverman (1990)
La vulnérabilité est le potentiel de perte	Mitchell (1989)
La vulnérabilité est définie opérationnellement comme l'incapacité à prendre des mesures efficaces pour s'assurer contre les pertes. Lorsqu'elle est appliquée aux individus, la vulnérabilité est une conséquence de l'impossibilité ou de l'improbabilité d'une atténuation efficace et est fonction de notre capacité à détecter les dangers	Bogard (1988)
La vulnérabilité est la "capacité à subir un préjudice et à réagir négativement".	Kates (1985)
La vulnérabilité est la menace ou l'interaction entre le risque et la préparation. C'est le degré auquel les matières dangereuses menacent une population particulière (risque) et la capacité de la communauté à réduire le risque ou les conséquences néfastes des rejets de matières dangereuses	Pijawka et al. (1985)
La vulnérabilité est le degré auquel les différentes classes de la société sont différemment exposées	Susman et al. (1983)
L'élément de vulnérabilité de l'analyse des risques a impliqué le développement d'un modèle d'exposition informatisé pour chaque danger et des algorithmes de dommages appropriés liés aux différents types de bâtiments	Petak & Atkisson (1982)
La vulnérabilité est la mesure dans laquelle un système agit négativement sur la survenance d'un événement dangereux. Le degré et la qualité de la les réactions indésirables sont conditionnées par la résilience d'un système (une mesure de la capacité du système à absorber et à se remettre de l'événement)	Timmerman (1981)
La vulnérabilité est le degré de perte d'un élément ou d'un ensemble d'éléments à risque donné résultant de la survenance d'un phénomène naturel d'une ampleur donnée	UNDRO (1979)

1.7.2. La Résilience

La " résilience " est la capacité d'un système et de ses composants à anticiper, absorber, accommoder ou récupérer des effets d'un événement dangereux de manière opportune et efficace, y compris en assurant la préservation, la restauration ou l'amélioration de ses structures et fonctions de base essentielles ([IPCC, 2012](#))

Les concepts de la résilience ([Proag, 2014](#)) prennent deux grandes formes:

1.7.2.1. Résilience dure

La force directe des structures ou des institutions lorsqu'elles sont soumises à une pression, telle qu'accroître la résilience d'une structure par des mesures de renforcement spécifiques visant à réduire leur probabilité de l'effondrement ([Proag, 2014](#)).

1.7.2.2. Résilience douce

capacité des systèmes à absorber et à se remettre de l'impact d'événements perturbateurs sans des changements fondamentaux de fonction ou de structure, qui dépendent de la flexibilité et de la capacité d'adaptation du système en tant d'ensemble, plutôt que de se contenter de renforcer les structures ou les institutions par rapport à des contraintes spécifiques, comme dans le cas de l'approche de la résilience ([Proag, 2014](#)).

La résilience et la vulnérabilité sont des concepts communs et connexes dans un certain nombre de disciplines scientifiques ([Klein et al., 1998](#)) et ils ont gagné en popularité dans le domaine des catastrophes.

Une question clé qui émerge, cependant, concerne la relation entre eux.

- La résilience est-elle le contraire de la vulnérabilité ?
- La résilience est-elle un facteur de vulnérabilité ?
- Ou est-ce l'inverse ?

Là encore, il n'est pas facile de fournir des réponses uniques à ces questions. Il est toutefois essentiel d'aborder cette relation pour définir la signification, les implications et les applications de la résilience ([Manyena, 2006](#)).

[O'Keefe et al. \(1976\)](#) affirment que si la vulnérabilité n'est pas nécessairement le "revers" de la résilience, cela ne signifie pas que nous pouvons intégrer la vulnérabilité dans la résilience ou vice versa.

En résumé, deux points de vue ont émergé : l'un considère la résilience et la vulnérabilité comme des facteurs l'un de l'autre, tandis que l'autre point de vue, les considère plutôt comme des entités distinctes.

1.8. Prévention des risques industriels majeurs

À l'échelle mondiale, la prise de conscience est tardive : la première conférence mondiale sur la prévention des catastrophes a été organisée à Yokohama par les Nations unies en 1994.

À l'échelle européenne, c'est la catastrophe de Seveso près de Milan en 1976 qui est à l'origine de la première directive européenne. En Algérie, la politique de prévention s'inscrit dans le cadre de développement durable par la [loi 04/20](#) relative à la prévention des risques majeurs et gestion des catastrophes, cette dernière a proposé une stratégie de réalisation d'un plan général de prévention du risque majeur (PGPRM)

La réalisation du PGPRM nécessite la mise en œuvre, dans un calendrier maîtrisé, d'un processus d'élaboration permettant tout à la fois de réaliser les études nécessaires, d'associer les différents acteurs concernés et de mener la procédure administrative prévue par les textes

De façon pratique, le PGPRM nécessite deux séquences successives :

- La première dite séquence d'étude correspond principalement à l'évaluation des risques dans le périmètre d'étude, d'autre part sur l'analyse du risque sur le territoire.
- La seconde séquence dite d'élaboration du projet de PGPRM consiste à établir les différents documents réglementaires du dossier de PGPRM et à poursuivre la procédure administrative jusqu'à son terme.

Le démarche de réalisation du PGPRM est basé sur quatre (04) axes ou cadres nécessaires ([Hassani et al., 2018](#)), ces derniers sont présentés dans la figure 1.9

- a. **le cadre réglementaire et administratif** : Cette partie identifie les exigences et les responsabilités dans le domaine de prévention des risques majeurs (voir 1.5.)
- b. **le cadre d'étude technique** : Ce cadre est présenté par l'étude de danger EDD :
 - Les phénomènes dangereux et leurs effets.
 - La définition de périmètre de sécurité par le zonage des effets
 - Les résultats des EDD, sont des éléments clés dans l'élaboration du PGPRM

- c. **le cadre de concertation et de dialogue** : Ce cadre doit être réalisé par la CPSRM (commission permanente spécialisée des risques majeurs) du conseil national de l'information géographique, et aussi par la participation des tous les acteurs concernés (les citoyens, les autorités, les experts, les exploitants, les chercheurs...etc.). La concertation est menée en continue sur l'ensemble du processus suivant des modalités définies par l'[Arrêté du 12 juin 1999](#).
- d. **Le cadre de la maîtrise de l'urbanisation** : Parmi les outils de la maîtrise de l'urbanisation en Algérie, est le plan d'occupation de sol (POS), qui organise les nouvelles constructions mais il ne prend aucune mesure pour l'urbanisme existant. Devant cette situation, l'autorité publique doit prendre en charge ce volet dans leur politique d'affectation et d'utilisation des sols. L'objectif de ce processus est de préserver et d'améliorer la sécurité des populations se trouvant à proximité de sites à risques, par le contrôle, le suivi et la mise en conformité réglementaire en matière d'implantation, de construction, d'extension et modification des établissements existants ou en projet, et des nouveaux aménagements autour des établissements classés. Ces dispositions concernent l'ensemble des zones à haut risques majeurs comme le cas du périmètre d'exploitation des champs gazier de Hassi R'Mel (le cas de notre étude) ([Hassani et al., 2018](#)).

De plus, et afin de concrétiser l'élaboration et la mise en œuvre dudit plan PGPRM, une convention de financement doit être engagée.

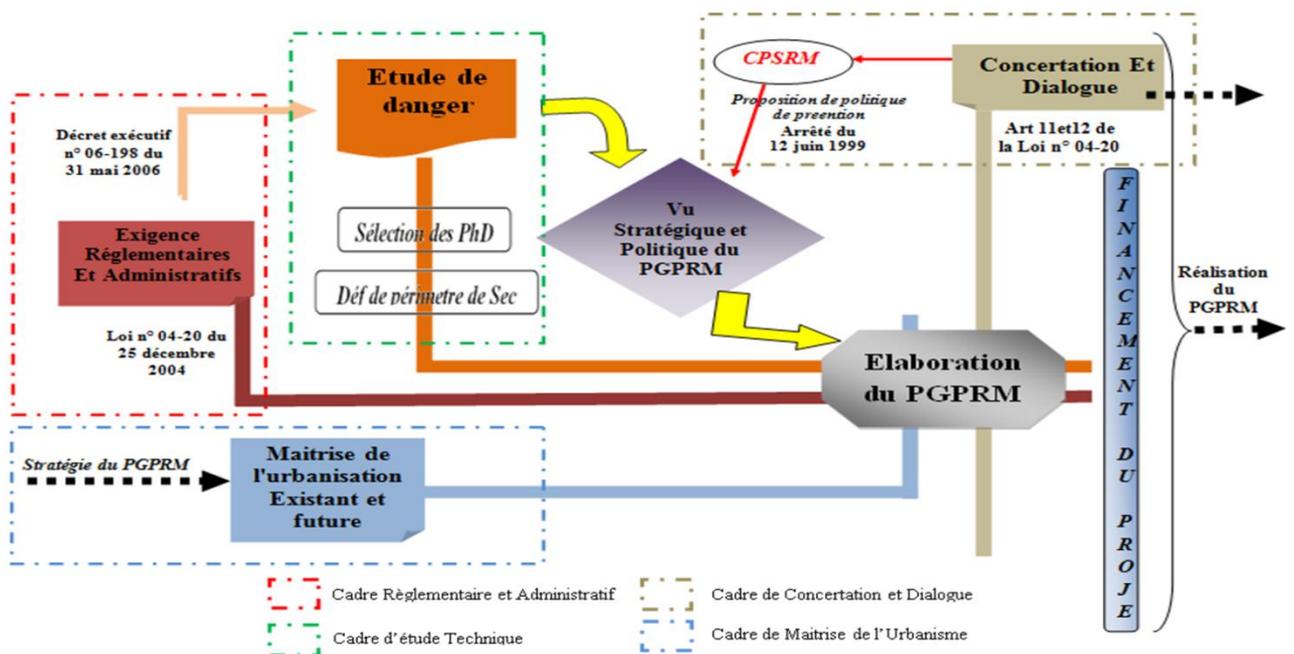


Figure 1.9. Cadres de Réalisation du plan général de la prévention des risques majeurs ([Hassani et al., 2018](#)).

1.9. Conclusion

Les activités sur un site industriel génèrent plusieurs risques, appelés risques industriels. Ces risques affectent de manière dramatique les humains (blessures ou décès), les biens (équipements et structures) et l'environnement (résidents chimiques et pollutions diverses). Cependant, tous ces aléas sont la conséquence du fonctionnement de routine des unités industrielles qui doivent être gérées sérieusement pour éviter la catastrophe.

Avec le développement moderne, un nouveau problème est apparu en raison d'une large mise en œuvre des technologies. Par conséquent, l'évaluation de la vulnérabilité est une étape essentielle vers le développement d'une stratégie efficace de réduction des risques industriels. C'est pourquoi, le chapitre suivant s'intéresse à la au concept de la vulnérabilité.

L'identification de cette dernière offre une vue exploratoire sur les cibles affectées par un risque industriel majeur. Toutefois, l'évaluation de la vulnérabilité génère une vision décisionnelle à travers un processus d'estimation de la vulnérabilité et de classification des cibles.

Chapitre 02

MODELES ET APPROCHES D'ANALYSE ET D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE

2.1. Introduction

La vulnérabilité apparaît comme un système articulé autour d'un grand nombre de variables, naturelles et humaines, dont la dynamique dans le temps et dans l'espace peut engendrer des situations plus ou moins dangereuses pour une société exposée. Il est difficile de distinguer une vulnérabilité liée aux phénomènes naturels, d'une vulnérabilité produite par des phénomènes sociaux. Le système de vulnérabilité se compose d'éléments vulnérables et des facteurs.

Dans le cadre de ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux approches de la vulnérabilité afin de clarifier leurs limites et leurs potentiels. Les données qualitatives peuvent être converties en données quantitatives par l'analyse de la fréquence des mots clés, et l'analyse quantitative est basée sur des hypothèses et des cartes mentales des chercheurs qui sont, en fait, qualitatives. Pour la plupart des applications pratiques et quotidiennes, il existe une distinction entre elles, mais il y a souvent un chevauchement considérable. En effet, la méthodologie de jour en ce début de 21^{ème} siècle semble exiger des méthodes mixtes malgré les doutes épistémologiques entraînant des problèmes d'acceptation par certains publics politiques

Il existe des applications particulières mieux adaptées à la mesure (généralement en tant qu'aides à la prise de décision à l'échelle mondiale, nationale, infranationale et municipale). Les mesures sont moins utiles et jouent un rôle moins important à l'échelle de la communauté (quartier urbain ou village et hameau rural), où des exercices qualitatifs de groupes de discussion et de cartographie participative peuvent aider les dirigeants locaux et la société civile à planifier et à agir. Au fur et à mesure de la progression de cette section, on affirmera que tant les mesures que les outils dépendent des modèles. Les modèles, à leur tour, dépendent de la définition des concepts dont ils cherchent à représenter l'interaction.

Les modèles de vulnérabilité sont, en fait, des définitions élargies (parfois des taxonomies) qui suggèrent à des degrés divers de détail les processus biophysiques et sociaux qui se combinent pour produire une susceptibilité à la perte et au préjudice et des obstacles à la récupération. Ces modèles sont, pour la plupart, des aperçus schématiques ou des cadres permettant de poser des questions.

2.2. Modèles proposés dans le cadre des catastrophes naturelles et changement climatique

2.2.1. Modèle de la complexité des concepts de vulnérabilité

Dans le cadre de l'identification et l'organisation des concepts de vulnérabilité [Birkmann & Wisner \(2006\)](#); suggère que la vulnérabilité peut être conceptualisée à une série de degrés de complexité et d'échelle accrus ([Birkmann, 2013](#)). Les modèles présentés dans ce chapitre se situent tous sous les deux anneaux les plus extérieurs de son diagramme (**Figure 2.1**).

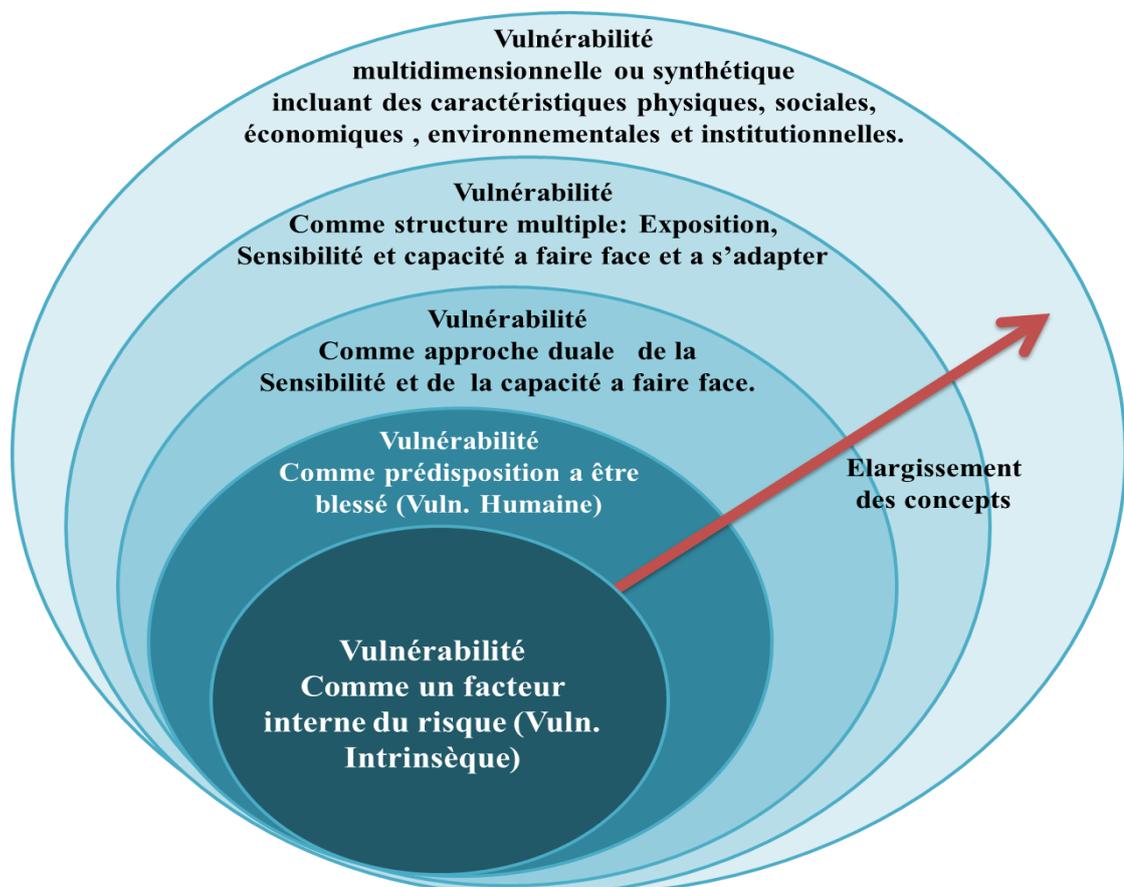


Figure 2.1. Représentation de Birkmann de l'échelle et de la complexité des concepts de vulnérabilité ([Birkmann, 2013](#)).

En effet, ce qui est commun à toutes ces définitions est l'identification des facteurs influençant la vulnérabilité dans de nombreux domaines à des échelles temporelles et spatiales très variées.

2.2.2. Modèle de Progression de la vulnérabilité :

Le cadre de progression de la vulnérabilité (figure 2.2) tente de modéliser les relations entre les processus et l'intersection des échelles dans le temps ([Wisner et al., 2011](#)). Les causes profondes peuvent être éloignées géographiquement du site local de vulnérabilité, comme une décision d'investissement prise par une société éloignée.

Les pressions dynamiques sont normalement des tendances à l'échelle décennale impliquant des cycles économiques, la dynamique des populations, l'utilisation des terres et la gouvernance. Elles traduisent ou transmettent les causes profondes à l'échelle locale et au moment présent, où elles produisent des conditions dangereuses et des moyens de subsistance fragiles. Comme le note [Alexander \(2013\)](#), "De la même manière que les frictions naissent lorsqu'elles sont mobilisées par la résistance à une force, la vulnérabilité ne se manifeste pleinement que lorsque les dangers se matérialisent et menacent une personne, un bien ou une activité".

Bien que la plupart des chercheurs insistent sur le fait que la vulnérabilité n'a de sens que par rapport à l'un ou l'autre danger spécifique et que, de fait, la vulnérabilité n'est jamais révélée ou réalisée qu'après l'impact d'un danger, toujours il existe un cas particulier.

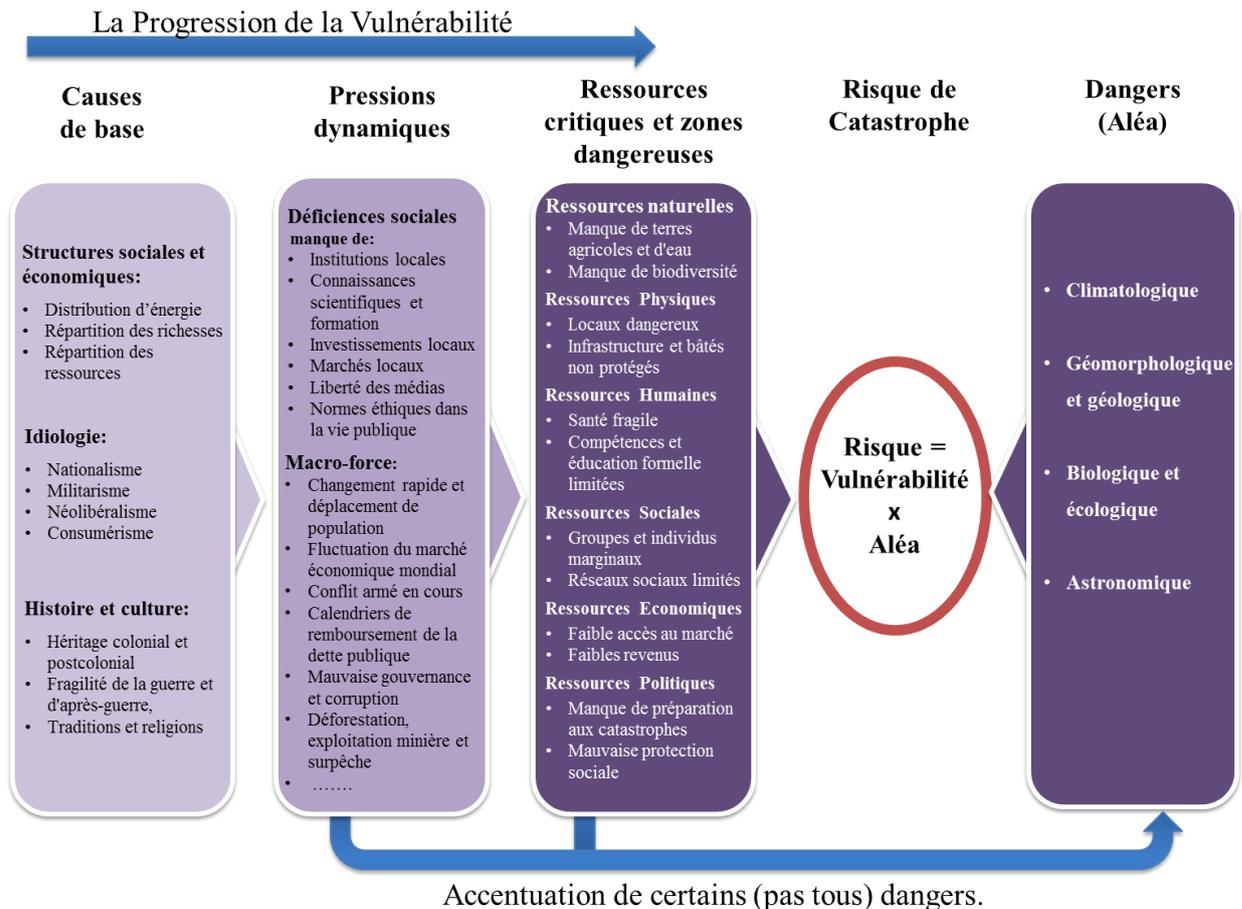


Figure 2.2. La progression de la vulnérabilité. ([Wisner et al., 2011](#)).

2.2.3. Modèle des composantes de la vulnérabilité :

L'approche de [Cannon \(2008\)](#) décompose la vulnérabilité en cinq composantes :

- La force et la résilience des moyens de subsistance
- Bien-être et situation de base
- Autoprotection
- Protection sociale
- Gouvernance

En tirant ces groupes de variables de sa collaboration antérieure à l'élaboration du cadre de progression de la vulnérabilité ou Pressure and Release (PAR), Cannon a réorganisé ces variables de manière à révéler les liens de manière plus dynamique que ne le fait le PAR lui-même (**Figure 2.3**). Il met en évidence les principales déconnexions qui expliquent la persistance de la vulnérabilité ([Cannon, 2008](#)).

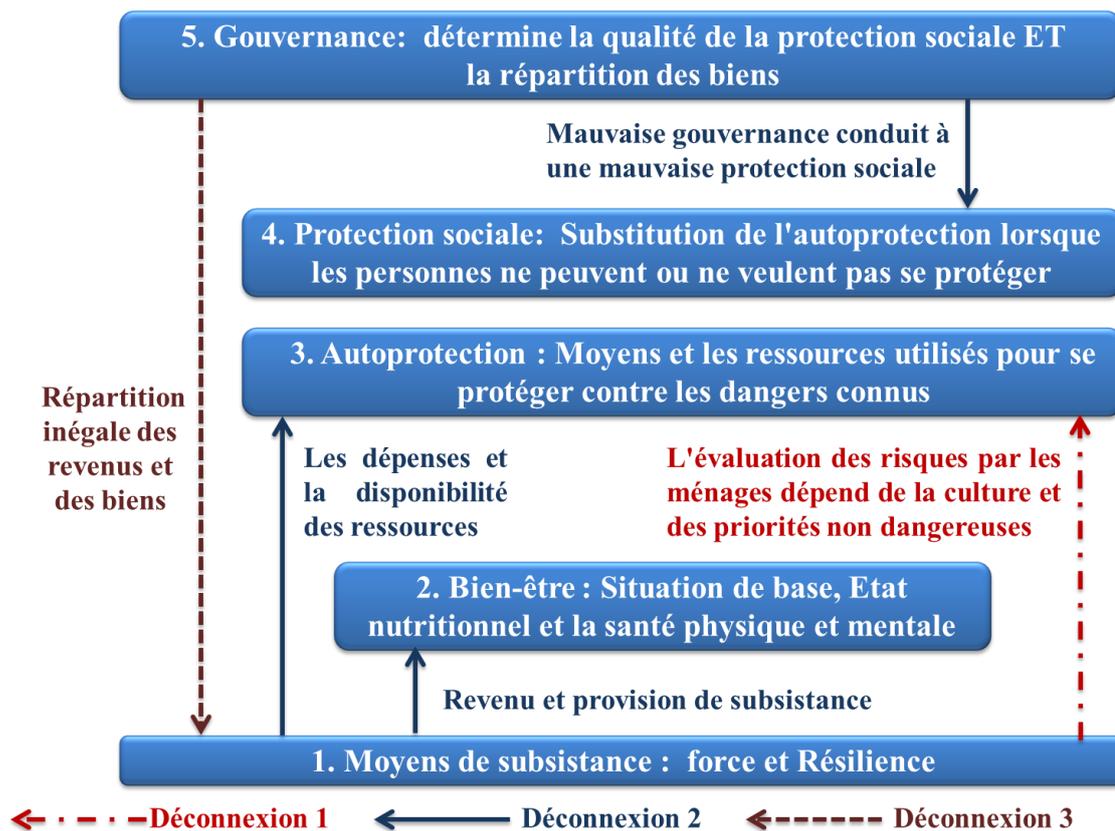


Figure 2.3. Les cinq composantes de la vulnérabilité et leurs principaux déterminants (Cannon, 2008).

2.2.4. Modèle socio-écologique de la vulnérabilité

L'approche de Cannon (2008) et les versions antérieures de l'approche de progression de la vulnérabilité n'ont pas modélisé le rôle des relations entre l'homme et l'environnement (Wisner et al., 2004).

L'environnement et, en particulier, les risques naturels sont considérés comme allant de soi. Ce n'est que dans la dernière révision de l'approche de progression de la vulnérabilité (Figure 2.2) que les actions ou l'inaction de l'homme modifient les dangers. L'une des contributions de Cannon à la deuxième édition était un diagramme qui encadrait théoriquement l'ouvrage dans les relations dialectiques entre l'homme et la nature (Wisner et al., 2004).

Le diagramme de Cannon suivant (Figure 2.4) est composé d'une pile verticale de cases numérotées de 1 à 8. En haut "l'Environnement naturel" suivi par la Variété spatiale, avec une distribution inégale des opportunités et des risques". Cette dernière se divise en deux subdivisions : "Opportunités, lieux et ressources pour les activités humaines" et "Dangers

affectant les activités humaines". En bas du diagramme, on peut lire : "Systèmes politiques et économiques à l'échelle nationale et internationale" (8), "Systèmes sociaux et relations de pouvoir" (7), "Classe - sexe - ethnicité - groupe d'âge - handicap - situation d'immigration" (6), et "Les processus sociaux déterminent l'inégalité d'accès aux opportunités et l'inégalité d'exposition aux dangers" (5). Ces quatre cases se trouvent en dessous et pointent vers le haut en direction des "Opportunités" et des "Dangers".

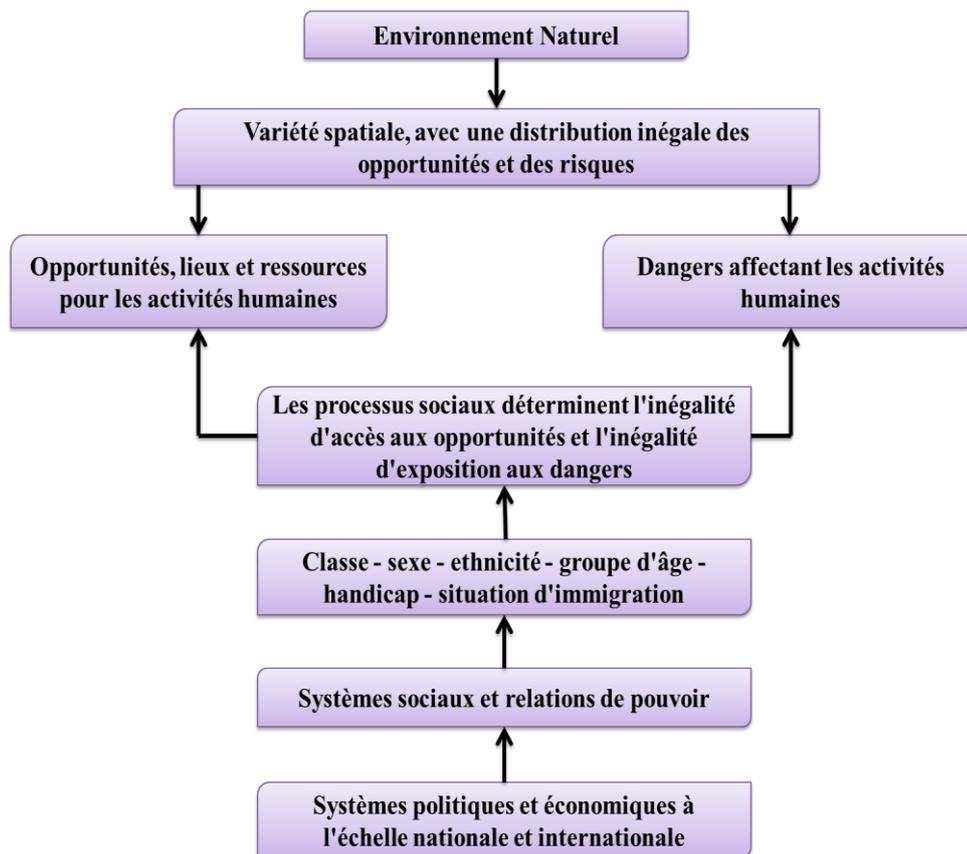


Figure 2.4. Les déterminants sociaux de la catastrophe naturelle de Cannon.([Wisner et al. 2004](#)).

Ainsi, vu dans le contexte, ni Cannon ni les premiers modèles de progression de la vulnérabilité ne sont oublieux de l'environnement naturel. Néanmoins, dans l'approche de [Turner et al. \(2003\)](#), le modèle socio-écologique est plus explicite en ce qui concerne les liens entre l'homme et l'environnement et les boucles de rétroaction, alors que, hélas, il est moins détaillé que de Cannon et toutes les versions de la RAP dans la modélisation des relations socioéconomiques et politiques (Figure 2.5).

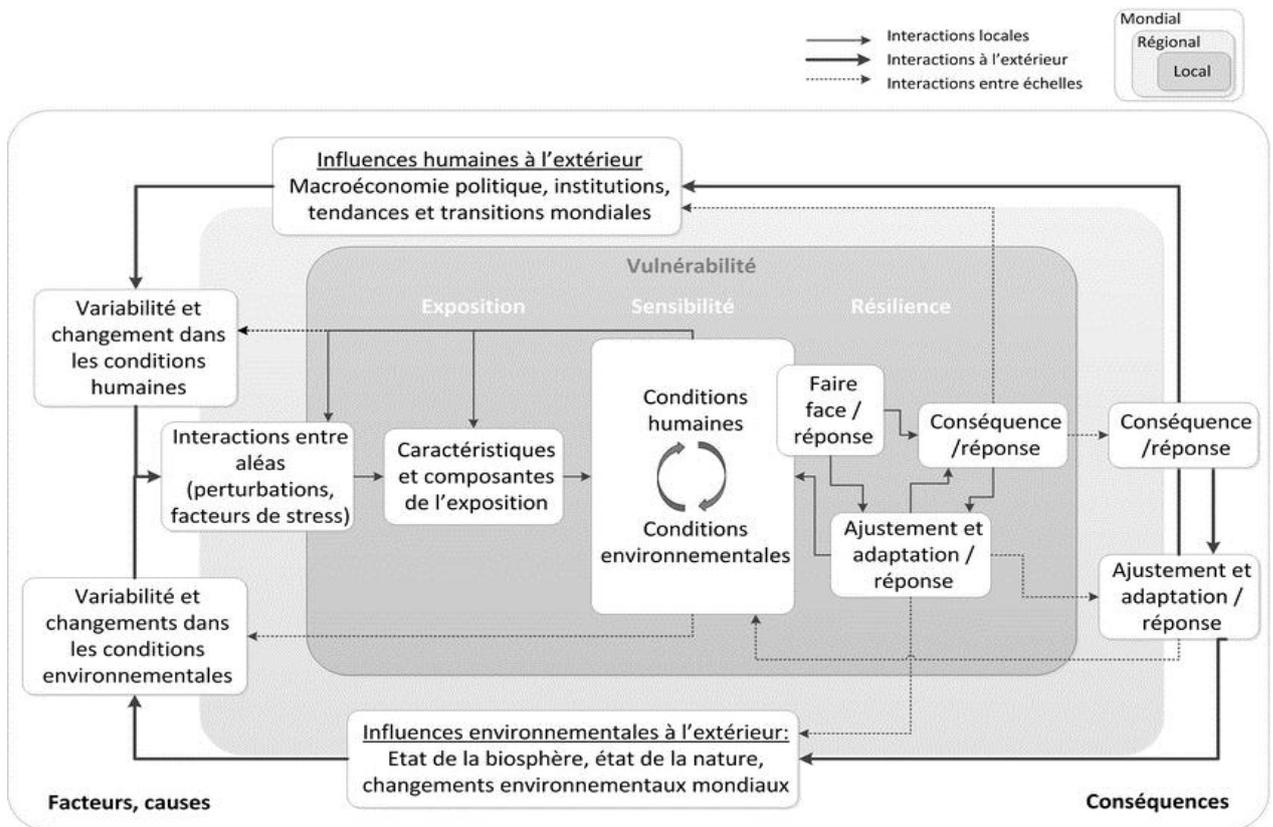


Figure 2.5. Le modèle socio-écologique de la vulnérabilité (Turner et al., 2003).

L'approche dite "médico-légale" des catastrophes, développée par les chercheurs associés au programme de recherche intégrée sur la prévention des catastrophes (IRDR) du Conseil international pour la science (ICSU), vise également à trouver les causes profondes et les pressions dynamiques qui engendrent la vulnérabilité (Burton, 2010 ; Cutter et al., 2015 ; Oliver-Smith et al., 2016), FORIN (Forensic investigations of disasters) est fondé sur une théorie de la construction sociale du risque de catastrophe. Tout en étant très conscient des processus physiques et biologiques qui peuvent être des dangers, il se concentre sur le processus de "développement" lui-même en tant que lieu de création de risques. La vulnérabilité fait partie des "thèmes analytiques centraux" du FORIN, qui sont (Oliver-Smith et al., 2016) :

- Les événements déclencheurs ;
- Exposition des éléments sociaux et environnementaux ;
- Structures sociales et économiques des communautés exposées ;
- Vulnérabilité ;
- Résilience ;
- Éléments institutionnels et de gouvernance.

On note que lorsque l'approche progression de la vulnérabilité juxtapose la vulnérabilité à la capacité, FORIN a adopté le terme similaire de résilience à la mode dans les milieux du changement climatique ([Liverman, 2015](#)).

FORIN procède en deux temps : descriptif et analytique. Comme introduction de premier niveau à la vulnérabilité, le FORIN utilise les éléments thématiques qui viennent d'être mentionnés pour organiser une "systématisation descriptive des pertes et des dommages dans des conditions déterminées de danger et d'exposition. ... en particulier lorsque les éléments sociaux subissent des impacts plus graves, indépendamment de l'intensité du danger ou de la localisation ..." ([Oliver-Smith et al., 2016](#)). Au cours de ce moment descriptif, le FORIN suggère de se poser plusieurs questions fondamentales sur la vulnérabilité parmi lesquelles :

- Comment les pertes et les dommages, l'impact et l'effet ont-ils été répartis de manière différenciée entre les différentes zones, les groupes sociaux, les types d'infrastructure et la production ?
- Y a-t-il eu des aberrations notables en ce sens que les éléments sociaux et économiques moins exposés et sujets aux aléas ont subi des impacts plus importants que les éléments plus exposés et sujets aux aléas ? Dans quel sens cela s'est-il concrétisé ?
- Quelles étaient les principales expressions différenciées des moyens de subsistance et de la vulnérabilité humaine avant la catastrophe, et quels étaient les principaux facteurs de causalité manifestes, immédiats et symptomatiques ? Il peut s'agir de facteurs tels que :
 - ✓ l'effondrement d'un bâtiment avec perte de vies humaines ou perte d'intrants de subsistance et d'infrastructures de soutien ;
 - ✓ la perte d'infrastructures de transport et d'énergie et son impact sur les moyens de subsistance, la santé et l'emploi, etc.
- Comment les processus de secours et de réhabilitation après impact ont-ils été menés et dans quelle mesure ont-ils été justes, équitables et efficaces par rapport aux différents groupes sociaux et à leurs besoins ?
- L'agenda politique existant a-t-il joué un rôle dans les processus de réponse et de réhabilitation ? ([Oliver-Smith et al., 2016](#)).

L'identification précédente des thèmes centraux et des questions fondamentales qui permettent une connaissance de base des dommages et des pertes, des impacts et des effets et de leurs relations causales descriptives immédiates, doit être accompagnée d'une analyse causale plus structurée, plus profonde et plus sous-jacente qui nous permette de comprendre pourquoi de telles conditions dangereuses existent en tant que telles. La délimitation des facteurs de risque dérivés, parfois appelés processus dynamiques, est essentielle à l'analyse des causes profondes.

FORIN suggère ensuite aux chercheurs de poser une série de questions sur quatre ensembles de processus dynamiques (comparez les seize spécifiés par l'approche progression de la vulnérabilité dans la figure 2.2 ci-dessus). Il s'agit de ([Oliver-Smith et al., 2016](#)) :

- Croissance et répartition de la population
- Modèles et processus d'utilisation des terres urbaines et rurales
- Dégradation de l'environnement et épuisement des services éco-systémiques
- Pauvreté et répartition des revenus

Conçu avec des objectifs multiples - recherche, éducation, politique et développement - les créateurs du FORIN suggèrent un certain nombre de façons d'utiliser cette approche de la création de risques. Il s'agit notamment de l'analyse longitudinale rétrospective et prospective, de l'analyse comparative des cas et de la méta-analyse ([Oliver-Smith et al., 2016](#)).

[Birkmann & Welle \(2015\)](#) analysent divers modèles et méthodes pour l'évaluation des pertes et des dommages causés par les aléas climatiques. Ils commencent par le modèle de base du Groupe d'experts intergouvernemental sur le changement climatique (IPCC) qui détermine les risques de catastrophes liées au climat (Figure 2.6) comme le modèle socio-écologique de la vulnérabilité de [Turner et al., \(2003\)](#) et fonctionne à un niveau d'abstraction similaire.

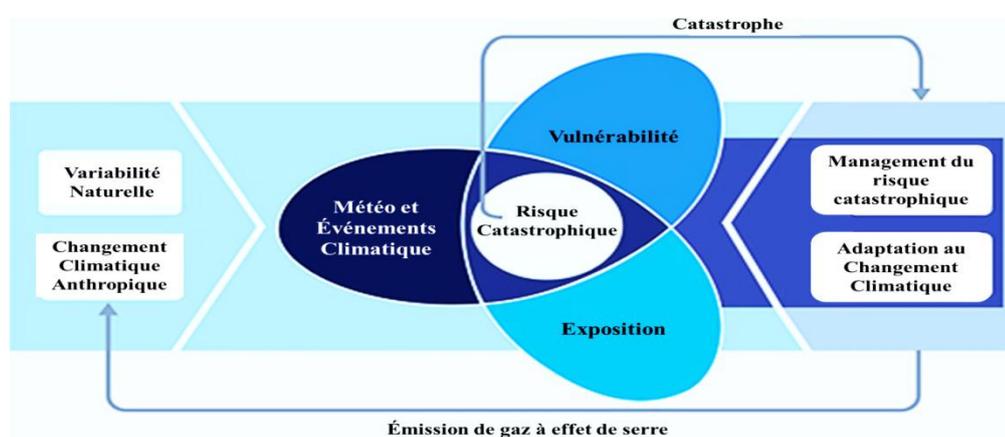


Figure 2.6. Modèle socio-écologique du [IPCC \(2012\)](#), adapté par [Birkmann & Welle, 2015](#).

Dans ce modèle de l'IPCC, les causes de la vulnérabilité ne sont pas incluses. En toute justice, le modèle de l'IPCC est très généralisé et n'est pas destiné à approfondir les déterminants du développement, qui dans le diagramme semble être la cause principale de l'exposition et de la vulnérabilité. Les composantes du développement, parmi d'autres causes profondes, sont explicites et détaillées dans PAR et [Cannon \(2008\)](#) ainsi que dans FORIN.

Dans le modèle de [Turner et al. \(2003\)](#), (Figure 2.5), les causes de la vulnérabilité sont suggérées de manière généralisée par référence à l'évolution des conditions humaines ainsi qu'à des facteurs externes appelés la politique de macro-économie, institutions, et tendances et transitions mondiales - comparer les pressions dynamiques dans le PAR et le FORIN. Avec l'évolution de la recherche et de la politique internationales sur le changement climatique, la vulnérabilité sociale a commencé à être davantage prise en compte ([Liverman, 2015](#); [Tschakert et al., 2013](#)) en particulier dans la monographie sur les bassins versants surnommée SREX, qui traite des événements climatiques extrêmes et de leurs conséquences ([IPCC, 2012](#)). Ce traitement de la vulnérabilité sociale doit être considéré dans le contexte de ce qui a été l'objet exclusif de la science climatique sur la vulnérabilité biophysique, c'est-à-dire l'exposition de [Brooks \(2003\)](#). S'inspirant de [Turner et al. \(2003\)](#) et d'un certain nombre de tentatives ultérieures de visualisation et de cadrage/modélisation heuristique, [Birkmann et al. \(2013\)](#) ont produit ce qu'ils appellent une vue "consensuelle" de la dimension multiple de la vulnérabilité et ont présenté leur approche dite MOVE comme un "outil de réflexion" (semblable à l'affirmation de [Wisner et al. \(2012\)](#)) selon laquelle le cadre de PAR est un guide pour un questionnement systématique.

2.2.5. Modèle des dangers du lieu

Le modèle des dangers du lieu est développé par [Cutter \(1996\)](#), ce modèle a servi de base à des systèmes utiles d'indicateurs de vulnérabilité au cours des années suivantes, comme nous le verrons dans la section suivante. Son modèle est très abstrait, et l'ensemble des processus qu'elle appelle "tissu social" est une boîte noire dans laquelle se trouvent les causes socio-économiques, politiques et institutionnelles de la vulnérabilité sociale, attendant que Cutter et ses associés les retirent lorsqu'ils fouillent la littérature sur les études de cas de vulnérabilité sociale et choisissent des données de recensement de substitution à peu près correspondantes pour générer des indices de vulnérabilité sociale (SoVI) (Figure 2.8). Il est tout à leur honneur que Cutter et ses associés, ainsi que d'autres personnes inspirées par leurs travaux, aient reconnu le potentiel inexploité de ces vastes ensembles de données et les aient

utilisés pour élaborer des indices de vulnérabilité finement adaptés aux circonstances de divers pays ([Guillard-Gonçalves et al., 2015](#) ; [Hummel, 2012](#)).

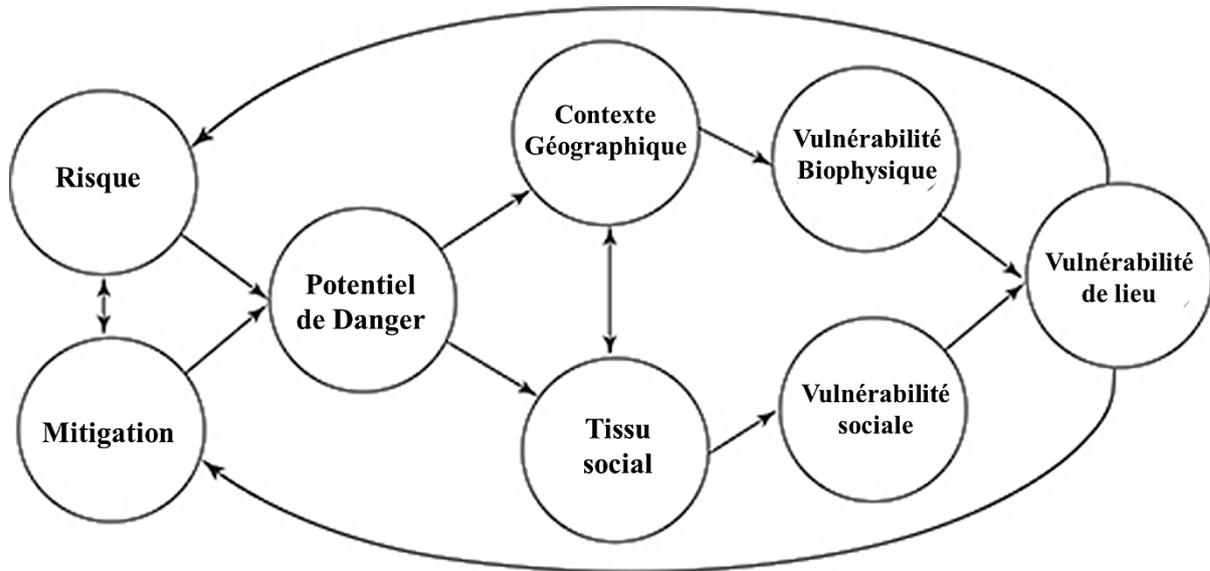


Figure 2.7. Modèle des dangers du lieu ([Cutter, 1996](#)).

2.2.6. Modèle de la vulnérabilité des bâtés et des communautés

Passant en revue des modèles de l'approche progression de la vulnérabilité PAR ([Wisner et al., 2004](#)), du cadre socio-écologique de [Turner et al. \(2003\)](#) et du modèle "Hazards-of-a-Place" ([Cutter, 1996](#)) appelé SoVI développé par [Cutter et al. \(2003\)](#).

[Hufschmidt \(2011\)](#) et sur la base de l'analyse de ces modèles, a produit un modèle de synthèse ou de résumé appliqué à l'échelle des ménages et des communautés (Figure 2.8). [Hufschmidt \(2011\)](#) explique le flux et la cascade causale par le paragraphe suivant :

Façonné par le cadre (contexte politique, économique, culturel et environnemental d'une société), le profil socio-économique d'une communauté (socioéconomique, infrastructure essentielle à l'environnement bâti) filtre l'accès aux ressources. L'accès aux ressources détermine la capacité d'adaptation qui traduit les ressources dans le processus d'adaptation en initiant des activités adaptatives. Les activités d'adaptation peuvent être réalisées en particulier avant et après un événement nuisible ou une catastrophe. ([Hufschmidt, 2011](#)).

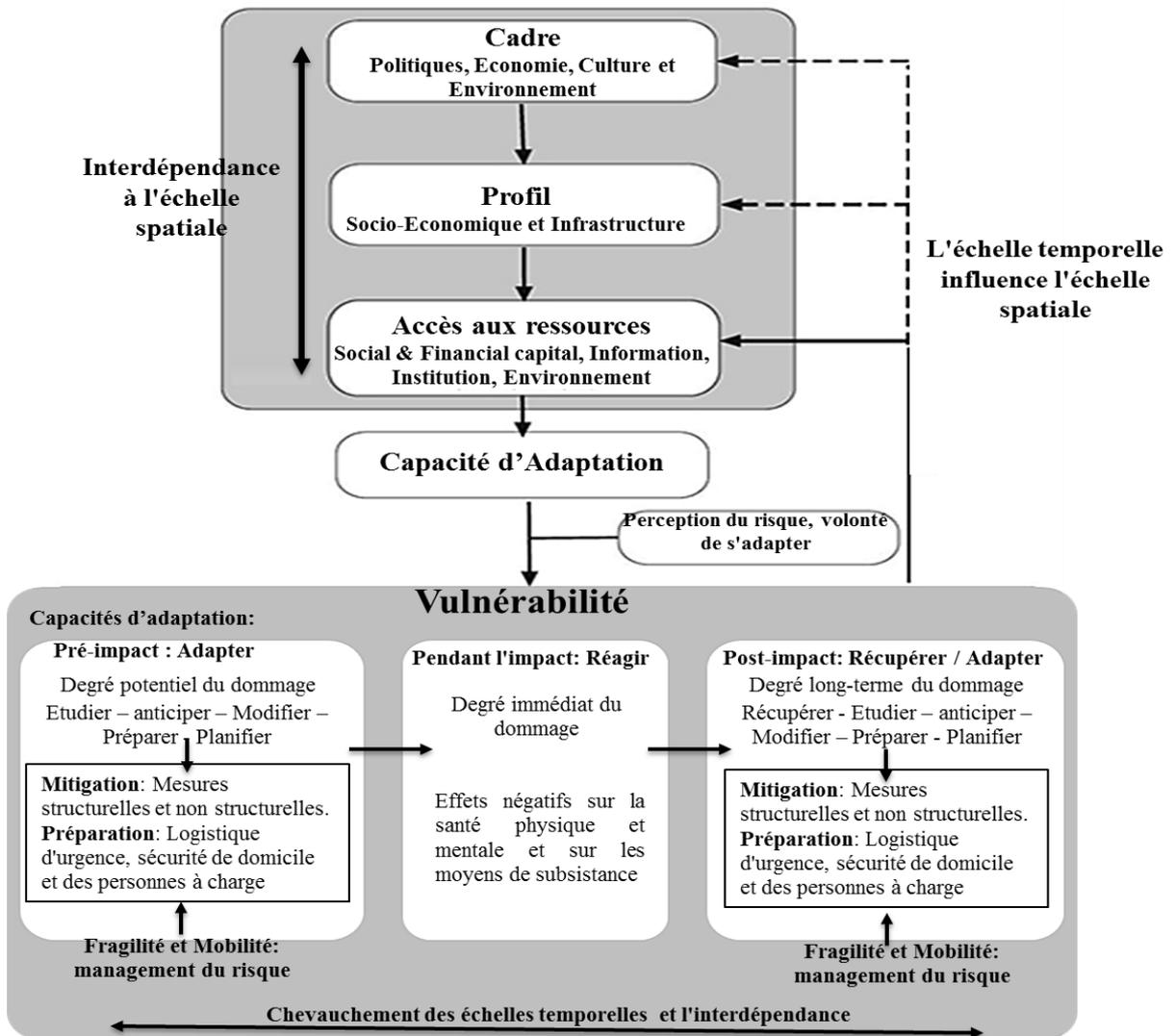


Figure 2.8. Modèle simplifié de la vulnérabilité des bâtés et des communautés (Hufschmidt, 2011).

2.2.7. Modèle de Structure générale de la vulnérabilité

Le cadre socio-écologique (Turner et al. 2003) était conceptuellement solide, mais sa mise en œuvre devient problématique. Les relations entre les échelles (lieu, région et monde) et l'interaction entre les variables décrites dans le schéma n'étaient pas claires, de sorte qu'il serait difficile de définir des paramètres spécifiques dans une évaluation intégrée utilisant cette approche. Aussi, le modèle de progression de la vulnérabilité PAR (Wisner et al., 2004) a un niveau d'abstraction qui empêche de distinguer un facteur moteur d'un autre, en particulier pour définir les indicateurs de mesure.

Dans une étude très récente dans les catastrophe naturelles et notamment dans la vulnérabilité face aux risque d'inondation, Kumar & Bhattacharjya (2020b) et suite à une série

d'articles dans le contexte, Ils ont conclu que la vulnérabilité est la combinaison entre l'exposition, la susceptibilité et la résilience et ont proposé la formule suivant:

$$\text{Vulnérabilité} = \text{Exposition} + \text{Susceptibilité} - \text{Résilience} \quad (2.1)$$

Où, l'exposition définit la condition des personnes, des infrastructures, des logements, des capacités de production installés dans des zones à risque ou inondables. La situation peut être due à la modification des paramètres climatiques ou à des changements de conditions climatiques.

La susceptibilité est définie comme les éléments présents dans le système, qui déterminent les chances d'être endommagés au moment des dangers.

La capacité d'un réseau social à contrer et à surmonter tout événement indésirable est appelée résilience. Elle comprend la force du système à absorber les impacts, à faire face à l'événement ainsi qu'à la réponse adaptative post-événement. En termes généraux, elle contribue à la capacité du système à réorganiser, modifier et découvrir le danger ou toute catastrophe. La résilience peut également être comprise comme la capacité d'adaptation d'un système pendant une inondation et la capacité de restauration après l'inondation. Lors de l'analyse de l'étude précédente sur la vulnérabilité, il a été observé que les chercheurs identifient la vulnérabilité de nombreuses façons, comme le montre la figure suivante ([Kumar & Bhattacharjya, 2020b](#)):

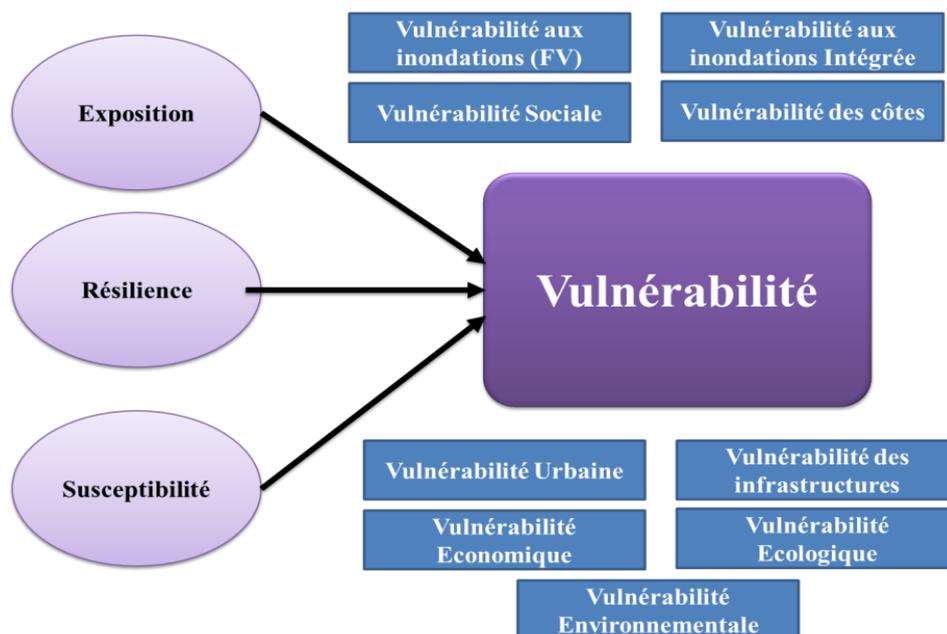


Figure 2.9. Structure générale de la vulnérabilité ([Kumar & Bhattacharjya, 2020b](#))

2.2.8. Ensemble des Modèles d'évaluation de la vulnérabilité

[Birkmann & Welle \(2015\)](#) font une distinction entre les approches quantitatives et qualitatives de l'évaluation des pertes et des dommages, en ajoutant une catégorie pour une évaluation des risques plus large (Figure 2.9).

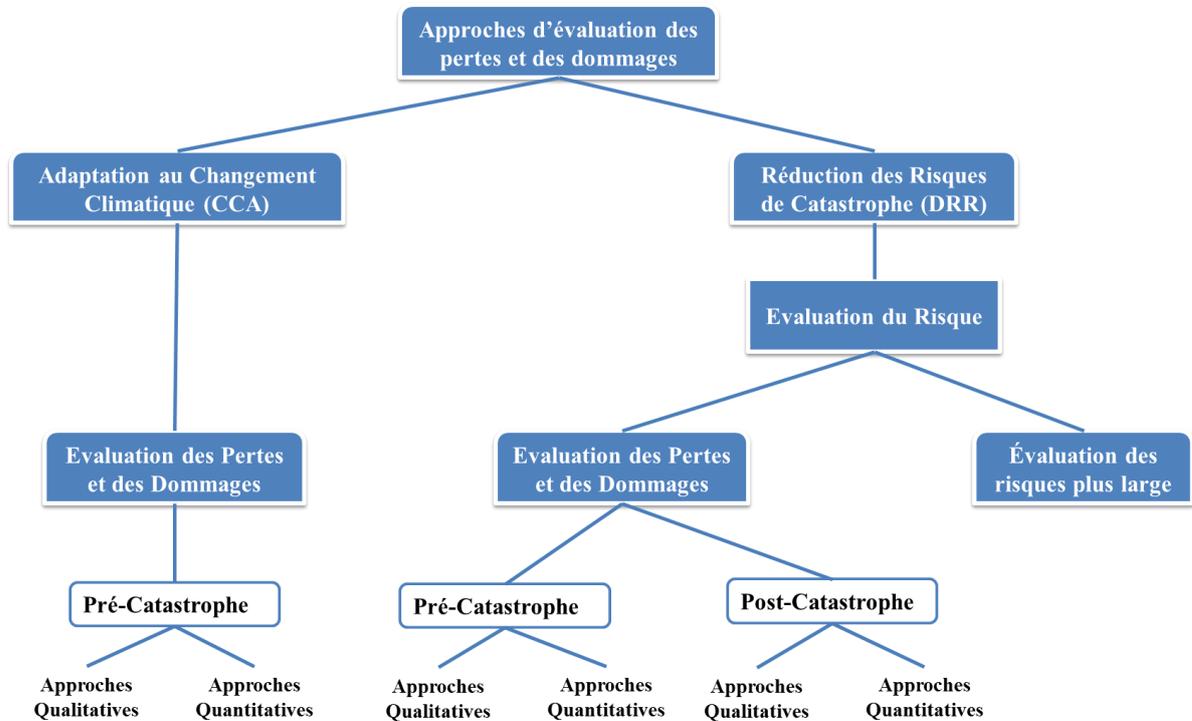


Figure 2.10. Vue d'ensemble des différentes approches, méthodologies et outils d'évaluation des pertes et dommages ([Birkmann & Welle, 2015](#)).

Il convient également de noter que la gestion communautaire des risques de catastrophe (CBDRM) et l'évaluation de la vulnérabilité et des capacités (VCA) sont placées sous les approches pré et post-catastrophe communément utilisées par les praticiens de la réduction des risques de catastrophe (DRR). Elles sont correctes, bien sûr, mais la mise en place de telles activités post-catastrophe dépend de la manière dont le rétablissement est compris par les gouvernements et les populations locales.

Ce qui est le plus frappant dans la Figure 2.9, c'est l'absence de chevauchement méthodologique entre l'adaptation au changement climatique (CCA) et la DRR qui apparaît dans le diagramme de Birkmann & Welle. Autres chercheurs ont remarqué l'écart entre CCA et DRR et se sont demandé si des ponts peuvent être construits pour un avantage mutuel et un bénéfice considérable pour les porteurs de risques - qu'il s'agisse de gouvernements, d'entreprises ou de simples citoyens ([Gaillard, 2010](#) ; [IFRC & RCS, 2008](#) ; [Wisner et al.,](#)

[2014](#)). Comme le déplorent ces auteurs et d'autres, le partage des méthodes et des ressources pour l'évaluation de la vulnérabilité entre les communautés de pratique du changement climatique et de la DRR n'est pas courant et pourtant, il serait bénéfique pour les deux.

2.3. Modèles et approches d'analyse et évaluation de la vulnérabilité des installations industrielles face aux risques d'agression et malveillance

Les installations industrielles et les sites critiques présentent une faiblesse importante dans le cadre socioéconomique face aux risques d'attaques terroristes ou malveillance tel que l'attaque de Tiguentourine (Algérie) en 2013, L'attentat suicide à la raffinerie de Baqiq en Irak en 2006. En plus, les actes de malveillance représentent plus de 10 % des incidents technologiques ([Lim-Thiebot, 2016](#)).

2.3.1. Approche SVA du Centre Américain de la sécurité des processus chimiques (CCPS):

Le Centre pour la sécurité des procédés chimiques (CCPS) A créé une méthodologie SVA pour évaluer la vulnérabilité des installations chimiques aux attaques terroristes ou autres attaques malveillantes et, sur la base de cette évaluation, pour planifier une sécurité renforcée, le cas échéant. La SVA est une approche fondée sur les risques pour la sécurité des sites chimiques. Elle est le résultat d'une collaboration entre le personnel de sécurité des procédés de l'industrie chimique et les experts en évaluation des vulnérabilités de sureté qui ont l'expérience de l'identification des vulnérabilités et de la protection des programmes de sureté nationale et des installations contre les attaques terroristes ([CCPS, 2010](#)).

Le résultat est un processus d'évaluation des vulnérabilités holistique et robuste conçu pour améliorer la sureté de l'industrie chimique dans l'environnement de menace unique d'aujourd'hui.

Le CCPS/SVA, ou une méthode équivalente, devrait être mis en œuvre sur tous les sites où des produits chimiques dangereux sont traités ou stockés en quantités suffisantes pour intéresser ou cibler des terroristes. L'utilisation du SVA doit faire partie intégrante du programme global de gestion de la sureté d'une entreprise. Le programme de gestion de la sureté devrait être intégré aux autres stratégies de gestion des risques sur un site dans la

mesure du possible, en particulier lorsque l'on considère les dangers ou les risques importants pour le personnel du site et la communauté ([CCPS, 2010](#)).

Le processus d'évaluation des risques est à la fois basé sur les risques et sur les performances. Il permet d'identifier les biens, les menaces et les vulnérabilités des cibles et d'évaluer l'adéquation des contre-mesures existantes. La méthodologie SVA du CCPS prend en compte les conséquences ainsi que la probabilité de l'événement dans la formulation de l'analyse ([CCPS, 2010](#)).

La Figure 2.11 suivante est une illustration de l'approche globale de la méthode SVA du CCPS.

Les étapes générales de la méthode SVA/CCPS sont les suivantes :

1. Planification du projet
2. Caractérisation du site
3. Identification de la menace
4. Analyse de la vulnérabilité
5. Évaluation des contre-mesures

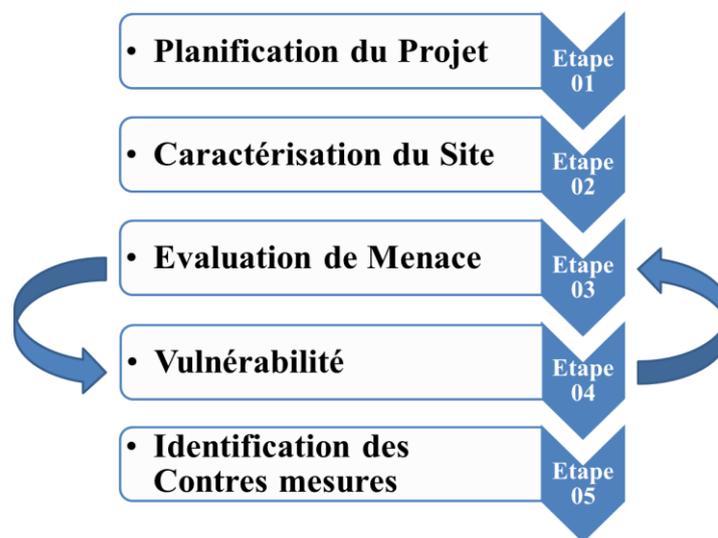


Figure 2.11. Méthode d'évaluation de la vulnérabilité de la sûreté ([CCPS, 2010](#))

Les cinq étapes de la mise en œuvre de la SVA ainsi que les sous-étapes de chaque étape sont citées ci-dessous :

- ❖ Étape 1 - Planification du projet
 - Etape 1.1 - Former l'équipe SVA
 - Etape 1.2-Définir les objectifs de la SVA

- Étape 1.3 - Définir le champ d'application de l'AVS
- ❖ Étape 2 - Caractérisation des installations
 - Étape 2.1 - Effectuer une identification des biens essentiels
 - Étape 2.2 - Identification des risques
 - Étape 2.3 - Effectuer une analyse des conséquences
 - Étape 2.4 - Effectuer une évaluation de l'attractivité de la cible
 - Étape 2.5 - Examen des couches de protection
 - Étape 2.6 - Élaborer une liste cible des biens à étudier plus avant
- ❖ Étape 3 - Évaluation de la menace
 - Étape 3.1 - Identification de l'annonce
 - Étape 3.2 - Caractérisation de l'agresseur
- ❖ Étape 4 Analyse de la vulnérabilité
 - Étape 4.1 - Élaborer une matrice des biens/menaces
 - Étape 4.2 - Effectuer une analyse de vulnérabilité
 - Option 4.2.a - Approche fondée sur les biens (classification des objectifs)
 - Option 4.2.b - Approche fondée sur des scénarios (examen de la sûreté)
 - Étape 4.3 - Réaliser une analyse et un classement des risques
- ❖ Étape 5 Identifier les contre-mesures
 - Étape 5.1 – Analyse des Contre-mesures
 - Option 5.1.a - Analyse des contre-mesures fondées sur les biens
 - Étape 5.1 .a. 1 - Attribuer une norme de performance
 - Étape 5.1 .a.2- Identifier les recommandations
 - Étape 5.1 .a.3 - Examen du site/entretiens
 - Option 5.1 .b - Analyse des contre-mesures basée sur un scénario
 - Étape 5.1 .b. 1-Identifier les lacunes
 - Étape 5.1 .b.2 - Identifier les recommandations
 - Étape 5.1 .b.3 - Réévaluer le risque
 - Étape 5.2 - Établir les priorités des contre-mesures, préparer le rapport et Plan de mise en œuvre

La SVA/ CCPS est flexible et basé sur les performances. Les entreprises peuvent donc souhaiter adopter différents aspects des approches optionnelles expliquées dans ce chapitre

afin de tirer le meilleur parti de leurs avantages, tout en respectant les objectifs généraux du SVA. Chacune de ces étapes peut se résumer comme suit ([CCPS, 2010](#)) :

2.3.1.1. Planification du projet (Étape 1)

La planification d'une SVA implique la sélection d'une équipe multidisciplinaire compétente en matière de sûreté et de sécurité des processus pour effectuer l'analyse, la fixation des objectifs et du champ d'application, et l'élaboration d'un plan visant les différents sites en fonction du dépistage initial effectué.

2.3.1.2. Caractérisation des Installations(Site) (Étape 2)

La caractérisation de l'installation comprend l'identification de la cible potentielle de l'information qui décrit les détails techniques de ces des moyens pour soutenir l'analyse, en identifiant les dangers et les conséquences de préoccupation pour le site et ses environs, en identifiant les barrières de protection existante, et les éléments déterminants de la probabilité (attractivité de la cible).

2.3.1.3. Évaluation de la Menace (Étape 3)

L'examen des menaces possibles devrait inclure les menaces internes, les menaces externes et les menaces assistées de l'intérieur (c'est-à-dire la collusion entre les initiés et les agents extérieurs). La sélection des menaces doit comprendre des informations raisonnables des services de renseignement locaux, régionaux ou nationaux, lorsque disponibles.

2.3.1.4. Analyse de la Vulnérabilité (Étape 4)

L'analyse de la vulnérabilité comprend l'appariement relatif de chaque biens et de chaque menace afin d'identifier les vulnérabilités potentielles liées aux événements de sécurité des processus. Cela implique l'identification des contre-mesures existantes et leur niveau d'efficacité pour réduire ces vulnérabilités. Le degré de vulnérabilité de chaque biens valorisé et menaces est évalué par la formulation de scénarios liés à la sûreté ou par une base de protection des biens.

Dans cette recherche, nous nous intéressons à la quatrième étape de l'analyse de la vulnérabilité qui est présentée dans la Figure 2.11.

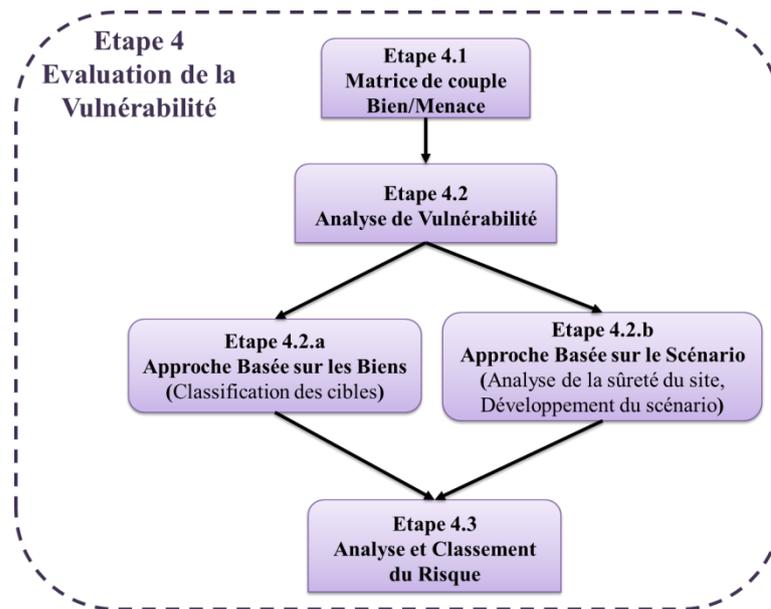


Figure 2.12. Etape d'analyse et Evaluation de la vulnérabilité de SVA/CCPS (CCPS, 2010)

a. Matrice des biens / menaces (Étape 4.1)

Chaque bien de la liste annotée des biens cibles critiques de l'étape 2.6 est examiné à la lumière de l'évaluation de la menace, et les menaces et biens pertinents sont appariés dans une matrice ou une autre forme d'analyse. L'importance de cette étape est d'élaborer une déclaration de menace de base pour chaque installation.

Une fois que l'équipe SVA a déterminé comment un événement peut être induit, elle doit déterminer comment un agresseur pourrait le faire se produire. Il existe deux écoles de pensée en matière de méthodologie : l'approche par scénario et l'approche par les biens. Les deux approches sont presque identiques pour les étapes 1 à 3, mais diffèrent dans le degré d'analyse détaillée des scénarios de menace et des contre-mesures spécifiques appliquées à un scénario donné au cours des étapes 4 et 5. Les biens sont identifiés, et les conséquences et l'attrait des cibles sont analysés conformément à l'étape 2, pour les deux approches. Les deux approches aboutissent à un ensemble de cibles potentielles annotées et les deux approches peuvent être tout aussi efficaces pour évaluer les vulnérabilités en matière de sécurité et déterminer la protection requise.

L'équipe SVA peut décider du niveau de détail requis et de l'approche à adopter pour visualiser et assurer la sûreté de l'installation. La méthode préférée est une question de décision de l'équipe SVA basée sur la nécessité d'une analyse plus approfondie et l'utilité attendue de discuter de scénarios spécifiques pour l'analyse. Il se peut que certaines cibles de

très grande valeur et de très grande conséquence intéressent davantage l'équipe SVA, et qu'il soit nécessaire de les étudier selon une approche basée sur des scénarios. Dans tous les cas, il est prévu que les deux approches suivent les mêmes et ont les mêmes objectifs à l'origine.

b. Analyse de Vulnérabilité (Étape 4.2)

❖ Approche de l'analyse de la vulnérabilité fondée sur les biens (Étape 4.2a)

L'approche fondée sur les biens est une approche "descendante". Pour l'approche fondée sur les biens, les détails de nombreux scénarios à l'origine de ces événements ne sont pas documentés en détail. Cette méthode suppose également que déterminer et documenter de nombreux scénarios est très spéculatif au mieux en raison de la variabilité des spécificités d'une attaque particulière, peut nécessiter une expertise qui n'est pas toujours disponible, notamment au sein de l'établissement et peut produire une analyse des contre-mesures qui se préoccupe trop de scénarios prévisibles, et donc de ne pas tenir compte des formes d'attaque évidentes.

Cette approche peut être utilisée à l'échelle de l'entreprise sur des sites multiples, en particulier si les différents sites sont de nature similaire en ce qui concerne les dangers et les vulnérabilités.

❖ Approche fondée sur un scénario (Étape 4.2. b)

L'approche basée sur des scénarios utilise une stratégie d'analyse plus détaillée et propose une liste de scénarios pour comprendre comment l'événement indésirable pourrait se produire. L'approche basée sur des scénarios commence par une inspection sur place et des entretiens pour recueillir des informations spécifiques que l'équipe SVA pourra prendre en compte.

L'approche fondée sur les scénarios est identique à l'approche fondée sur les biens au départ, mais elle diffère par le degré d'analyse détaillée des scénarios de menace et des contre-mesures spécifiques appliquées à un scénario donné.

Les biens sont identifiés, et les conséquences et l'attrait des cibles sont analysés conformément à l'étape 2, pour les deux approches. L'approche basée sur les scénarios aborde la question de savoir comment une cible pourrait être attaquée en élaborant des scénarios spécifiques pour de telles attaques.

Ce processus est effectué dans le cadre de la visite du site, et non avant l'arrivée sur le site comme c'est le cas avec l'approche fondée sur les biens. Les deux approches donnent lieu

à un ensemble de cibles potentielles annotées, et les deux approches peuvent être tout aussi efficace pour évaluer les vulnérabilités en matière de sécurité et déterminer protection nécessaire.

L'approche fondée sur des scénarios consiste à sélectionner des types des agresseurs pour hypothétiquement attaquer la cible et évaluer la probabilité de la capacité du système de sécurité à dissuader, détecter et retarder l'agresseur avant qu'elle ne soit exécutée avec succès.

c. Analyse/classement des risques (Étape 4.3)

Dans l'approche d'analyse de la vulnérabilité basée sur les biens ou sur les scénarios, l'étape finale consiste à déterminer le niveau de risque que l'agresseur exploitant le bien compte tenu des contre-mesures de sécurité existantes. Les scénarios élaborés à l'étape 4 sont regroupés en ensembles de protection par cible. La liste des scénarios doit être organisée en fonction de ceux qui ont la plus grande conséquence jusqu'à la plus faible. L'équipe SVA doit documenter les scénarios d'attaque développés pour chaque ensemble de protection. L'équipe doit établir des ensembles de protection dans lesquels les biens sont mis en corrélation avec les menaces.

2.3.1.5. Identification des Contre-mesures (Étape5) :

En fonction des conséquences et de la probabilité que les couches de protection soient violées, des améliorations appropriées des contre-mesures de sécurité peuvent être recommandées. Il s'agit notamment de contre-mesures améliorées qui suivent les doctrines de sécurité des processus, à savoir dissuader, détecter, retarder, diminuer, atténuer et éventuellement prévenir. Cette étape devrait également inclure l'élaboration d'un rapport ou d'une documentation SVA appropriée qui peut être utilisée pour communiquer les résultats de la SVA à la direction pour une action appropriée.

Une fois l'évaluation des risques terminée, il est nécessaire d'assurer le suivi des améliorations recommandées pour les contre-mesures de sécurité afin qu'elles soient correctement examinées, suivies et gérées jusqu'à leur résolution.

La résolution peut inclure l'adoption des recommandations de l'équipe SVA, la substitution d'autres améliorations qui permettent d'atteindre le même niveau de réduction des risques, ou le rejet. Le rejet d'une recommandation de l'équipe SVA doit être basé sur des raisons valables et bien documentées.

La plupart des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sont inspirées de l'approche CCPS / SVA comme nous le verrons dans les modèles suivants.

2.3.2. Approche SVA de l'institut Américain de pétrole API/NPRA

La méthode d'évaluation de la vulnérabilité de la sûreté SVA est développée par l'institut américain de pétrole API et l'association nationale de la pétrochimie et des raffineries NPRA (États-Unis) pour aider les industries pétrolières et pétrochimiques à comprendre et faire l'évaluation des vulnérabilités en matière de sûreté.

La méthodologie CCPS/SVA a été utilisée comme base pour la méthodologie API NPRA SVA, mais une approche plus spécifique concernant l'industrie pétrolière et pétrochimique est incluse. La méthode CCPS est une approche générale de l'industrie chimique, elle a donc été adaptée pour ce guide.

L'approche API/NPRA SVA est destinée à être une méthode équivalente aux critères CCPS pour les SVA.

Cette approche est basée sur la détermination de la probabilité qu'un agresseur exploite avec succès la vulnérabilité d'une installation industrielle, et le degré de dommage ou d'impact qui en résulte. Sur la base de cette évaluation, des jugements peuvent être portés sur la nécessité de contre-mesures supplémentaires ([API & NPRA, 2003](#)).

Les différentes étapes de la méthode API/NPRA SVA se présentent dans la **Figure 2.13**

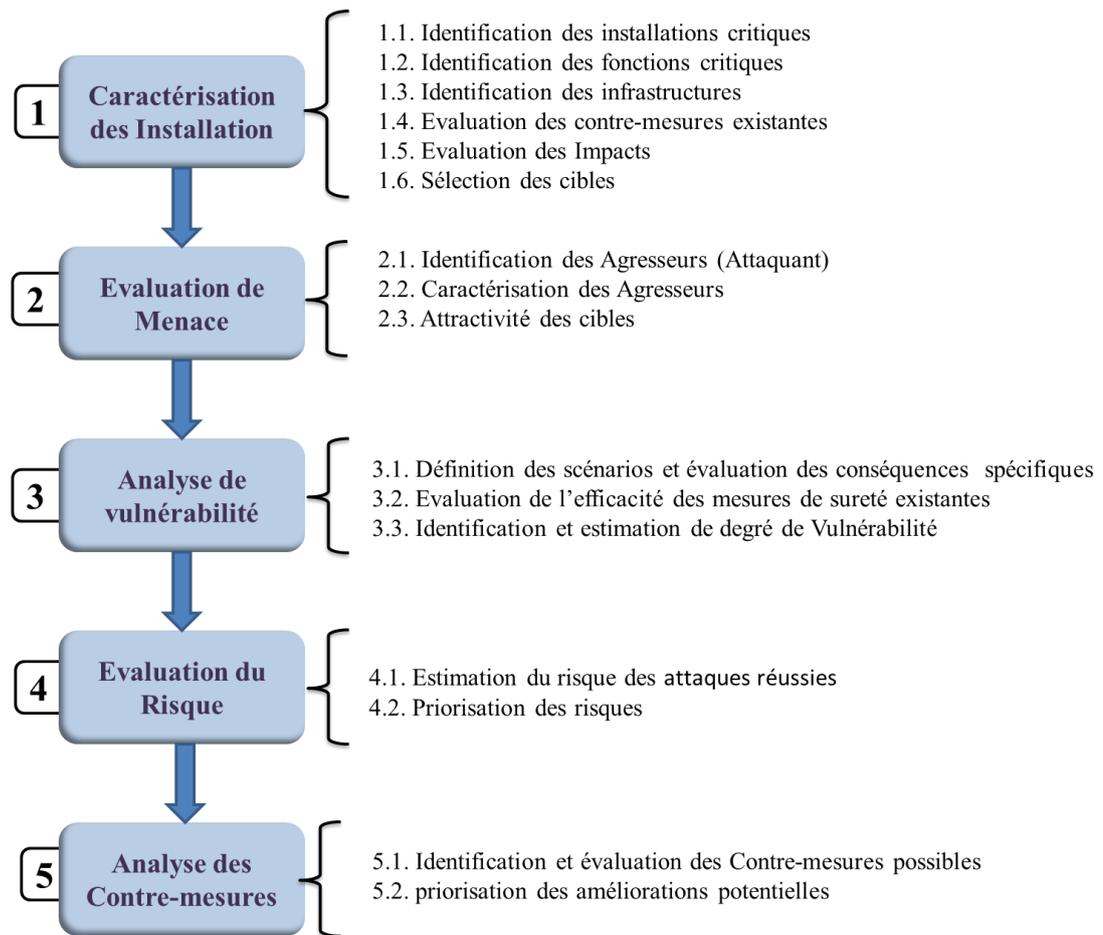


Figure 2.13. Méthodologie d'évaluation des vulnérabilités de sûreté SVA ([API & NPRA, 2003](#))

L'analyse de la vulnérabilité comprend l'appariement relatif de chaque bien et menace cible afin d'identifier les vulnérabilités potentielles liées aux événements de sécurité des processus. Cela implique l'identification des contre-mesures existantes et leur niveau d'efficacité pour réduire ces vulnérabilités. Le degré de vulnérabilité de chaque paire d' biens et de menaces est évalué par la formulation de scénarios liés à la sécurité ou par une base de protection des biens. Si certains critères sont remplis, tels que des valeurs de classement plus élevées en termes de conséquences et d'attractivité, il peut être utile d'appliquer une approche fondée sur des scénarios pour effectuer l'analyse de vulnérabilité ([API & NPRA, 2003](#)).

Elle comprend l'attribution d'un classement des risques aux scénarios de sécurité élaborés. Si l'approche fondée sur les biens est utilisée, la détermination des conséquences et de l'attrait des biens peut suffire pour attribuer une valeur de classement cible et protéger via une protection standard fixée pour ce niveau cible. Dans ce cas, les scénarios ne peut être développée plus loin que la pensée générale qu'un agresseur est intéressé à endommager ou à voler un bien.

2.3.3. Approche d'analyse de la vulnérabilité des sites industriels chimiques face aux menaces de malveillance et de terrorisme (INERIS)

Cette approche est développée par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) suivant à la demande des autorités locales en France et les autorités européennes, l'INERIS a été consisté sur l'approche basée sur les scénarios du modèle CCPS/SVA pour l'analyse de la vulnérabilité des sites industriels chimiques face aux menaces de malveillance et de terrorisme. La méthode a été adaptée au contexte réglementaire afin d'être applicable officiellement, la figure suivante illustre les étapes, les références réglementaires ainsi montre les synergies possibles avec ces autres démarches de sécurité et de sûreté ([INERIS, 2015](#)).

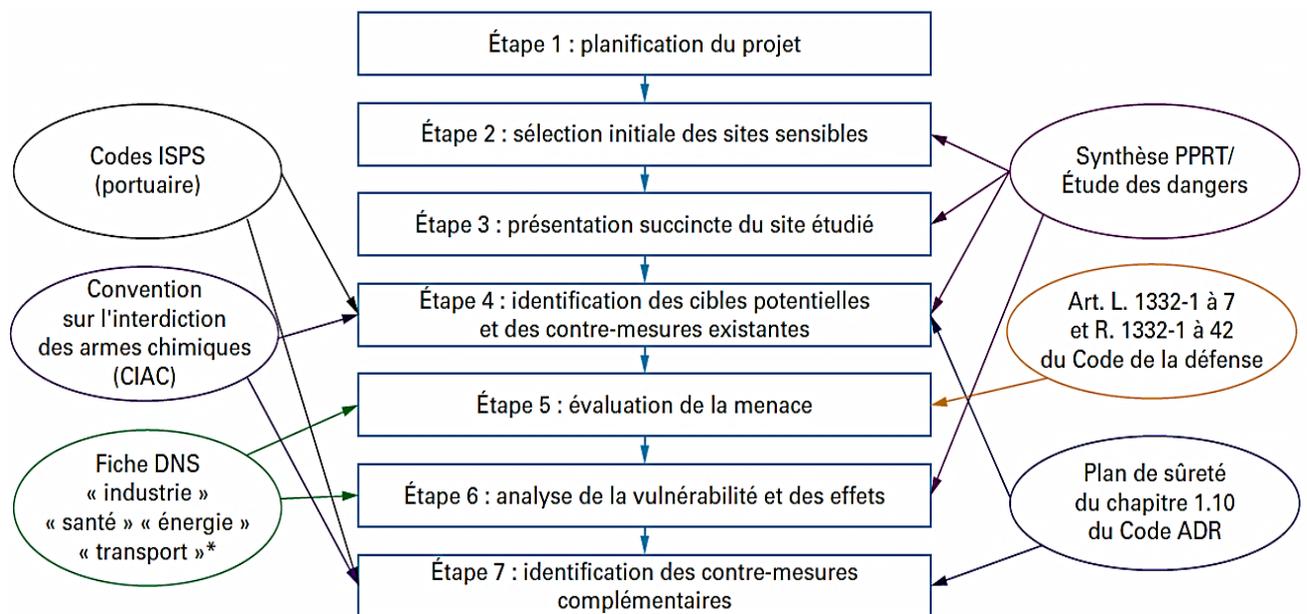


Figure 2.14.. Synergie de la méthode d'analyse de vulnérabilité de sûreté de l'INERIS avec d'autres méthodes. ([INERIS, 2015](#))

L'étape 6 de l'analyse de la vulnérabilité consiste à confronter dans chaque bien sensible aux menaces potentielles associées pour définir la posture pour chaque installation. Elle permet de faciliter l'analyse de la vulnérabilité et les conséquences potentielles des cibles identifiées.

L'approche peut s'effectuer comme dans l'approche basée sur les scénarios de la méthode CCPS/SVA en utilisant des outils tels que la méthode What-if ou la méthode

HAZOP. Sur la base de ça, une démarche est adoptée par le groupe lors de l'analyse de risques : un exemple est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 2.1. Tableau d'analyse de la vulnérabilité propose par l'ENERIS ([Lim-Thiebot, 2016](#))

ERC	Cat. A	EI	PI	PhD	Cibles Affectées	G Dir	G Ind	FS	CM Tech	NC	CM Org	NC	PI	G Dir	G Ind	CM Comp
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11					12
1. Evènement Redouté Central ; 2. Catégorie d'attaque : Interne, Externe ou collusion ; 3. Evènement Initiateur ; 4. Plausibilité de l'ERC ; 5. Phénomène dangereux ; 6. Gravité Directe des phénomènes ;								7. Gravité Indirecte des phénomènes ; 8. Fonction de sureté ; 9. Contre-Mesures Techniques ; 10. Niveau de Criticité ; 11. Contre-Mesures Organisationnelles ; 12. Contre-Mesures Complémentaires.								

2.3.4. Approche d'analyse et gestion des risques pour la protection des Installations critiques RAMCAP

RAMCAP (Risk Analysis and Management for Critical Asset Protection) est une approche développée par l'ASME (American Society of Mechanical Engineers) en 2005 à la demande du ministère américain de l'Intérieur (DHS), le modèle a pour objet d'analyser et gérer les risques associés aux attaques terroristes contre les infrastructures critiques. RAMCAP fournit une méthodologie cohérente et techniquement pour identifier, analyser, quantifier et communiquer les différentes caractéristiques et impacts qui peuvent conduire les terroristes à choisir une cible particulière, ainsi que les impacts d'une forme spécifique d'attaque. Il documente un processus d'identification des vulnérabilités en matière de sécurité et fournit des méthodes pour évaluer les options permettant d'améliorer ces vulnérabilités ([ASME, 2005](#)).

RAMCAP™ a été développé avec trois objectifs majeurs à l'esprit :

1. définir un cadre commun qui peut être utilisé par les propriétaires et les exploitants d'infrastructures critiques pour évaluer les conséquences et les vulnérabilités liées aux attaques terroristes sur leurs biens et leurs systèmes.
2. fournir des orientations sur les méthodes qui peuvent être utilisées pour évaluer et apprécier les risques grâce à l'utilisation de ce cadre commun.
3. fournir un mécanisme efficace et cohérent, qui peut être appliqué à divers éléments des secteurs privé et gouvernemental (fédéral, étatique et local) pour

communiquer des informations essentielles sur les risques au ministère américain de la sécurité intérieure (DHS).

La méthode présente sept étapes illustrées dans la figure suivante :

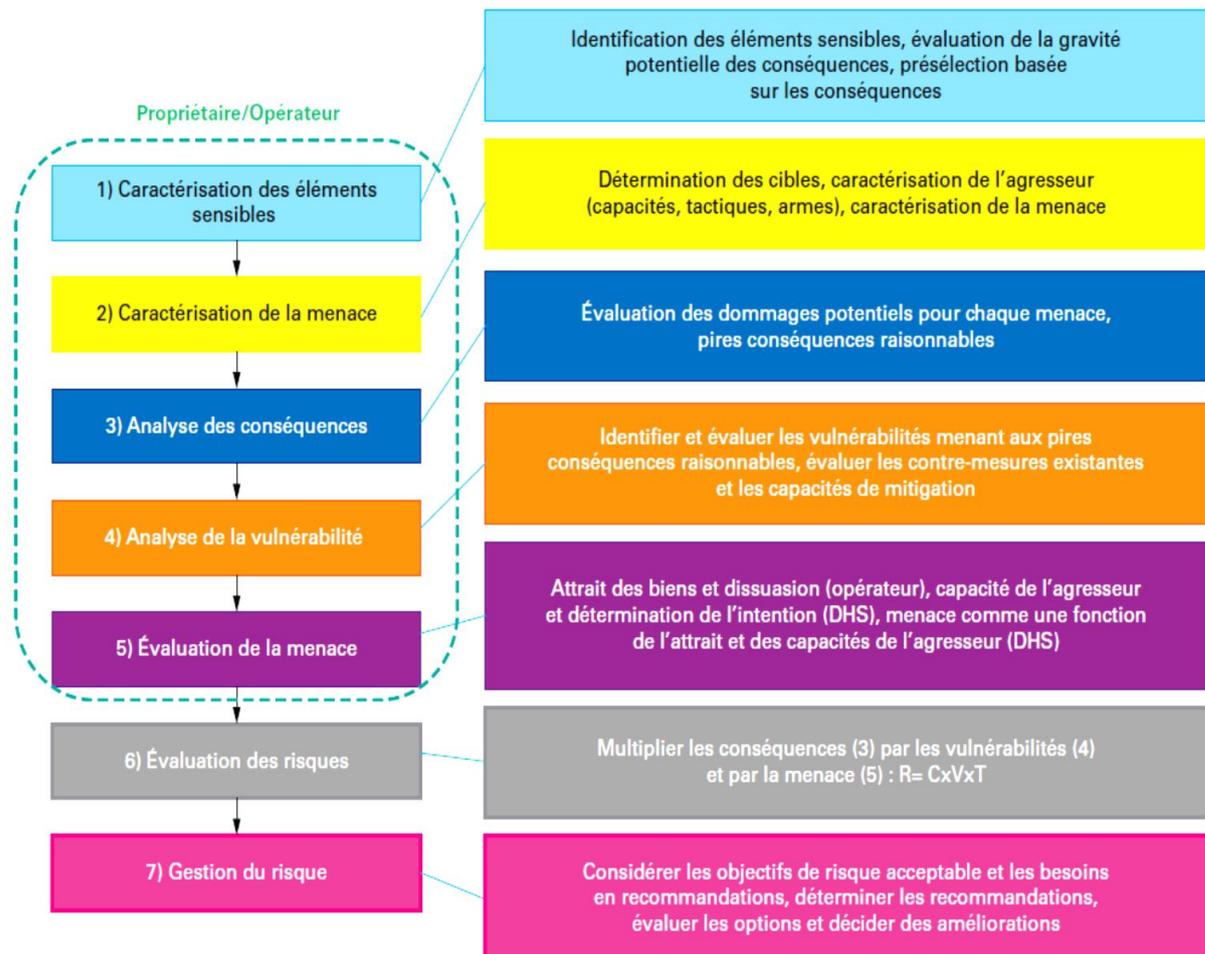


Figure 2.15. Processus de la méthode d'analyse et gestion des risques pour la protection des Installations critiques RAMCAP ([ASME, 2005](#)).

2.3.5. Approche d'outil d'évaluation de la sureté chimique (CSAT/SVA)

Cette approche propose un outil d'évaluation de la sureté chimique (CSAT) dans le cadre d'évaluation de la vulnérabilité de sureté (SVA) conformément aux exigences des standards anti-terroristes pour les installations chimiques (CFATS) du ministère de la sécurité intérieure des États-Unis (DHS) ([Lim-Thiebot, 2016](#)),

Le CSAT SVA suit un processus logique de collecte de données. Tout d'abord, il recueille des informations de base sur l'identification des installations. Ensuite, il recueille des informations sur les produits chimiques que possède une installation. Troisièmement, il

recueille des informations sur les biens de l'installation qui impliquent les produits chimiques d'intérêt identifiés par le DHS dans la lettre de notification initiale du DHS. L'outil permet ensuite aux utilisateurs de localiser les biens sur une carte interactive et exige que l'utilisateur applique les scénarios d'attaque du DHS, ou définisse ses propres scénarios d'attaque à exécuter contre ses biens, ce qui fournit au DHS des données sur la vulnérabilité et les conséquences de ces attaques. L'utilisateur évalue la vulnérabilité de l'installation en se fondant, en partie, sur les mesures de sécurité déjà en place dans l'installation ([Lim-Thiebot, 2016](#)). Enfin, le SVA recueille des informations sur les cyber-systèmes pertinents qui peuvent affecter la sécurité des biens identifiés.

2.3.6. Modèle de la Société Américaine de l'industrie chimique et de ses affiliés SOCMA/SVA

Le modèle et le manuel SOCMA SVA sont des outils informatiques qui intègrent les éléments de risques inhérents, d'attractivité, de conséquences potentielles et de mesures de sureté existantes dans un processus de contrôle à plusieurs niveaux. L'outil fournit aux installations chimiques un mécanisme permettant une analyse souple et efficace de la vulnérabilité des sites ([Lim Thiebot, 2016](#)).

2.4. Modèles et approches d'analyse et évaluation de la vulnérabilité face aux risques industriels majeurs

2.4.1. Approche d'évaluation des risques accidentels pour les industries ARAMIS

L'objectif général d'ARAMIS était de mettre au point une nouvelle méthode d'évaluation des risques accidentels pour les industries, qui combine les points forts des approches déterministes et fondées sur le risque. Il s'agissait également de fournir un moyen de réduire ou du moins d'expliquer les écarts entre les résultats obtenus par les différentes approches d'évaluation des risques qui ont été observés, par exemple dans le cadre du projet ASSURANCE ([Hourtolou, 2002](#)). Cofinancé au titre du 5^{ème} framework program de la CE, ARAMIS était un projet de trois ans qui a débuté en janvier 2002. Au plus tard, la méthodologie de base est atteinte et vise à devenir un outil de soutien pour accélérer la mise en œuvre harmonisée de la directive SEVESO II en Europe ([De Dianous et al., 2004](#)).

L'objectif d'ARAMIS est de répondre à tous ces besoins. Il s'agit également de faire converger les approches déterministes et probabilistes et de résoudre certaines difficultés inhérentes à chacune d'entre elles ([Kirchsteiger, 1999](#)). En ce qui concerne l'approche déterministe, la limite porte sur la difficulté à justifier les choix des scénarios de référence utilisés pour les décisions d'aménagement du territoire. Pour l'approche probabiliste, la difficulté réside à la fois dans la production des données probabilistes et dans l'interprétation des résultats pour prendre les décisions appropriées. ARAMIS ne résout pas complètement ces difficultés mais fournit les outils et la structure pour améliorer la prise de décision.

ARAMIS est structuré en six grandes étapes.

1. Identification des risques d'accidents majeurs (MIMAH)
2. Définition et évaluation des systèmes de sécurité
3. Évaluation de l'efficacité de la gestion
4. Définition des scénarios d'accidents de référence (MIRAS)
5. Cartographie de la gravité des risques à partir de l'ensemble des scénarios d'accident de référence
6. Cartographie de la vulnérabilité de l'environnement des plantes

Une dernière étape consiste à croiser ces informations pour la prise de décision

La dernière tentative innovante d'ARAMIS est de traiter la vulnérabilité de l'environnement indépendamment du site dangereux ([Tixier et al., 2004](#)). Ceci a l'intérêt fondamental de permettre aux autorités locales de prendre des décisions utiles pour réduire le niveau de risque global en réduisant la vulnérabilité alors que l'exploitant de l'installation ne peut agir que sur le danger ou le risque potentiel de l'installation.

La vulnérabilité est calculée sur la base d'une approche multicritère de la prise de décision. Avec le développement de nouveaux modes de gouvernance impliquant la population locale dans la gestion des risques, les décisions, l'intérêt principal de cette approche est de fonder l'étude de vulnérabilité sur la perception des risques par les parties prenantes, grâce à l'obtention de l'avis d'experts. Sur un point donné de l'environnement, la vulnérabilité est donc caractérisée par le nombre potentiel de cibles et leur vulnérabilité relative à différents phénomènes. La vulnérabilité globale est une combinaison linéaire de la vulnérabilité de chaque cible à chaque type d'effet pour les différents types d'impacts ([De Dianous et al., 2004](#)).

La caractérisation de la vulnérabilité d'environnement d'un site industriel se traduit par une démarche de trois étapes :

1. Définition de la zone d'étude compatible avec les effets physiques et les impacts de ces effets.
2. Définition de l'environnement en utilisant la typologie des cibles, les effets des impacts générés.
3. Développement de la structure hiérarchique du système.

La hiérarchie qui caractérise la vulnérabilité globale est représentée dans les diagrammes suivants :

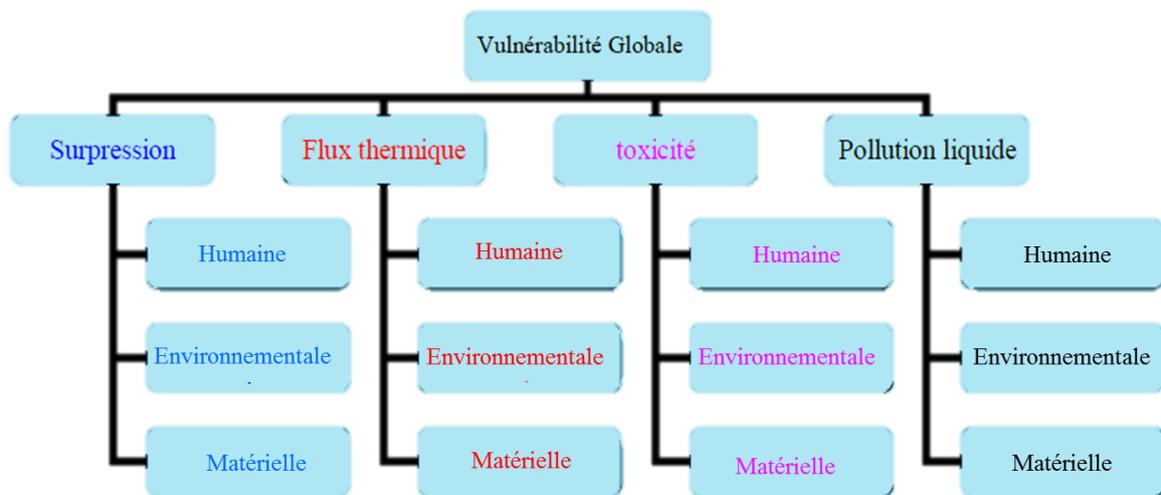


Figure 2.16. Structure hiérarchique de la vulnérabilité globale (De Dianous et al., 2004).

La vulnérabilité humaine est divisée sur des sous-éléments présentés dans les diagrammes suivants :

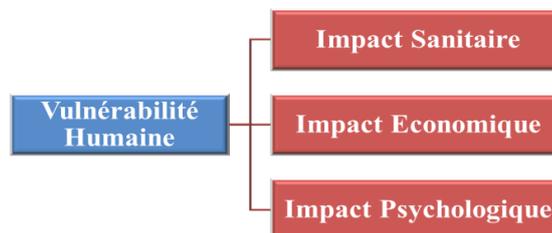


Figure 2.17. Structure hiérarchique de la vulnérabilité humaine (De Dianous et al., 2004).

En utilisant une méthode de hiérarchie multicritère AHP (Analytic Hierarchy Process) de Saaty (1990) qui est une approche multicritères d'aide à la décision et suivant la structure précédente (Figure 2.16), ARAMIS décompose la Vulnérabilité globale comme suit :

$$V_{Globale} = \alpha \cdot V_H + \beta \cdot V_E + \gamma \cdot V_M \quad (2.2)$$

Où : V_H est la vulnérabilité humaine, V_E est la vulnérabilité environnementale, V_M est la vulnérabilité matérielle et α , β et γ sont des facteurs de pondération.

Chaque type de vulnérabilité a été exprimé en fonction des effets comme suivant :

$$V_H = \alpha_1 \cdot V_{H/surp} + \alpha_2 \cdot V_{H/ft} + \alpha_3 \cdot V_{H/tox} + \alpha_4 \cdot V_{H/poll} \quad (2.3)$$

$$V_E = \beta_1 \cdot V_{E/surp} + \beta_2 \cdot V_{E/ft} + \beta_3 \cdot V_{E/tox} + \beta_4 \cdot V_{E/poll} \quad (2.4)$$

$$V_M = \gamma_1 \cdot V_{M/surp} + \gamma_2 \cdot V_{M/ft} + \gamma_3 \cdot V_{M/tox} + \gamma_4 \cdot V_{M/poll} \quad (2.5)$$

Où : surp : surpression, ft : flux thermique), tox : exposition toxique) et poll : pollution liquide)

Les impacts sanitaire, économique et psychologique sur l'homme ont été pris en compte. La vulnérabilité humaine va être comme suivant :

$$V_{H/surp} = X_{1H} V_{H.san/surp} + Y_{1H} V_{H.eco/surp} + Z_{1H} V_{H.psy/surp} \quad (2.6)$$

$$V_{H/ft} = X_{2H} V_{H.san/ft} + Y_{2H} V_{H.eco/ft} + Z_{2H} V_{H.psy/ft} \quad (2.7)$$

$$V_{H/tox} = X_{3H} V_{H.san/tox} + Y_{3H} V_{H.eco/tox} + Z_{3H} V_{H.psy/tox} \quad (2.8)$$

$$V_{H/poll} = X_{4H} V_{H.san/poll} + Y_{4H} V_{H.eco/poll} + Z_{4H} V_{H.psy/poll} \quad (2.9)$$

X_i , Y_i et Z_i représentent les facteurs quantitatifs.

La pondération s'obtient basant sur les jugements d'experts) avec un traitement matriciel de leur appréciation.

Cette méthode est appliquée en Algérie dans une étude réalisée pour la ville de Hassi-Messaoud qui est classée comme une zone à haut risque majeur.

L'inconvénient de cette approche est la pondération qui est basée sur la déclaration des experts de 0 à 100% et la somme de coefficients doit être égale à 100%.

La question qui se présente ici, est ce que le décideur peut prendre une décision basant sur un résultat consiste à des conjectures ou suppositions ?

Dans ce contexte et appart de cette méthode, il n'existe pas d'une approche exhaustive d'évaluation de vulnérabilité globale, il n'y a que des guides d'instructions ou des méthodes d'identification ou de recensement des cibles vulnérables face aux effets physiques des risques industriels majeurs.

2.5. Conclusion :

Les différents groupes de recherche du monde entier ont des points de vue très différents sur la vulnérabilité, ce qui montre bien que ce domaine n'est pas encore "réglé".

Alors qu'au départ, l'objectif était de décrire la vulnérabilité en termes d'éléments de base, deux tendances se dessinent depuis une dizaine d'années :

- ✓ Le développement de modèles qui expliquent la vulnérabilité et sa dynamique en termes de causes profondes qui sont y conduisant.
- ✓ L'élaboration d'indicateurs ou d'indices permettant de suivre la vulnérabilité au fil des ans ou pour comparer des pays, des villes ou des sociétés à cet égard.

Le terme "évaluation de la vulnérabilité" se décompose pour intégrer les dimensions, les sujets et les niveaux et de mettre au point des méthodes pour évaluer le degré de vulnérabilité dans chaque dimension et niveau en utilisant les unités appropriées.

L'objectif de l'évaluation de la vulnérabilité devrait être de la quantifier afin que des évaluations ultérieures puissent être effectuées pour déterminer si elle est réduite ou non. La précision des modèles peut varier en fonction de la disponibilité des données, ainsi que des paramètres ou approximations utilisés pour l'évaluer. L'identification de points de référence par le biais de ces méthodologies est essentielle pour fixer des objectifs en vue de son contrôle.

Contrairement à l'évaluation de la vulnérabilité en soi, l'identification et la caractérisation de ces facteurs Il est également de la plus haute importance de contribuer à la création ou au développement de la vulnérabilité, car ce n'est qu'en ciblant les causes ou facteurs fondamentaux.

Dans le contexte de management des risques industriels et technologiques, il est notable que l'analyse et l'évaluation de la vulnérabilité face aux ces risques n'ont pas pris leur part d'étudier et de scruter, la preuve est que les méthodes et les guides proposées sont peu nombreuses ou parfois pas exhaustifs, ce qui rend les décideurs incapables de prendre des décisions à cet égard.

Chapitre 03

ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE DU RISQUE INDUSTRIEL MAJEUR : ETUDE DE CAS

3.1. Introduction

La mise en place des mesures de prévention adaptées à une situation de travail donné nécessite une étape d'évaluation des risques et de la vulnérabilité. Cette évaluation consiste en une inspection approfondie du lieu de travail en vue d'identifier entre autres les éléments, situations et procédés qui peuvent causer un préjudice, en particulier à des personnes. Cependant, il n'existe pas de méthode universelle pour évaluer les risques, et de nombreux outils et techniques d'évaluation des risques sont utilisés. Ainsi, chaque entreprise est un cas d'étude, voire d'école, et doit spécifier la méthode qui convient le mieux à sa situation en particulier les entreprises industrielles à hauts risques. Subséquemment, la gestion des risques industriels devient une responsabilité inéluctable vis-à-vis aux raisons réglementaires, économiques, environnementales et éthiques.

Désormais, l'analyse et l'évaluation de la vulnérabilité est une étape très importante pour évaluer un risque en présence des cibles touchées que se soient humaines, environnementales ou/et matériels.

D'autre part, l'étude des vulnérabilités fournit de précieuses informations qui seront utilisées dans le but « d'élaborer un plan d'action adapté aux besoins réels de l'organisation et de mieux orienter les efforts dans les phases subséquentes de planification de la gestion des risques et/ou de la sécurité civile» ([Mitchison et Porter, 1998](#)). A partir de ça et dans l'absence d'une démarche méthodique d'analyse de vulnérabilité face aux risques technologiques majeurs. La plupart des études de vulnérabilité s'intéressent à la sensibilité des sites face aux risques naturels ou menaces de malveillance et de terrorisme ([Lim Thiebot, 2016](#) ; [INERIS, 2015](#)). Notre étude consiste à proposer une démarche d'analyse et d'évaluation de la vulnérabilité pour les entreprises à haut risques notamment pour pérenniser l'entreprise et promouvoir la sécurité des travailleurs, de protéger l'environnement et de favoriser un développement sûr et durable. L'objectif de la méthode est d'évaluer la vulnérabilité des cibles à protéger en matière de sécurité : *maitrise et gestion des risques*.

3.2. Définition de la méthode proposée

Dans cette étude, une méthode semi-quantitative d'Evaluation de la Vulnérabilité face aux Risques Industriels Majeurs (dénommée en anglais Vulnerability Assessment for Major Industrial Risks, VAMIR), a été développée comme un outil d'identification, d'évaluation et de réduction de la vulnérabilité des cibles menacées par le risque industriel majeur.

L'intérêt de cette démarche est la présentation de la plupart des éléments qui peuvent influencer l'évaluation des risques industriels majeurs, tableau 1. Cette dernière est organisée et basée sur les éléments suivant :

- ✓ Les scénarios probables ;
- ✓ L'intensité des différents effets ;
- ✓ Les zones de risque ;
- ✓ Les cibles touchées ;
- ✓ Le niveau semi-quantitatif de vulnérabilité ;
- ✓ Les mesures existants et à prendre.

Aussi, la méthode VAMIR proposée donne une vision globale sur la vulnérabilité des cibles face aux risques industriels majeurs avec un résumé non technique très utile pour les non spécialistes comme les autorités locales et les gérants.

L'algorithme ci-dessous résume les étapes de la méthode proposée, (Figure 3.1)

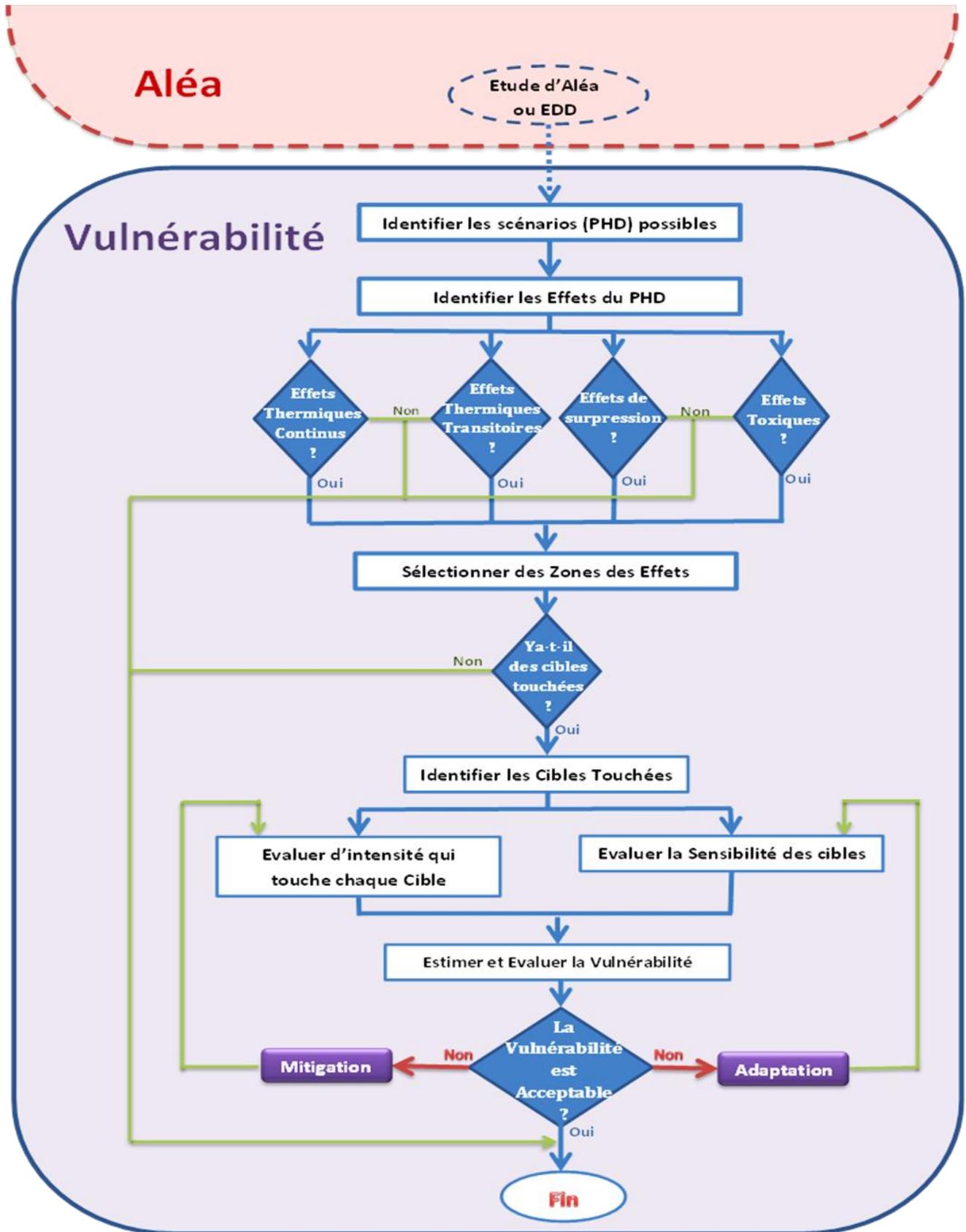


Figure 3.1. Algorithme d'analyse et d'évaluation de la vulnérabilité face au risque industriel majeur

3.3. Les étapes de l'approche VAMIR

La méthode proposée est composée des étapes illustrées dans l'algorithme au-dessus (Figure 3.1), ces dernières sont définies ci-dessous.

3.3.1. Présentation du champ d'études

Cette phase présente les informations générales de la zone d'étude comme : le type d'activité, l'installation étudiée, le contexte, la durée et date de réalisation.

3.3.2. Identification des scénarios possibles du risque

Les scénarios de référence sont identifiés préalablement par l'étude de danger (étude d'aléa) et vont être utilisés comme un point de départ pour analyser la vulnérabilité des cibles touchées. Il est notable que cette méthode est une étude complémentaire dans le processus d'évaluation du risque.

Les phénomènes (scénarios) dangereux possibles des accidents industriels majeurs peuvent être des explosions (BLEVE, UVCE, Boilover...), des incendies (feu de torche, feu de nappe, feu de flash...), des déversements des produits chimiques ou des dispersions atmosphériques.

3.3.3. Détermination des effets propagés

Les phénomènes dangereux peuvent provoquer généralement trois types d'effet direct : thermique (transitoire ou continue), toxique et de surpression. Ces effets peuvent être combinés, c'est-à-dire qu'il est possible d'être exposé à plusieurs effets pour un même phénomène dangereux.

Dans cette phase la méthode va identifier les effets possibles pour chaque scénario de référence possible à survenir, le tableau suivant présente les effets possibles des différents phénomènes ([Dianous et al., 2004](#)).

Tableau 3.1. Les effets des phénomènes dangereux ([Dianous et al.,2004](#)).

Phénomènes dangereux	Evènements Majeurs			
	Effet Thermique	Effet de Surpression	Effets Missiles	Effets Toxiques
Feu de nappe	X			X
Feu de bac	X			X
Feu de Torche	X			
UVCE	X	X	X	
Flash Fire	X			
Nuage Toxique				X
Feu de solides	X			X
Emission des missiles			X	
Ondes de Surpression		X		
Bole de Feu	X			
Pollution Environnementale				X
Explosion des Poussières	X	X	X	
Boil-Over	X			

3.3.4. Identification des zones des effets

Les zones des effets sont déterminées par les distances des différents seuils des effets.

Il est remarquable que les valeurs de seuils d'effets adoptées par les différentes recherches ou réglementations des pays sont hétérogènes ([André et al., 2013](#)). Pour cela, deux approches sont à distinguer ([MEDD, 2004](#)) :

- ✓ Dans le premier cas, les seuils choisis permettent de définir des zones pour mettre en œuvre l'organisation et l'intervention adéquates des secours (Espagne, Italie) ;
- ✓ Dans le deuxième cas, les seuils choisis permettent de définir des zones caractérisant les effets directs sur les hommes et / ou les structures (France, Belgique). Ce projet est basé sur la caractérisation des effets afin d'évaluer les conséquences sur l'homme et les structures. Pour atteindre cet objectif, on adopte les seuils des effets de la réglementation française qui sont utilisés dans les études de danger des installations industrielles classées ICPE ([MEDD, 2005](#)).

3.3.4.1. Seuils d'effets sur l'homme

a. Surpression

- 20 mbar, seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme ;
- 50 mbar, seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine ;
- 140 mbar, seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine ;
- 200 mbar, seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

b. Thermique

- 3 kW/m² ou 600 [(kW/m²)^{4/3}]. s, seuil des effets irréversibles ;
- 5 kW/m² ou 1000 [(kW/m²)^{4/3}]. s, seuil des premiers effets létaux ;
- 8 kW/m² ou 1800 [(kW/m²)^{4/3}]. s, seuil des effets létaux significatifs.

c. Toxique

- SELS : Seuil des Effets Létaux Significatifs ;
- SEL: Seuil des Effets Létaux ;
- SEI: Seuil des Effets Irréversibles

3.3.4.2. Seuils d'effets sur les structures

a. Surpression

- 20 mbar, seuil des destructions significatives de vitres ;
- 50 mbar, seuil des dégâts légers sur les structures ;
- 140 mbar, seuil des dégâts graves sur les structures ;
- 200 mbar, seuil des effets domino ;

b. Thermique

- 5 kW/m², seuil des destructions significatives des vitres ;
- 8 kW/m², seuil des effets domino ;
- 16 kW/m², seuil d'exposition prolongée des structures, hors structures béton ;

- 20 kW/m², seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures ;
- 200 kW/m², seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.

3.3.5. Identification des cibles

Les analyses de vulnérabilité ont porté généralement sur les aspects physiques et sur le matériel. Les conséquences se traduisent par la perte humaine ou les dégâts matériels ([Lutoff, 1998](#)) et la définition des Nations Unies en terme de vulnérabilité affirme que « la Vulnérabilité est le degré de perte (0%-100%) résultant d'un phénomène peut engendrer des victimes et des dommages matériels » ([Gréciano et al., 2007](#)).

Aussi, l'évaluation des conséquences potentielles qui est basée sur ces deux facteurs (perte humaine & dégâts matériels) reste qualitativement faible et quantitativement très difficile. Dans cette logique et pour compenser la faiblesse de l'évaluation qualitative, la démarche proposée consiste à la génération du maximum des éléments, à savoir :

- Vulnérabilité humaine (travailleurs, travailleurs en voisinage, population, population sensibles) ;
- Vulnérabilité fonctionnelle (fonction de santé, sécurité, protection, approvisionnement, transport et communication) ;
- Vulnérabilité environnementale (la faune, la flore, air, terre et écosystème) ;
- Vulnérabilité monumentale ;
- Vulnérabilité socio-économique à haut niveau (national ou international).

Dans cette recherche nous proposons une check-list présentée dans le tableau suivant pour simplifier l'identification des cibles touchées.

Tableau 3.2. Formulaire proposée de check-list d'identification des cibles touchées

N°	Type de Cible		Existence (Oui/Non)
I	Vulnérabilité Humaine		
1	Travailleurs de l'entreprise		
2	Travailleurs d'autres entreprises en voisinage		
3	Population		
4	Population sensible		
II	Vulnérabilité Fonctionnelle		
5	Fonction de santé	Hôpitaux, Cliniques ou centres médicaux, systèmes mobiles d'intervention médicale (croissant ou croix rouge), autre...	
6	Fonction de sûreté	centres de sûreté, police, gendarme, corps armé,...	
7	Fonction de protection	les pompiers, les forces d'intervention rapide, les cellules locales de gestion des crises (information, communication, coordination, logistique,...)	
8	Fonction d'approvisionnement	Eaux, Energie, Nourriture, Carburants,...	
III	Vulnérabilité Environnementale		
9	la Faune	Réserves animales, parcs (zoo), les centres d'élevages,...	
10	la Flore	Réserves naturelles, parcs, les gredins, les sites d'investissement agricole,...	
11	l'Air	l'atmosphère	
12	la Terre	les nappes phréatiques, les zones agricoles, les structures et les réserves géologiques,...	
13	les plans aquatiques	mers, rivières, oueds, lacs, barrages naturels ou artificiels	
IV	Vulnérabilité Monumentale		
14	Monuments historiques ou Patrimoines culturels	tout un monument préservé par une autorité publique ou organisme non gouvernemental pour son intérêt historique, culturel ou patrimonial	
V	Vulnérabilité socio-économique à haut niveau (national ou international)		
15	Economie Nationale ou Internationale		
16	Sécurité Nationale ou Internationale		
17	Approvisionnement Nationale ou Internationale		

3.3.6. Evaluation de la vulnérabilité

Bien que les définitions du terme vulnérabilité soient multiples et sujettes à discussion, les méthodologies utilisées pour l'évaluer sont pratiquement faibles. Certains chercheurs (Académiques ou professionnels) affirment qu'il est impossible de mesurer la vulnérabilité en se basant seulement sur des indicateurs. Cependant, plusieurs méthodologies soient mise en œuvre et validées utilisent les données disponibles ou qui peuvent être obtenues dans ce sens ([Foerster, 2009](#)). A cet effet et en vue décisionnelle, la méthodologie proposée est basée sur une estimation semi-quantitative afin d'évaluer le niveau de vulnérabilité face aux risques industriels majeurs.

Dans l'identification de la vulnérabilité, il est nécessaire de répondre à la question « Qui est vulnérable à quoi ? » ([Schröter et al., 2005](#)), à partir de ça, on considère que la vulnérabilité est la sensibilité d'une cible exposée à une intensité d'un phénomène.

$$V = \text{Intensité } (I) \times \text{Sensibilité } (S) \quad (3.1)$$

Pour traduire ce modèle à une valeur quantifiable, on adopte dans cette approche la matrice d'évaluation suivante :

Sensibilité	SE	4	4	8	12	16
	SS	3	3	6	9	12
	SM	2	2	4	6	8
	SF	1	1	2	3	4
	0					
			1	2	3	4
			IF	IM	IS	IE
			Intensité			

Figure 3.2. Matrice d'évaluation de vulnérabilité

Le tableau suivant (Tableau 3.4) présente une échelle de classement de de niveau de vulnérabilité.

Tableau 3.3.Echelle d'évaluation de vulnérabilité

1-2	VF	Vulnérabilité Faible
3-4	VM	Vulnérabilité Moyenne
6-8	VS	Vulnérabilité Significative
9-16	VE	Vulnérabilité Elevée

Pour évaluer l'intensité des phénomènes, l'approche a adapté les seuils inspirés ([MEDD, 2004](#)) à quatre niveaux d'intensité : faible «IF=1», Moyenne «IM=2» significative «IS=3» et élevé «IE=4», (Tableau 3.4).

Tableau 3.4.Echelle d'évaluation de l'Intensité

INTENSITÉ	Elevée (IE) 4	Significative (IS) 3	Moyenne (IM) 2	Faible (IF) 1
Effet su l'Homme				
Surpression	> 200 mbar	140 à 200 mbar	50 à 140 mbar 20 à 50 mbar(Indirect)	< 20mbar
Thermique transitoire	> 1 800 [kW/m ²] ^{4/3} .s	1 000 à 1 800 [kW/m ²] ^{4/3} .s	600 à 1 000 [kW/m ²] ^{4/3} .s	<600[kW/m ²] ^{4/3} .s
Thermique continu	>8 kW/m ²	5 à 8 kW/m ²	3 à 5 kW/m ²	<3 kW/m ²
Toxique	SELS	SEL	SEI	SER
Effet sur les Structures				
Surpression	> 200 mbar	140 à 200 mbar	50 à 140 mbar	<= 50 mbar
Thermique transitoire	NA	NA	NA	NA
Thermique continu	>200 kW/m ²	>20 kW/m ²	8 à 20kW/m ²	<= 8 kW/m ²
Toxique	NA	NA	NA	NA

Et pour la sensibilité des cibles, une échelle à quatre niveaux est adaptée : faible «SF = 1», moyenne «SM = 2» significative «SS = 3» et élevé «SE = 4», ce qui permettra d'évaluer le niveau de résilience des différentes cibles (Tableau 3.5).

Tableau 3.5.Echelle d'évaluation de la Sensibilité.

Sensibilité	Description
<p style="text-align: center;">Faible SF=1</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Personne habilités à intervenir en cas d'urgence avec des équipements de protection contre les effets de phénomène ; - Des immeubles protégés contre les effets potentiels comme les salles de contrôle ; - Présence des locaux de protection ou zones de refuge très proches aux cibles humaines (surtout dans les phénomènes dynamiquement lents) ; - Installation souterraines dans le cas des effets de surpression ou thermiques.
<p style="text-align: center;">Moyenne SM=2</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les travailleurs de l'entreprise étudiée (la source des effets d'accident industriel majeur), cette robustesses basé sur : <ul style="list-style-type: none"> • connaissance de métier ; • Connaissance des risques liés à leurs activités • Compagnes de sensibilisation des risques d'activité ; • Les drills et les exercices de simulation • Présence de procédure d'évacuation adaptée à la nature des risques probables ; • L'anticipation de la détection du phénomène à survenir. - Les équipements et installation avec une conception spéciale à résister certains effets a certaine durée (ou avec un système de protection automatique (ex : les systèmes automatique de rideaux d'eau ou de déluge)
<p style="text-align: center;">Significative SS=3</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La population et les travailleurs des autres entreprises en voisinage - Les sites de fonctions de vie (santé, sécurité, protection, approvisionnement, transport, communication,...
<p style="text-align: center;">Elevée SE=4</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La population sensible comme les malades hospitalisées les prisonniers, les élevés dans les écoles,... - Les zones naturelles sensibles (mers, rivières, nappe phréatique, zoos, ...) - Les zones culturelles et historiques monumentales - L'économie ou logistique nationale

Pour l'application de cette méthode, on propose le canevas suivant (Tableau 3.6) qui présente un résumé non-technique de l'étude.

Tableau 3.6.Résumé non-technique de la méthode (tableau de VAMIR)

La zone d'étude :							
L'entreprise :							
Type d'activité :							
Installation étudiée :						Date :	
N	scénario	Type des effets	Zones des effets	Les cibles touchées	Niveau de Sensibilité S	Niveau d'Intensité I	Niveau de Vulnérabilité V

3.3.7. Réduction de la vulnérabilité

Si la vulnérabilité est inacceptable ou tolérable, un plan d'action à établir et des mesures à prendre en charge pour réduire cette vulnérabilité. Bien que la réduction des zones d'intensité ou la sensibilité des cibles touchées va diminuer la vulnérabilité ([Hassani et al., 2018](#)).

Dans cette approche, deux axes sont à considérer pour réduire la vulnérabilité (Mitigation/Adaptation).

3.3.7.1. Mitigation (Atténuation)

C'est une limitation ou control d'intensité face ou cibles vulnérable, qui se fait soit par :

- diminution des zones d'intensité ;
- ou l'éloignement des cibles touchées.

3.3.7.2. Adaptation

C'est la capacité ou aptitude d'un système de changement ou modification de ses comportements ou caractéristiques pour mieux faire face aux menaces existantes ([Adger et al., 2004](#)).

En d'autre sens l'adaptation c'est l'augmentation de la résilience des cibles menacées, on peut citer quelques exemples :

- augmentation de la résistance des matières ;
- élaboration des procédures d'évacuation ;
- training et simulation des cas d'urgence ;

- participation à la culture aux risques majeurs par la sensibilisation de population ;
- anticipation des alertes des accidents majeurs ;
- confection des locaux de protection ou zones de refuge.

Enfin, pour aboutir à des résultats acceptables et prendre les mesures techniquement et/ou organisationnellement réalisables et économiquement faisables, une réévaluation est à refaire pour déterminer le niveau réel de la vulnérabilité en faisant appel à la règle ALARP de la gestion de risque ([Melchers, 2001](#))

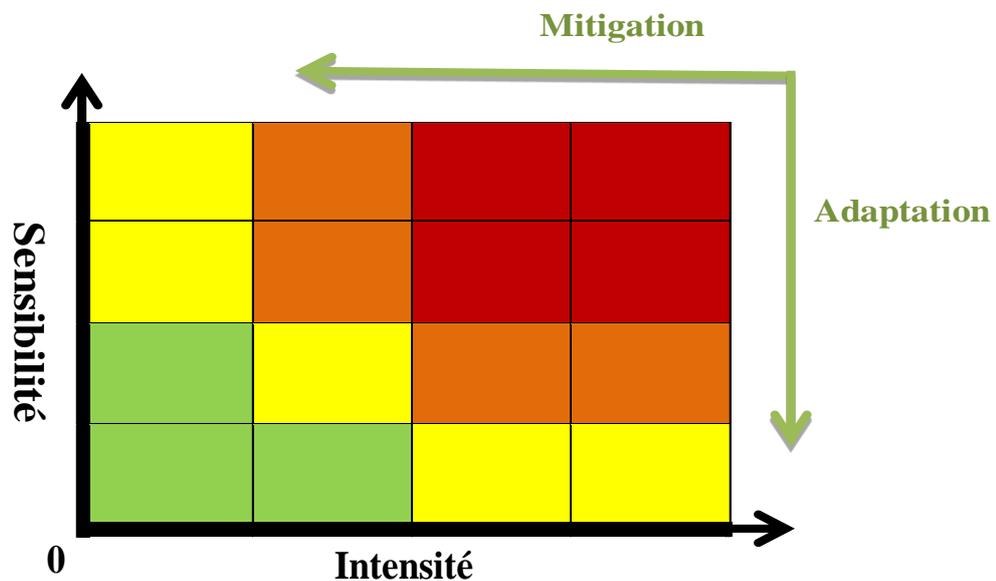


Figure 3.3. Processus de Réduction de la Vulnérabilité

3.3.8. Réévaluation de la vulnérabilité

Suite à la mise en place des mesures de réduction de vulnérabilité soit par l'adaptation ou par la mitigation, une réévaluation de niveau de vulnérabilité doit être réalisée en utilisant les mêmes étapes précédentes (une réitération des étapes).

Cette réévaluation a pour objet de voir l'efficacité des mesures adoptées. Elle nous donne une deuxième situation, meilleur que la précédente, voire un état actualisé du niveau de vulnérabilité.

Il faut remarquer que le processus de réévaluation de vulnérabilité doit être mis en place aussi dans les cas suivants :

- Présence d'un changement du système industriel étudié ;
- Changement dans l'environnement social ou industriel (ex : nouvelle usine, nouvelle zone d'agglomération...) ;
- La mise à jour de l'étude de danger de l'entreprise ;
- Suivant un incident ou accident montre que l'évaluation de risque et de vulnérabilité ont besoin de révision.

3.4. Application de la méthode VAMIR (Etude de cas)

3.4.1. Définition du système et des objectifs à atteindre de l'étude

Notre étude est inscrite dans le cadre de l'étude de danger pour les zones à hauts risques majeurs qui peuvent menacer la sécurité des personnels, de l'installation, de l'environnement (population, infrastructure,...). Sachant que l'objectif principal est de démontrer la vulnérabilité du site de HRM comme zone à hauts risques et les mesures qui peuvent être recommandées dans le cadre de la prévention des risques technologiques majeurs.

Nous nous intéressons au Centre de Stockage et de Transfert Facile (GPL et condensât), CSTF du champ gazier de Hassi R'Mel.

3.4.2. Données d'entrée nécessaires de l'étude

3.4.2.1. Historique du champ de Hassi R'Mel

La ville de Hassi R'Mel est située à 525 km au sud d'Alger, sa champ gazier s'étale sur plus de 3500 km², ce dernier est découvert en 1956, il est l'un des plus grands gisements de gaz à l'échelle mondiale.

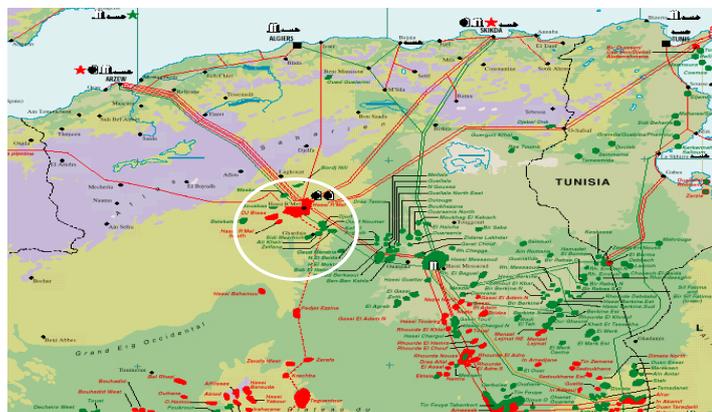


Figure 3.4. Situation géographique " Hassi-R'mel " (Sellami, 2013)

Le développement du champ de Hassi R'Mel a été réalisé en quatre étapes :

- ✓ 1961 : Mise en exploitation de 02 unités de traitement de gaz d'une capacité de 1.3 Milliards de m³ par an.
- ✓ 1969 : Mise en exploitation de 04 unités supplémentaires pour augmenter la Capacité à 04 Milliards m³ par an.
- ✓ 1972-1974 : Mise en exploitation de 06 unités supplémentaires pour atteindre une capacité de 14 Milliards m³ par an.
- ✓ 1975-1980 : Mise en œuvre et réalisation du Plan Directeur de Développement.

3.4.2.2. Description de l'environnement de l'entreprise

a. Environnement naturel

La région de Hassi R'Mel est désertique et elle n'est pas soumise à une activité sismique (classée en zone 0)

Les données météorologiques de la région de Hassi R'Mel sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 3.7.Données météorologiques de HRM.

<i>Climat</i>	<ul style="list-style-type: none"> - La température moyenne, en été entre 40C° et 45C°, en hiver entre - 5C° et 15C° ; - Taux moyen d'humidité est 19% en été et 34% en hiver.
<i>Précipitation</i>	La moyenne de précipitation se situe à environ 75mm d'eau par an, avec en maximum de 10 à 20 mm durant mois de janvier. Les orages peuvent être modérer ou violente entraînant les inondations dans les oueds.
<i>Vent</i>	La direction du vent est variable et imprévisible, cependant la prédominance est un vent orienté Nord-Nord/Ouest, la vitesse du vent peut être supérieure à 50km/h, cette vitesse étant relativement fréquente dans les périodes des vents de sable.
<i>Foudre</i>	Occasionnelle

b. Population avoisinantes et établissements

Le nombre d'habitants de la région de Hassi R'Mel par cités et par secteurs est indiqué dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3.8. Population avoisinantes et établissements.

Zones	Les cibles en voisinage		Nb de Population
Zone 0	L'entreprise de source d'accident (SH-DP)	3 modules de traitement des hydrocarbures + boosting + centre de stockage	750
Zone 1	CNDG SH-TRC	Centre de dispatching de gaz	20
Zone 2	SONALGAZ	Société de distribution d'électricité et de gaz	160
	GTP	Entreprise de Grand Travaux Pétroliers	
Zone 3	Base CNDG	Base administrative et base de vie	409
	NAFTAL	Station de service et centre de distribution GPL	
	Parc Nord SH-DP	Parc de stockage des pipes	
Zone 4	Base de vie SH-DP	1000 studios	1309
	Base BP	Base administrative et base de vie	
Zone 5	Base FIR SH-DP + protection civile	Base des forces d'intervention rapide + pompière	379
	Bloc administratif SH-DP	100 bureaux	
	ANCF	Entreprise	
Zone 6	Base de vie + complexe administratif SH-DP		1859
Zone 7	ENSP	Entreprise de service de puits	507
	Centre de formation SH-DP		
	ASL-Sonatrach	Affaires sociales + Centre médical	
Zone 8	Cité d'habitation	Hay Ezzouhors	3612
Zone 9	Base de vie GTP +ENSP		914
	02 écoles des élèves		
Zone 10	Cité d'habitation		5339
Zone 11	Bidon ville		4068

3.4.2.3. Unités industrielles de Sonatrach DP dans le champ Hassi R'mel

Les champs de Hassi R'Mel sont découpés fonctionnellement en trois secteurs distincts :

Tableau 3.9. Différents secteurs de SH/DP Hassi-R'mel

Secteur	Les Unités existantes
Secteur Nord	<ul style="list-style-type: none"> -Unité de traitement de gaz MPP3 - Station de compression nord SCN -Station de Boosting Nord, SBN - Station de déshuilage nord - Centres de traitement d'huiles -CTH2/CTH4
Secteur Centre	<ul style="list-style-type: none"> -Unités de traitement de gaz MPP1/MPP0/MPP4 - Station de Boosting Centre, SBC - Centre de stockage et de transfert des fluides (CSTF) - Installations communs (Phase B) - Poste blindé 60/30 KV - Centres de traitement d'huiles CTH1/CTH3 - Station de déshuilage centre - Station de récupération des gaz associés SRGA - Station de traitement des eaux polluées STEP
Secteur Sud	<ul style="list-style-type: none"> -Unité de traitement de gaz MPP2 - Station de compression Sud, SCS -Station de Boosting Sud, SBS - Station de déshuilage Sud - Centre de traitement d'huiles CTH Sud - CTG Djebel bissa - CTG Hassi R'Mel sud

3.4.2.4. Présentation du centre de stockage (CSTF) HRM

a. Description de centre de stockage CSTF

Le CSTF a pour but de stocker le GPL et le condensat en provenance des modules de traitement de gaz MPP 0, I, II, III, IV et le centre de traitement de gaz Djebel Bissa, et de transférer ces deux produits vers le terminal d'ARZEW à travers les deux oléoducs LZ1 et NZ1

Le CSTF est composé en trois sections :

- Section de stockage et de transfert du GPL ;
- Section de compression du GPL ;
- Section de stockage et de transfert du condensat.

Le CSTF dispose 12 Sphères de stockage de GPL et 7 Bac de stockage du Condensat. La capacité de stockage totale est de 78000 m³ de GPL et de 285000 m³ de Condensat.

La localisation du CSTF et les autres installations et modules de production sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 3.10.Installations voisines de CSTF

Localisation	Désignation
Nord	- Pas d'installations
Sud	- Module 4
Est	- Bâtiment de Centrale Sécurité - Stockage eau anti incendie - Atelier de centrale sécurité - JGC office - Office projet BOOSTING phase 2
Ouest	- Zone de torche Module 4 - Bourbier

L'image suivante présente les limites de la zone CSTF

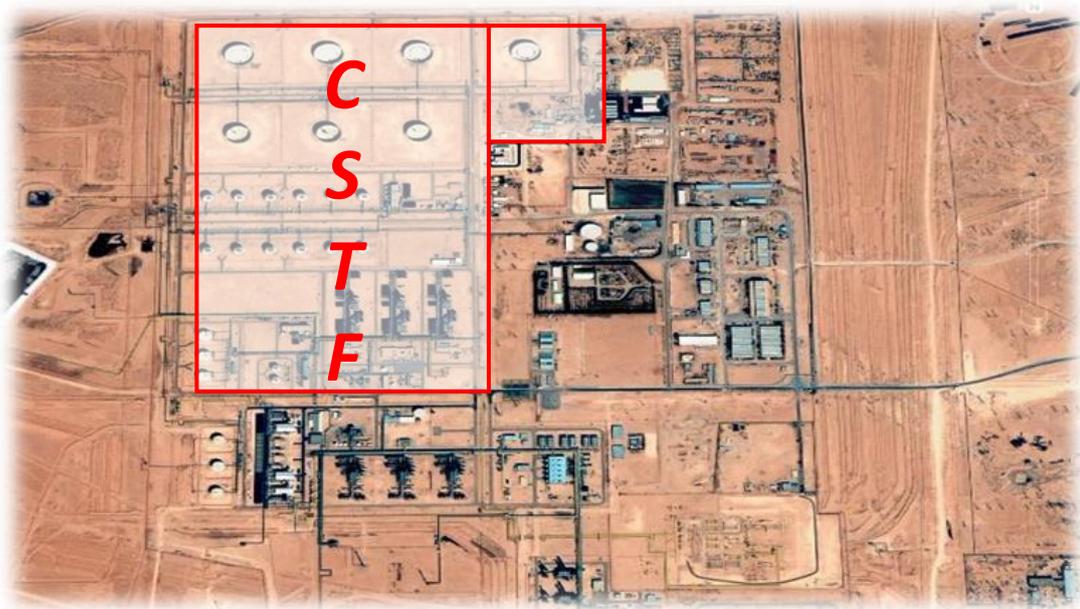


Figure 3.5. Installations voisines de CSTF

b. Description du fonctionnement du site de Stockage et de transfert du GPL

Le site de stockage et de transfert de GPL est composé des installations suivantes :

- 12 sphères d'une capacité nominal de 6500 m³ chacune avec une capacité totale de stockage de l'ordre de 78000 m³
- 6 pompes boosters P001 A/B/C/D/E/F : débit 165 m³/h à P = 15 à 18 bar chacune dont 3 pompes ont une deuxième fonction de transfert de GPL entre les sphères.
- 3 pompes P002 A/B/C : débit 350 m³/h à P = 25 à 34 bar chacune, d'expédition GPL vers la ligne 24'' avec un débit de 350 m³/h chacune
- 5 groupes turbocompresseurs avec 12 aéro-réfrigérants de GPL

c. Section de stockage et de transfert du GPL :

Fonctionnement normal : Lors du fonctionnement normal, le GPL sortant des modules circule vers le pipeline à travers l'unité de comptage du GPL en évitant les sphères de stockage après avoir été pompé à l'aide de la pompe de pipeline à GPL.

Lorsque la pression d'aspiration de la pompe s'élève suffisamment, une partie de GPL se dirige vers les sphères de stockage.

Les vannes de remplissage des sphères de stockage du GPL sont toujours laissées ouvertes.

Remplissage et vidange : Si le GPL en provenance des modules ne peut être transféré du fait d'une interruption du pipeline, d'une anomalie de la pompe ou d'une diminution de la demande de SONATRACH TRC, il se dirige vers les sphères de stockage. Après la remise en état du pipeline ou de la pompe, le GPL contenu dans les sphères de stockage circule vers la conduite d'aspiration de la pompe sous l'action d'un régulateur de débit, après avoir été pressurisé par la pompe surcompression à GPL. En règle générale, on ne doit pas pomper du GPL de deux sphères de stockage simultanément au cours d'une opération de vidange. De plus, il est interdit d'effectuer simultanément le remplissage et la vidange de la même sphère.

Transfert du GPL entre les sphères de stockage : Lorsqu'on veut effectuer des travaux sur une sphère de stockage contenant du GPL, on fait le transfert du GPL à une autre sphère au moyen des trois pompes. Ce transfert peut être effectué parallèlement à d'autres opérations.

d. Section de compression du GPL

Cette section a pour fonction de maintenir la pression et la température des sphères de GPL dans une gamme déterminée, par compression, condensation, dilatation et circulation des gaz qui se dégagent par ébullition à l'intérieur des sphères de GPL sous l'effet de :

- la convection et la radiation de la chaleur atmosphérique
- l'échauffement dû à la perte par friction des canalisations
- la différence de température entre les liquides stockés et ceux à introduire

Les gaz chassés par ébullition des sphères GPL sont comprimés dans les compresseurs (groupes turbocompresseur) et condensés dans un condenseur de vapeur GPL, d'où ils se dirigent vers un accumulateur. Le liquide contenu dans cet accumulateur est renvoyé enfin vers les sphères.

Toutefois, l'opération de remplissage nécessite au moins deux compresseurs.

Lorsqu'il est impossible de faire fonctionner les compresseurs à GPL pour une raison quelconque, les gaz dégagés par ébullition dans les sphères GPL sont envoyés vers la torche.

e. Section de torche

Le CSTF est doté d'un système de torche HP qui permet de brûler les gaz résiduaire dégagés en cas d'anomalie.

Le système de torche se compose de collecteurs de torche, d'un dispositif de récupération des brouillards (ballon-tampon, ballon draineur et purgeurs à pompage) et d'une torche proprement dite.

Les gaz résiduaire ne circulent pas dans le système de torche au cours de l'exploitation normale de l'usine. Donc, du gaz combustible est injecté en amont du collecteur de torche.

f. Section de vide-vite

L'hydrocarbure liquide déchargé à partir de chaque section se dirige vers la fosse de brûlage pour combustion. Cette fosse de brûlage, réservée aux besoins du MPP I, est située dans la zone du CSTF.

L'hydrocarbure déchargé est d'abord recueilli dans un ballon tampon, qui permet de le séparer en phases gazeuse et liquide. Après avoir été pressurisé par la pompe de vidange, l'hydrocarbure liquide se dirige finalement vers la fosse de brûlage.

3.4.2.5. Identification et caractérisation des potentiels de dangers, centre CSTF

Les potentiels de dangers peuvent être internes ou externes :

a. Les potentiels de dangers internes

Les dangers liés aux propriétés intrinsèques des produits, équipements et des conditions opératoires, et présentant une vulnérabilité sur les personnes, l'installation et l'environnement (c'est le cas, par exemple de l'explosion d'une sphère contenant du GPL).

b. Les potentiels de dangers externes

Les dangers liés aux propriétés intrinsèques de l'environnement naturel et industriel externe (c'est le cas par exemple du risque d'inondation, risque foudre, les effets dominos).

3.4.2.6. Description de l'équipement étudié

Le CSTF dispose de 12 sphères de stockage de GPL 50/60-T001~006 d'une capacité totale de 7170 m³ chacune.

Les caractéristiques des sphères sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 3.11.Caractéristiques Des Sphères GPL

Caractéristiques	Valeurs
Substance	GPL
T service (°C)	20
T calcul (°C)	17 à 93.3
P service (bar)	6.36
P épreuve (bar)	9.6
Volume totale (m ³)	7170
Volume d'exploitation réel (m ³)	6508
Masse volumique (kg/m ³)	536
Diamètre de la plus grande connexion	14"
Volume de la cuvette de rétention (m ³)	2958
Surface de la cuvette de rétention (m ²)	4225

Les sphères de stockage sont alimentées par une ligne de remplissage de 14 pouces et vidées par une ligne de vidange de 12 pouces calorifugées. Lorsqu'on veut effectuer des travaux sur une sphère de stockage contenant du GPL, on fait le transfert du GPL vers une autre sphère au moyen des pompes P001A/B/C. Ce transfert peut être effectué parallèlement à d'autres opérations. Equipements de la sphère de stockage GPL 50-T016 :

- Ligne de remplissage 14''
- Ligne de vidange 12'' : calorifugée
- Ligne de purge d'eau : calorifugée et équipée de deux résistances (traçage électrique) pour éviter le givrage de la conduite
- Ligne de prise d'échantillon
- Ligne de récupération des vapeurs GPL : BOIL OFF
- Deux (02) Soupapes PSV vers atmosphère
- Deux (02) Soupapes PSV vers torche
- Deux (02) Indicateurs de pression PG (haut et bas)
- Deux (02) Indicateurs de température TG (haut et bas)
- Deux (02) jauges avec indicateur local
- LIA : alarme haut niveau ou bas niveau
- LZH : alarme très haut niveau
- LZL : alarme très bas niveau
- Une mise à la terre
- Une passerelle pour accès au sommet de la sphère

Cette étude prend une des 12 sphères comme un échantillon d'étude, la figure suivante représente la forme de sphère GPL :

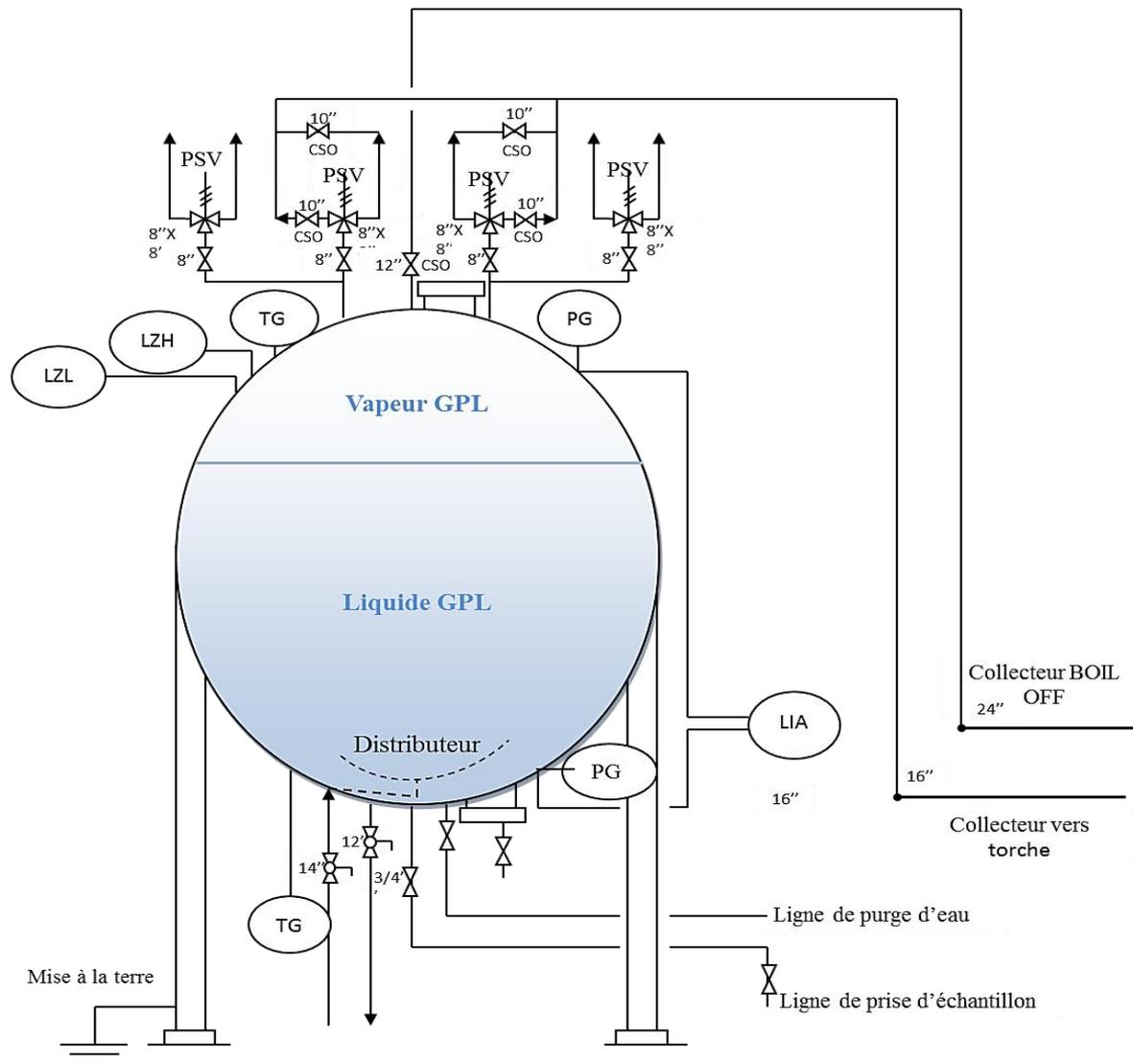


Figure 3.6. Conception d'une Sphère GPL

3.4.3. Identification du scénario étudié

Afin de déterminer le scénario étudié, nous avons établi brièvement (qualitativement) la méthode Nœud de Papillon (Bow-tie) qui est la meilleure méthode adoptée pour les risques majeurs. L'application rigoureuse de cette dernière permet d'identifier de manière exhaustive les causes et les conséquences liées à un événement redouté.

3.4.3.1. Description des événements redoutés

L'événement redouté est une défaillance d'une sphère de GPL. Le scénario étudié est donc la mise à l'atmosphère d'un gaz liquéfié stocké au-dessus de sa température d'ébullition (*perte de confinement*).

3.4.3.2. Analyse des causes d'une Perte de confinement d'une sphère GPL

Une étude menée par DNV Technica ([Spouge, 2006](#)) en 1990 à propos de HSE (Angleterre) sur 230 accidents impliquant des réservoirs sous pression donne les contributions suivantes :

Tableau 3.12. Taux de contributions de causes de défaillance des réservoirs ([Spouge, 2006](#)).

CAUSE	CONTRIBUTION (%)
Surpression	42,17
Erreur humaine	22,90
Effet thermique (ex. incendie)	10,43
Défaillance mécanique	6,67
Corrosion	5,87
Impact (ex. missiles)	5,22
Surcharge par influence externe	2,39
Autres	4,35

La perte de confinement et leurs causes sont modélisées dans l'arbre des défaillances présenté dans la figure suivant :

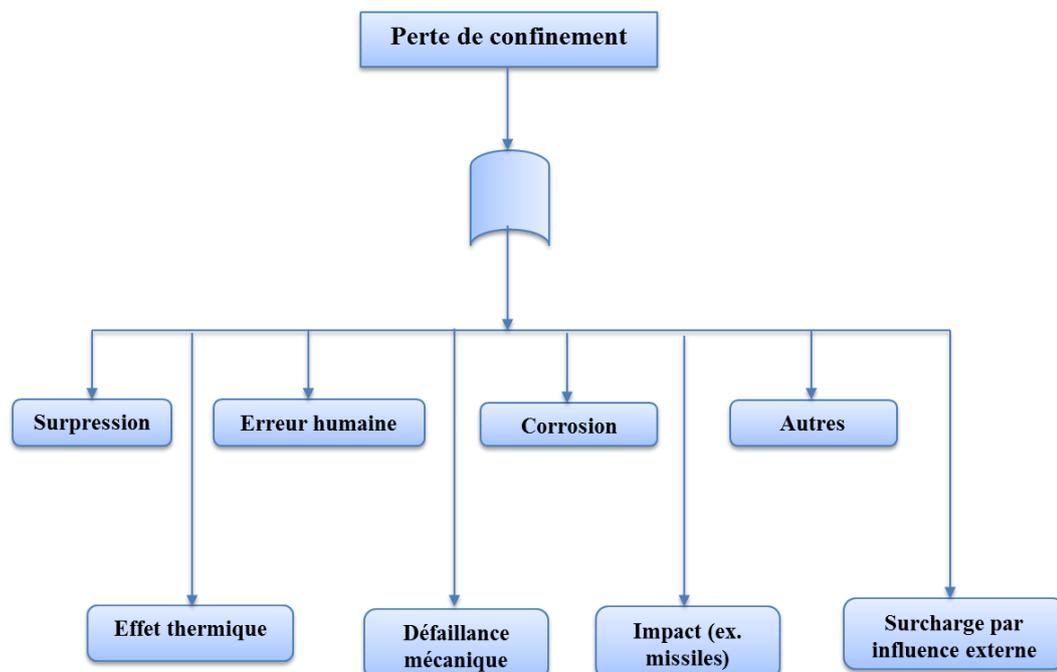


Figure 3.7. Arbres des défaillances d'une sphère GPL sous pression

3.4.3.3. Analyse des conséquences d'une Perte de confinement d'une sphère GPL

Les calculs des fréquences génériques de défaillance sont basés sur des données extraites du Handbook Failure Frequencies ([SRD, 2009](#)). Ce dernier est basé sur des données historiques d'un certains nombres d'équipements représentatifs. Le Handbook Failure Frequencies donne les probabilités de défaillances suivantes pour un réservoir sous pression :

Tableau 3.13. Probabilités de défaillance (Rupture) d'un réservoir (/an) ([SRD, 2009](#)).

Types de défaillance	Tanks de stockage aériens
Petite fuite $0.1 < d \leq 10 \text{ mm}$	$1.2 \cdot 10^{-5}$
Fuite moyenne $10 < d \leq 50 \text{ mm}$	$1.1 \cdot 10^{-6}$
Grande fuite $50 < d \leq D \text{ max}$	$1.1 \cdot 10^{-6}$
Rupture	$6.4 \cdot 10^{-7}$
Total	$1.48 \cdot 10^{-5}$

L'arbre des conséquences présenté ci-après, donne les conséquence liée à l'ERC (perte de confinement de GPL) dans les cas de petite, moyenne et grande rupture en prendre en considération l'ignition (ou non ignition) de ces pertes.

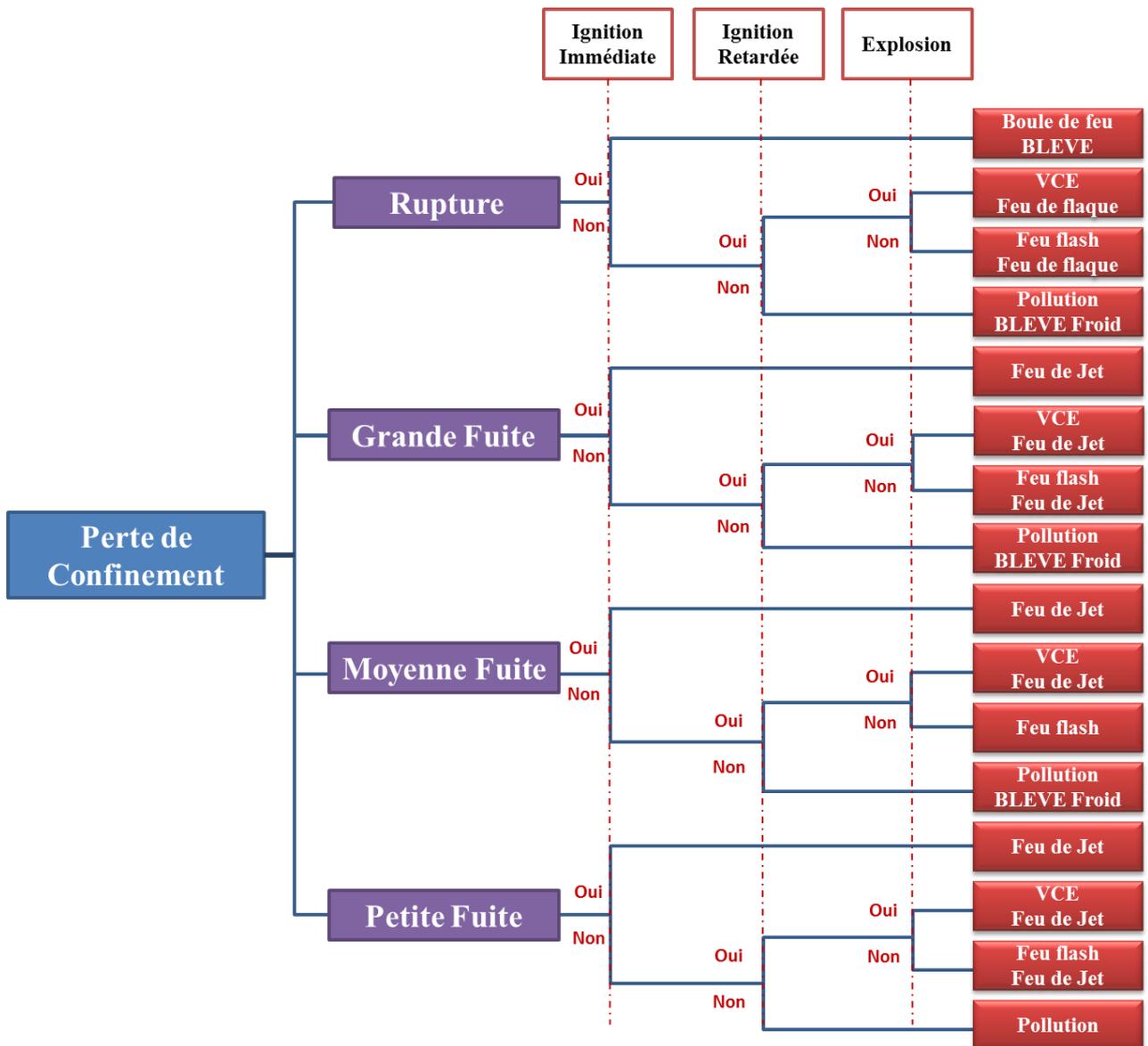


Figure 3.8. Arbres des conséquences de la perte de confinement d’une sphère GPL sous pression

3.4.3.4. Construction de Nœud Papillon d’une Perte de confinement d’une sphère GPL

La combinaison entre l’arbre des défaillances et l’arbre des conséquences nous permettent de construire la Nœud de Papillon (Bow-tie) qui résume les causes de base et les conséquences possibles d’une perte de confinement

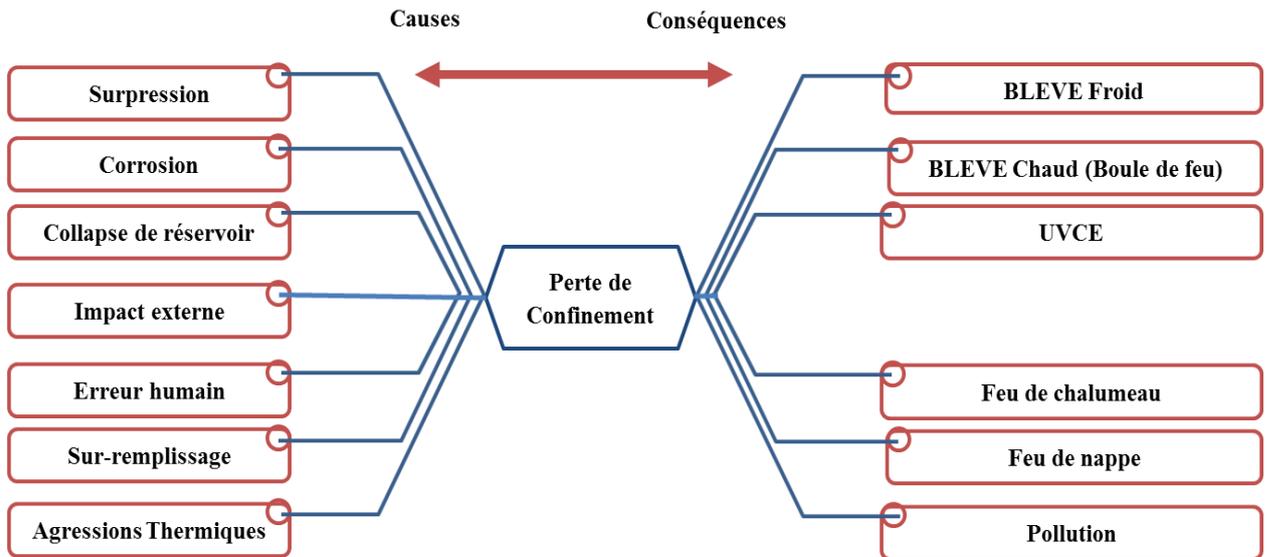


Figure 3.9. Bow-tie d'une perte de confinement d'une sphère GPL

Une étude de danger a été réalisée en 2011 sur la même zone d'étude par l'application de la méthode Bow-tie ([Hassani & Hadeif, 2011](#)), cette étude démontre que le scénario majeur physiquement possible (SMPP) et le plus désastreux est le BLEVE Chaud qui produit une boule de feu.

Le retour d'expérience REX disponible sur les BLEVEs ne signale que rarement l'étendue des effets de surpression, parce qu'ils vont être « masqués » par les effets thermiques, ou par d'autres explosions lorsqu'elles se produisent en chaîne ([Heudier & Proust, 2017](#)) et pour la même raison le logiciel ALOHA® ne prend pas en considération les effets de surpression dans le cas de BLEVE ([Jones et al., 2013](#)).

3.4.4. Description de l'outil de simulation

La simulation du scénario étudié (BLEVE) a été effectuée par le logiciel ALOHA® (V5.4.7) (Aerial Locations of Hazardous Atmospheres). C'est un logiciel de modélisation qui estime des zones de menace liées aux dégagements chimiques dangereux, y compris des nuages de gaz toxique, des incendies et des explosions. Il a été développé conjointement par les 2 entités américaines suivantes : « Environmental Protection Agency's Office of Emergency Prevention, Preparedness and Response » (EPA) et le « National Oceanic and Atmospheric Administration's Office of Response and Restoration » (NOAA) ([Jones et al., 2013](#) ; [Lacombe et al., 2006](#)).

3.4.5. Simulation du scénario de BLEVE d'une sphère GPL

Pour les caractéristiques du modèle, nous considérons un volume de 100% (7170 m³) de propane (Sphère supposée pleine en attente d'expédition).

Les résultats de simulation de la boule de feu sont illustrés dans le Tableau 3.14 suivant :

Tableau 3.14.Caractéristique de boule de feu

Rayon (m)	443
Durée (s)	39
Hauteur Max (m)	887

Etant donné que le BLEVE est un phénomène transitoire (durée = 39s < 2min) et les effets thermiques transitoires se traduisent par une dose thermique exprimée en (KW/m²)^{4/3} (Jones et al., 2013). Le logiciel ALOHA montre les résultats en flux thermique KW/m², et pour adapter les seuils des doses thermiques (KW/m²)^{4/3}.s au flux (Jagger & O'Sullivan, 2004; Rajeev et al., 2019), on a utilisé la formule suivante (Dhurandher et al., 2015; Bonilla et al.,2019):

$$E = Q^n \times t \quad (3.2)$$

Donc :

$$Q = (E/t)^{1/n} \quad (3.3)$$

- **E** : est la dose thermique exprimée en KW^{4/3}/m².s ;
- **Q** : est le flux thermique reçu à l'instant t, évaluant dans le temps, exprimée en KW/m²;
- **t** : est la durée totale d'exposition au flux thermique, exprimée en seconde.
- **n = 4/3**

Tableau 3.15.Distance des seuils des effets thermiques

Seuils de dose thermique (KW/m ²) ^{4/3} .s)	Distances des effets (m)
600	2100
1000	1700
1800	1300

Les résultats cartographiques qui montrent les contours d'effets sur l'homme sont illustrés sur la carte satellite suivante :

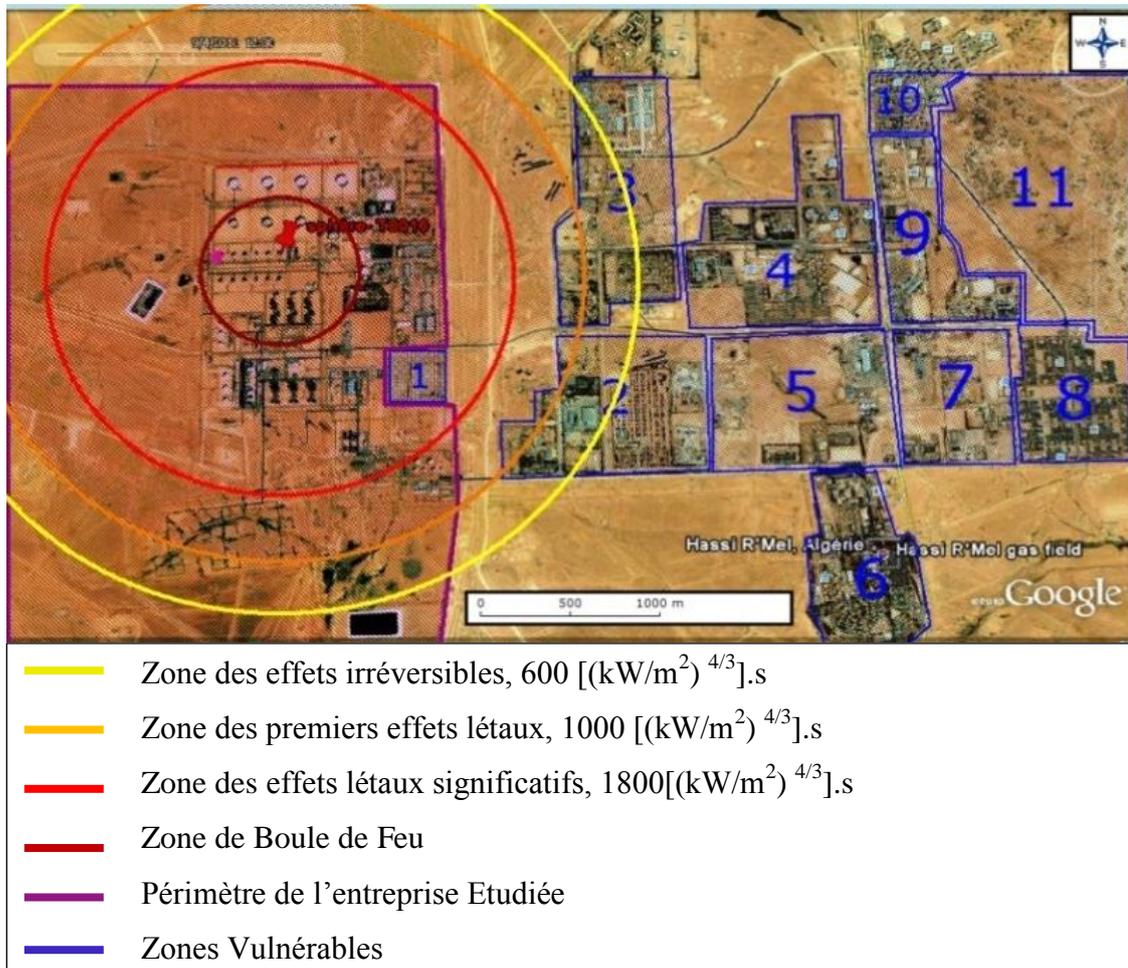


Figure 3.10. Cartographie des zones des effets thermiques et des zones vulnérables.

La cartographie d'intensité montre que les zones d'effets des doses thermiques dépassent le périmètre de l'entreprise, voir même atteindre la majorité de la zone des entreprises en voisinage au complexe petro-gazière de Hassi R'Mel. Les effets sur les structures ne sont pas considérables dans les zones de rayonnement mais, ils sont désastreux en contact direct avec la flamme de la boule de feu qui peut atteindre 450 mètres de rayon pendant une durée de 40 secondes. Les effets de surpression sur les structures sont masqués dans le rayon de boule de feu ([Hassani et Hadeff, 2011](#)).

3.4.6. Identification des cibles touchées

La collection des informations concernant la population et les établissements en voisinage a été très difficile à cause de la confidentialité des informations. Ces dernières sont regroupées approximativement pour compléter l'étude.

En retour à la cartographie d'intensité, les cibles touchées sont sélectionnées suivant la check-list proposée.

Tableau 3.16. Identification des cibles touchées par le phénomène étudié

N°	Type de Cible	Existence (Oui/Non)	Obs.
I	Vulnérabilité Humaine		
C1	Travailleurs de l'entreprise	Oui	Zone 0 (750 personnes)
C2	Travailleurs d'autres entreprises en voisinage	Oui	Zones 1,2 et 3 (589 personnes)
C3	Population	Oui	Les établissements dans les zones 2 et 3 sont recevant de public
II	Vulnérabilité Fonctionnelle		
C7	Fonction de protection	Oui	Présence des forces d'intervention dans la zone 0 touchées par la flamme de la boule de feu
C8	Fonction d'approvisionnement	Oui	Zone 0, 1, 2 et 3 (Approvisionnement d'électricité, gaz et carburants)
V	Vulnérabilité socio-économique à haut niveau (national ou international)		
C15	Economie Nationale ou Internationale	Oui	Fourniture de gaz des autre pays (contras économiques)
C17	Approvisionnement Nationale ou Internationale	Oui	Grande partie de la production nationale de brute, de gaz naturel et de GPL

3.4.7. Analyse et évaluation de la vulnérabilité

Le tableau suivant présente l'étape d'analyse et estimation de la vulnérabilité (Intensité/Sensibilité) des cibles touchées.

Tableau 3.17. Analyse et Evaluation de Vulnérabilité des cibles touchées.

La zone d'étude : Centre de stockage et transfère facile L'entreprise : SONATRACH-DP-HRM Type d'activité : Production, Stockage et distribution des Hydrocarbures Installation étudiée : Sphère de Stockage GPL Date : 15/02/2020									
N	scénario	Type des effets	Zones des effets (kW/m ²) ^{4/3} .s	Les cibles touchées		Niveau de Sensibilité S	Niveau d'Intensité I	Niveau de Vulnérabilité V	
1	B L E V E	Thermique	Boole de feu (Flamme)	Travailleurs d'entreprise de source d'accident	C1	2	4	8	VS
2				Les équipes d'intervention dans la zone 0	C1	1	4	4	VM
3				Fonction de protection (Présence des forces d'intervention dans la zone 0 touchées par la flamme de la boule de feu)	C7	3	4	12	VE
4				Approvisionnement local de gaz, électricité et carburants	C8	3	4	12	VE
5				Economie national (rupture des contrats dans la perturbation de fourniture de gaz)	C15	4	4	16	VE
6				Approvisionnement national et international (dégâts dans la zone de stockage et les Modules de Traitement avec un arrêt d'exploitation)	C17	4	4	16	VE
7			>1800	Travailleurs d'entreprise de source d'accident Z0	C1	2	4	8	VS
8				Travailleurs d'autre entreprise Z1	C2	3	4	12	VE
9			< 1800 et > 1000	Travailleurs d'entreprise extérieurs Z1 & Z2	C2	3	3	9	VE
10				Population visiteurs des entreprises dans les zones 2 & 3	C3	3	3	9	VE
11			<1000 et > 600	Travailleurs d'entreprise extérieurs Z1 & Z2	C2	3	2	6	VS
12				Population visiteurs des entreprises dans les zones 2&3	C3	3	2	6	VS
13			< 600	Travailleurs d'entreprise extérieurs et population dans les zones 4, 5 et 6	C2& C3	3	1	3	VM

Sensibilité	SE	4				C15, C17	
	SS	3	C2, C3	C2, C3	C2,C3	C7, C8, C2	
	SM	2				C1	
	SF	1				C1	
		0	1	2	3	4	
			IF	IM	IS	IE	
			Intensité				

Figure 3.11. Classement des cibles touché dans la matrice de Vulnérabilité

Dans la matrice d'évaluation de la vulnérabilité, il est observable qu'il y a six (06) types de cibles dans le niveau de vulnérabilité élevée (VE) avec trois (03) dans la vulnérabilité significative (VS) et une moyenne (VM).

Suivants ces résultats, la vulnérabilité est très importante face au risque de BLEVE de la sphère GPL dans la zone de stockage et de transfère CSTF : la nécessité de réduction de vulnérabilité s'impose.

3.5. Conclusion

Les activités sur un site industriel génèrent des risques qui se retrouvent sous le vocable de « risques industriels ». Ces derniers sont la conséquence du fonctionnement habituel de l'entreprise à ne pas sous-estimer : leur gestion s'impose. Généralement, ces risques se caractérisent par de nombreuses victimes, un coût important de dégâts matériels et des impacts sur les riverains et l'environnement. De ce fait, l'analyse et l'évaluation de la vulnérabilité dans de telle situation sont des étapes indispensables pour faire une analyse et une évaluation efficaces des risques industriels majeurs.

L'identification de la vulnérabilité donne une vue exploratoire « une cartographie » sur les cibles touchées par un risque industriel majeur.

L'évaluation de la vulnérabilité fournit une vue décisionnelle pour l'estimation et la classification de vulnérabilité des cibles dans une approche semi-quantitative.

L'approche semi-quantitative d'évaluation de vulnérabilité garantit une analyse raisonnable et facile à comprendre sans utilisation des formules mathématiques complexes avec de coefficients proposées théoriquement et injustifiable expérimentalement.

L'approche proposée dans cette recherche est basé sur des données disponibles et identifiables d'une part et d'autre part sur l'enchaînement logique des étapes de l'approche qui peut aider à persuader le décideur que les résultats obtenus sont basés sur une base réaliste qui rend sa décision aussi efficace que possible, Ce dernier ne peut pas faire confiance à des démarches qu'il ne peut pas les comprendre à son niveau.

Les résultats d'évaluation de la vulnérabilité du cas étudié, montrent qu'il y a six (06) types des cibles dans le niveau de vulnérabilité élevée (VE) avec trois (03) dans la vulnérabilité significative (VS) et moyennes (VM).

En conséquence, nous concluons que la vulnérabilité est très importante face au risque de BLEVE de la sphère GPL dans la zone de stockage et de transfert CSTF : la nécessité de la réduction de la vulnérabilité s'impose.

Chapitre 04

REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU RISQUE INDUSTRIELS MAJEUR

4.1. Introduction

La prévention des risques majeurs regroupe l'ensemble des dispositions à mettre en œuvre pour réduire l'impact d'un phénomène naturel ou anthropique prévisible sur les personnes et les biens. Elle s'inscrit dans une logique de développement durable.

Les mesures de réduction de la vulnérabilité sur les bâti et installations industrielles à haut risque déjà existantes et les agglomérations en voisinages, également appelées mesures de mitigation et adaptation, sont des mesures obligatoires et recommandées incluses dans le plan de prévention des risques industriels majeurs de l'entreprise qui ont pour but de limiter les dégâts humains, matériels et environnementaux dans le cas d'un tel phénomène, objectif de notre étude, voire prendre des mesures de précaution pour diminuer les dommages et les rendre plus supportables par la société. C'est une démarche préventive visant à réduire d'une part la vulnérabilité des enjeux et d'autre part l'intensité de l'aléa de l'accident majeur.

La vulnérabilité d'une zone ou d'un point donné est l'appréciation de la sensibilité des éléments vulnérables présents dans la zone à un type d'effet donné. Nous suggérons d'y méditer sérieusement, et avant la survenance d'incidents, il y va de la pérennité de nos entreprises stratégiques et de la protection de nos installations, de notre population et de notre économie nationale.

Dans ce chapitre, nous allons proposer des mesure de mitigation pour réduire l'intensité et des autres mesures d'adaptation pour diminuer la sensibilité des cibles, ces mesures doit appliquer sur le système étudié dans le chapitre précédent.

La validation de l'efficacité de la réduction de la vulnérabilité va être par l'application de la 2^{ème} partie de la méthode VAMIR qui consiste sur la réduction et la réévaluation de la vulnérabilité des risques industriels majeurs.

4.2. Réduction de la vulnérabilité

Comme il est montré dans le troisième chapitre, l'évaluation de la vulnérabilité est basée principalement sur deux facteurs importants : l'intensité des effets et la sensibilité des cibles probablement touchées. La réduction de la vulnérabilité aussi, va être basée sur ces deux paramètres par la mitigation dans le facteur d'intensité et l'adaptation dans la sensibilité.

4.2.1. Réduction de l'intensité des effets (Mitigation)

Au départ, il est notable que le niveau d'intensité du scénario étudié est très élevé à cause de la quantité de la matière dangereuse (GPL) stockée dans un seul récipient (7170m³).

Afin de réduire cette intensité, nous avons réalisé des simulations à différentes quantités stockées (0 à 100% ou de 0 à 7170 m³) par le même outil utilisé dans l'étape précédente.

Dans ce travail, on a fait 100 simulations de BLEVE d'une sphère GPL avec l'enregistrement des résultats des effets thermiques seuls, parce que les zones des effets de surpression sont toujours inférieures aux zones des effets thermique ([Heudier et Proust, 2017](#)). De plus, ALLOHA et pour le même raison ne simule pas les effets de surpression ([Jones et al., 2013](#)).

Les simulations ont été faites a pour objet de déterminer le volume correspondant à une intensité ne dépassant pas le périmètre de l'entreprise en cas d'accident.

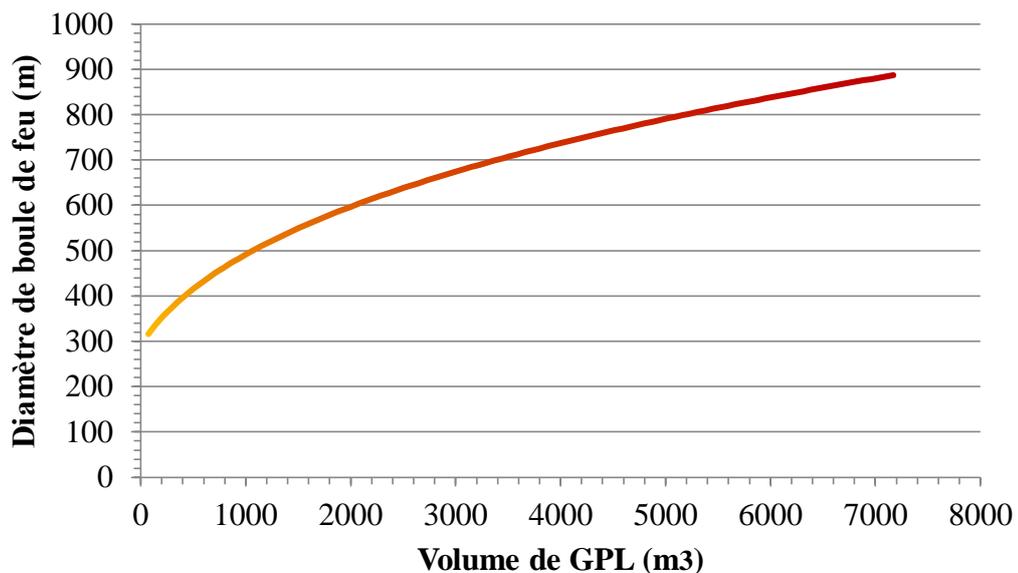
L'analyse des données de cette recherche est quantitative, les unités de mesures sont le volume (soit par le pourcentage % ou par la quantité en m³), la durée d'exposition (s) et les distances des effets thermiques. Tous les paramètres (location, météo, échange d'air, matière...) ont été fixés sauf le volume qui a été variable.

En premier lieu, on a déterminé les caractéristiques (diamètre & durée) de boule de feu (Tableau 4.1, Figure 4.1 et Figure 4.2). Ces derniers démontrent que le phénomène BLEVE est transitoire, parce que la durée maximale de la boule de feu à volume de 7170 m³ n'arrive pas à 39 secondes, alors elle est inférieure à 2 minutes.

Tableau 4.1. Caractéristiques de boule de feu suivant le volume et le taux de remplissage.

Taux de remplissage (%)	Volume (m ³)	Diamètre de boule de feu (m)	Durée de boule de feu (s)
1	71,7	316	18
10	717	452	24
20	1434	542	27
30	2151	610	30
40	2868	665	32
50	3585	712	33
60	4302	754	35
70	5019	792	36
80	5736	826	37
90	6453	858	38
100	7170	887	39

Le tableau 4.1 présente la variance des caractéristiques de boule de feu (Diamètre & Durée) par rapport au volume ou taux de remplissage, il est notable que la durée de boule de feu est variée entre 18 et 39 secondes. Ce qui prouve que le BLEVE est un phénomène transitoire. On observe aussi que le diamètre de boule de feu est très important et atteint respectivement 316 mètres dans le moindre volume (1%) et 887 m dans le cas de remplissage total (100%) de la sphère.

**Figure 4.1.** Courbe de diamètre de Boule de Feu/ Volume de Sphère GPL

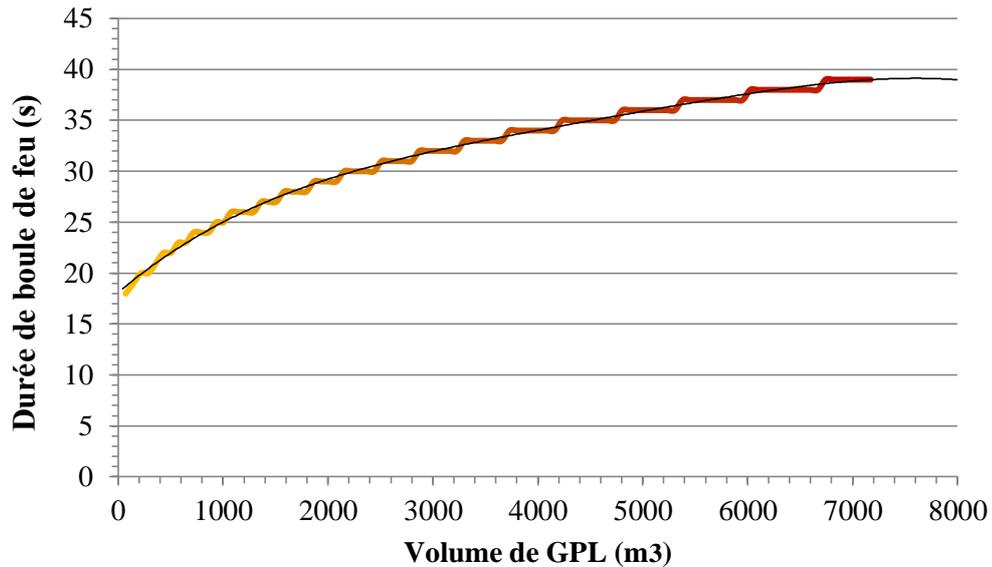


Figure 4.2. Courbe de Durée de Boule de Feu/ Volume de Sphère GPL

Les deux courbes (Figure 4.1 et Figure 4.2) présentent les allures de l'accroissement de la durée et du diamètre de la boule de feu par rapport au volume ou au taux de remplissage de la sphère. Nous constatons que la boule de feu peut atteindre un diamètre de 900 mètres, cette zone représente une menace de mortalité totale de 100% pour l'homme.

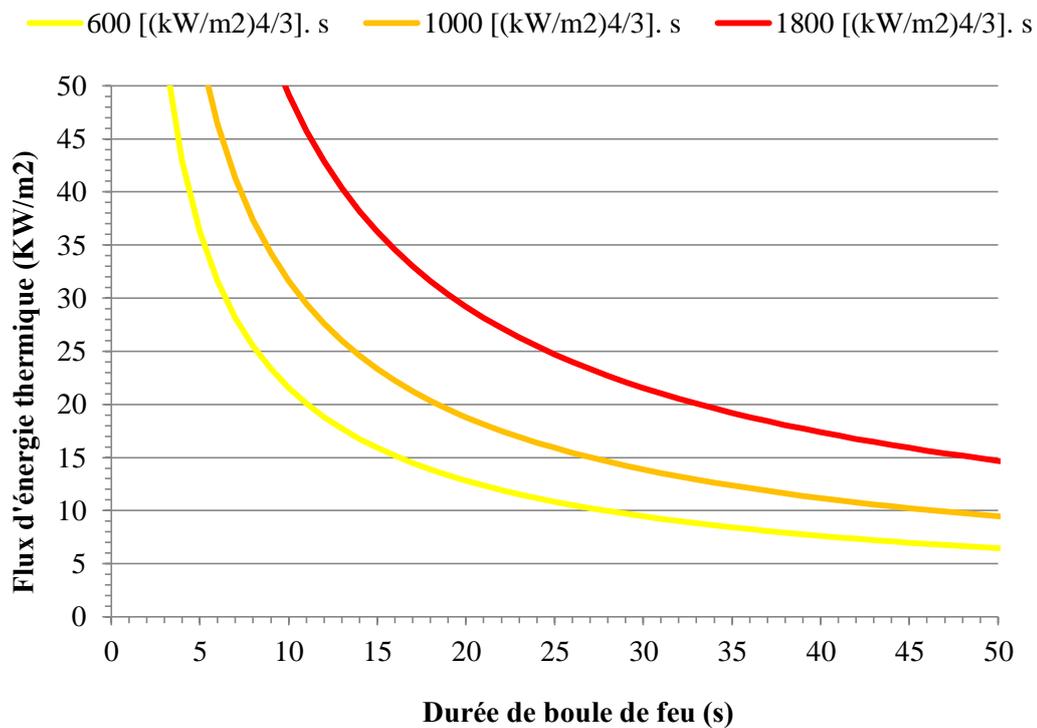
L'allure de la courbe de diamètre peut être utilisée comme outil d'aide à la conception des installations et des bâtis vulnérables tels que les salles de control. Comme elle peut être utilisée dans la réalisation des plans d'attaques en cas d'incendie ou d'explosion.

L'utilisation de l'équation $Q = (E/t)^{1/n}$

(3.3) et les durées de boule de feu trouvées précédemment avec la conversion des doses thermiques en $(KW/m^2)^{4/3} \cdot s$ en flux thermiques en utilisant le logiciel Excel nous a permis de tracer les courbes des Doses Thermiques de référence (Flux/Durée). Les résultats sont résumés dans le Tableau 4.2 et représentés dans la Figure 4.3

Tableau 4.2. Flux thermiques équivalents aux seuils de référence des doses thermiques.

Taux de remplissage (%)	Durée de boule de feu (s)	Flux thermique en (KW/m ²) équivalent de la dose :		
		600 (KW/m ²) ^{4/3} .s	1000 (KW/m ²) ^{4/3} .s	1800 (KW/m ²) ^{4/3} .s
1	18	13,873	20,349	31,623
10	24	11,180	16,400	25,486
20	27	10,235	15,013	23,331
30	30	9,457	13,873	21,558
40	32	9,011	13,217	20,540
50	33	8,805	12,916	20,071
60	35	8,425	12,358	19,205
70	36	8,249	12,100	18,803
80	37	8,081	11,854	18,421
90	39	7,768	11,395	17,707
100	39	7,768	11,395	17,707

**Figure 4.3.** Courbes des Doses Thermiques de référence (Flux/Durée)

La courbe de la figure 4.3 montre que l'homme peut résister plus à l'intensité du flux thermique dès que la durée de boule de feu est plus courte et la zone des effets irréversibles peut accéder la 36 KW/m^2 pendant une durée d'exposition de 5 secondes.

Après l'insertion des flux thermiques équivalents aux doses thermiques de référence de chaque capacité de volume allant de 1 à 100%, le logiciel de simulation ALOHA nous a fournis les résultats résumés dans le Tableau 4.3 et représenté dans la Figure 4.4 et la Figure 4.5.

Tableau 4.3. Distances des effets thermiques par rapport au volume ou taux de remplissage.

Taux de remplissage (%)	Volume (m ³)	Distance d'effet thermique (m) à		
		600 (KW/m ²) ^{4/3} .s	1000 (KW/m ²) ^{4/3} .s	1800 (KW/m ²) ^{4/3} .s
1	71,7	585	477	371
10	717	919	753	590
20	1434	1100	938	738
30	2151	1300	1100	862
39	2796,3	1500	1200	941
40	2868	1500	1200	961
50	3585	1600	1300	1000
60	4302	1700	1400	1100
70	5019	1800	1500	1200
80	5736	1900	1600	1300
90	6453	2000	1700	1300
100	7170	2100	1700	1400

Les résultats de simulations ont montrés que les distances des effets thermiques sont importantes et peuvent atteindre un rayon de 2100 mètres présentant des effets irréversibles sur l'être humain. Cela peut atteindre plusieurs zones vulnérables (routes, autres usines, résidences des ouvriers, station publique des carburant ...). De même, il est observable que pour des capacités de volume minimal de la sphère (environ 1%) les distance des effets irréversibles sur l'homme sont importante (environ de 600 mètres)

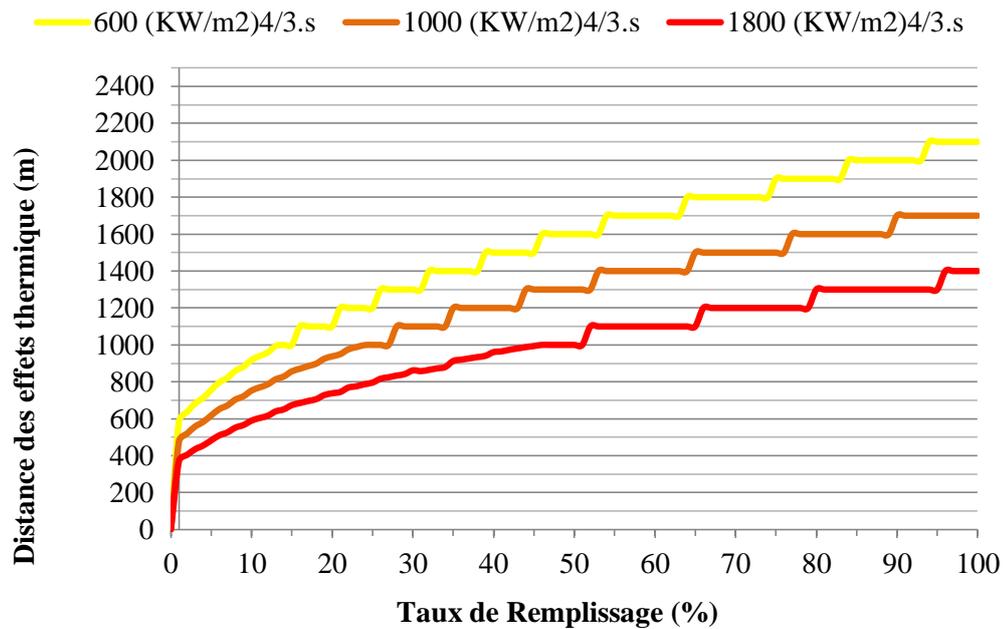


Figure 4.4. Distances des effets thermiques par rapport au taux de remplissage.

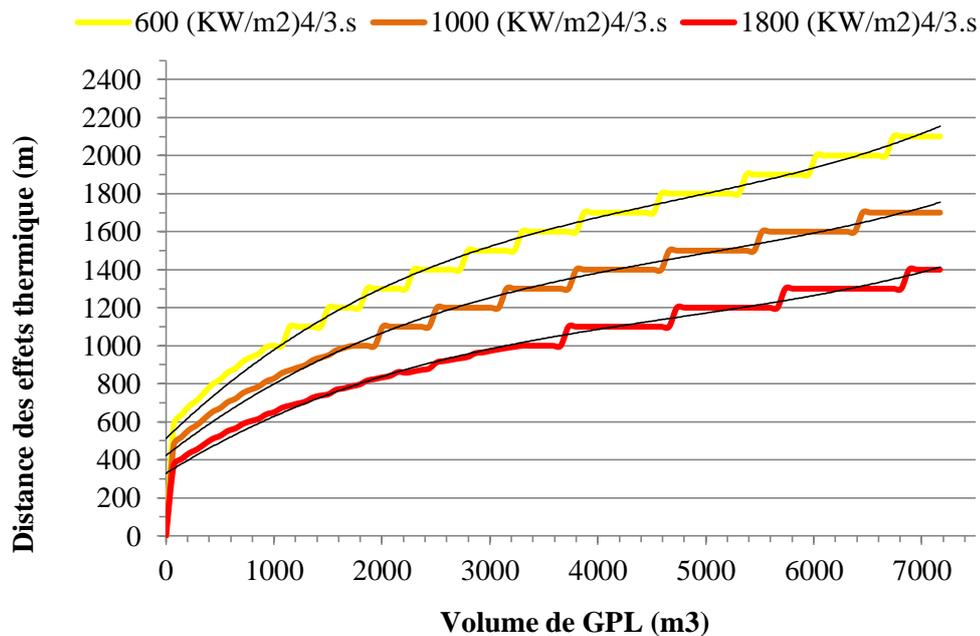


Figure 4.5. Distances des effets thermiques par rapport au volume de GPL

Les courbes représentées dans les figures 4.4 et 4.5 montrent l'allure des effets thermiques par rapport au volume de GPL dans une sphère de stockage à une capacité maximale de 7170 m³. Ces courbes expérimentales (Volume/Distance d'effet) peuvent être utilisées par les autorités comme une référence pour prendre les décisions et l'orientation des entrepreneurs d'industrie pétrolière dans la procédure d'autorisation d'exploitation des installations classées (ICPE) suivant la loi 04/20 et le Décret Exécutif 06/198. D'autre part,

l'entreprise peut les utiliser dans la conception des installations et dans la réalisation des plans de prévention (Hassani et al., 2018) et d'intervention en cas d'incendie ou d'explosion. L'intérêt de ces courbes est l'exhaustivité de toutes les situations de la sphère remplie par un volume de GPL de 1 à 100%, vu que les études de danger réalisées prennent seulement le cas de remplissage à 100%.

Les résultats des essais de simulation nous ont permis de tracer une cartographie de risque des cas les plus remarquables (Intensité/Vulnérabilité) du BLEVE de la sphère GPL, à savoir :

Dans le premier cas où la capacité de remplissage est de 100%, on observe que les trois zones des effets thermiques (Figure 4.6) dépassent le périmètre de l'entreprise et touchent la zone vulnérable (route publique communale, autres usines, base de vie, station publique des carburants ...).

Dans ce cas, l'entreprise est concernée par l'autorisation d'exploitation vue qu'elle sera interpellée face aux obligations réglementaires de réduction de risque et de coordination avec les autorités locales (Plan particulier d'intervention PPI et plan d'organisation des secours ORSEC), ainsi qu'envers les autres entreprises (plan d'aide mutuelle PAM) et le public concerné (par l'information, la sensibilisation et la concertation).

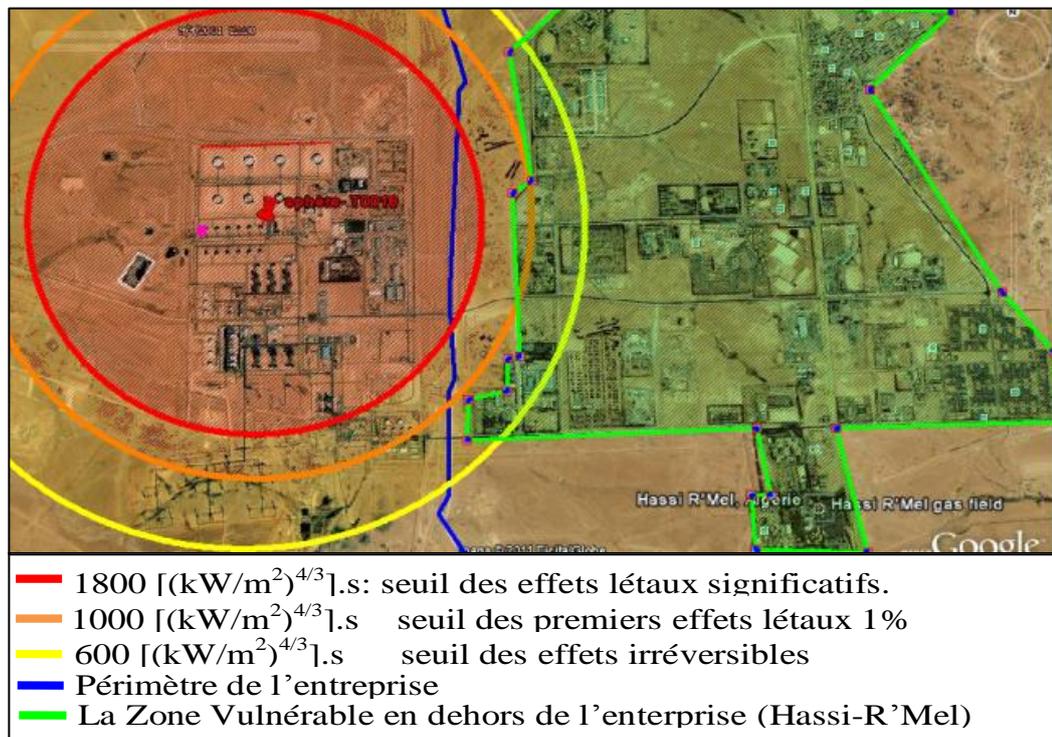


Figure 4.6. Zones des effets thermiques sur l'homme à 100% de volume

Dans le deuxième cas, où la capacité de la sphère est de 39%. Dans de telle situation, on constate que les effets ont dépassés le périmètre de l'entreprise mais n'ont pas touchés la zone vulnérable excepté la route publique communale située à 1547 m de la source (Figure 4.7). En conséquence, le volume ne doit pas dépasser 2800 m^3 pour éviter de toucher le premier point vulnérable en dehors du complexe industriel et limiter le périmètre à l'intérieur du complexe, objectif de notre étude.

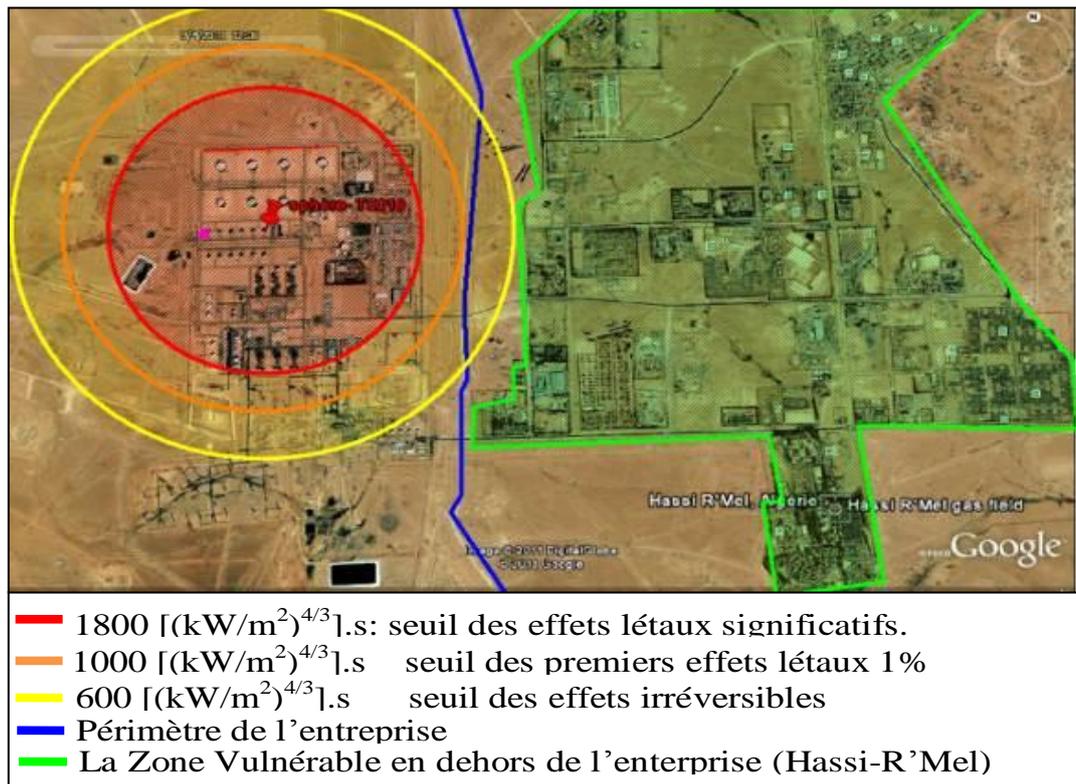


Figure 4.7. Zones des effets thermiques sur l'homme à 39% de volume

Par la projection aux courbes, le cas plausible à retenir pour éviter tous points vulnérables en dehors du périmètre de l'entreprise est un volume maximal ne dépasse pas le taux de remplissage 21% (1500 m^3), correspondant à une distance aux alentours de 1200 m à partir de la source d'accident. Résultat en faveur de la confirmation faite par les agents de service de sécurité et d'exploitation de l'entreprise qu'ils ont une note administrative de ne pas dépasser le taux de remplissage de 20% pour les sphères GPL.

De ce fait, l'entreprise a besoin de faire seulement ces propres plans (Plan de prévention et plan d'Intervention Interne PII).

Les caractéristiques de boule de feu d'un BLEVE de la sphère GPL avec un remplissage de 21% sont illustrées dans le Tableau 4.4

Tableau 4.4. Caractéristique de boule de feu de 21% de remplissage

Rayon (m)	275
Durée (s)	27
Hauteur Max (m)	550

Le Tableau 4.5 montre les distances des effets thermiques du même phénomène avec un remplissage de 21%.

Tableau 4.5. Distance des seuils des effets thermiques de 21% de remplissage

Seuils de dose thermique ((KW/m ²) ^{4/3} .s)	Distances des effets (m)
600	1200
1000	950
1800	745

La simulation avec le volume de remplissage de 21% montre que tous les paramètres vont diminuer, à savoir :

- La durée d'exposition (de 39 à 27 secondes) ;
- Le rayon de boule de feu (de 450 à 275m) ;
- Les distances des effets thermiques sont limitées à moitié par rapport au volume de 100%.

Le résultat cartographique qui montre les contours d'effets sur l'homme sont illustrés sur la carte satellite suivante :

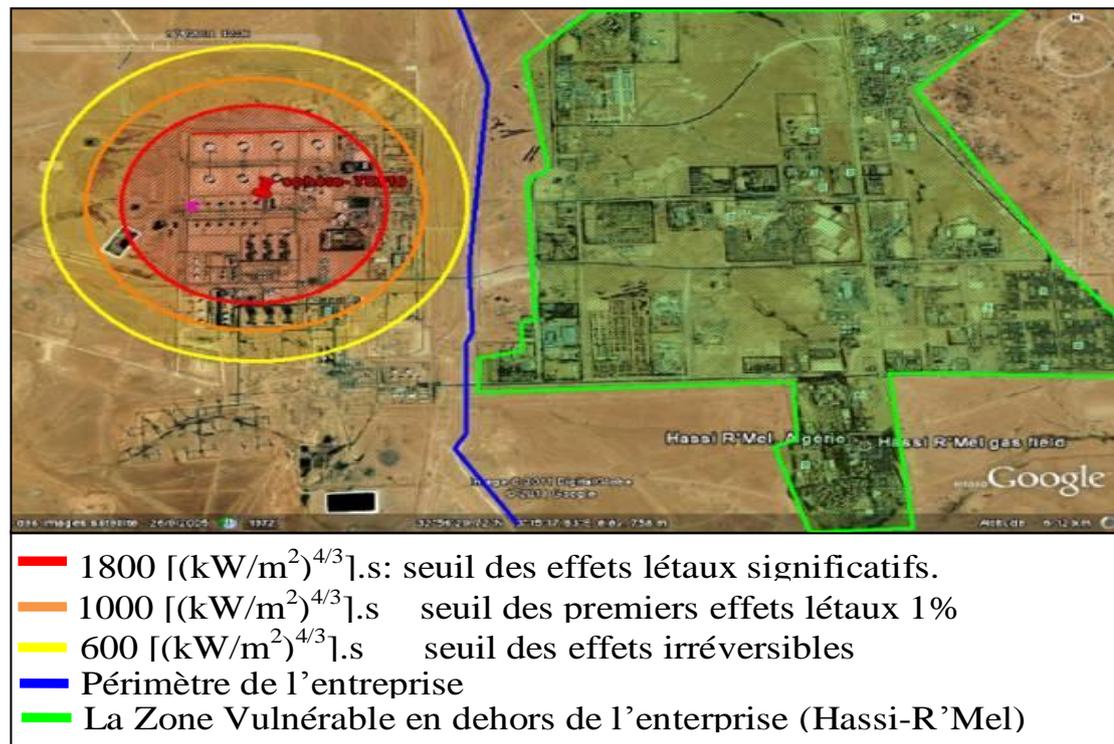


Figure 4.8. Zones des effets thermiques sur l'homme à 21% de volume

Dans ce cas, il est observable que les distances des effets thermiques ont diminuées de manière claire par rapport au cas de remplissage de 100%. La cartographie précédente démontre que les effets ne touchent pas les zones vulnérables à l'extérieur de l'entreprise source sauf la zone 01 qui est présentée dans le rayon des effets irréversibles. De plus, la boule de feu est réduite où elle est devenue moins importante et peut toucher seulement une partie du CSTF et une partie du module de traitement N° 04 et n'arrive pas à la zone des forces d'intervention comme elle était dans le cas précédent.

Nous confirmons par ces résultats que le volume est un paramètre important influant sur le niveau d'intensité des effets du phénomène et cela a été prouvé dans nos études comparatives entre les résultats de capacité de 100% et 21%.

4.2.2. Réduction de la sensibilité des cibles (Adaptation)

Suite à la réduction des zones d'intensité, des précautions d'adaptation vont être établit dans les zones qui restent touchées. Nous proposons les mesures d'adaptation suivantes :

4.2.2.1. Zones et locaux de refuge

En fonction du sinistre et de la zone d'exposition de l'entreprise, il peut être envisagé que les personnes sortent des bâtiments par la face non exposée aux effets et s'abritent dans une zone refuge. ([AMARIS & INERIS, 2017](#))

Cette mesure est envisageable uniquement pour les effets thermiques continus (intensité allant jusqu'à 8 kW/m^2) et pour les effets de surpression dont l'intensité ne dépasse pas 50 mbar. Dans ce dernier cas, la zone refuge doit être située à distance raisonnable des bâtiments afin de limiter l'exposition à l'envol d'éventuels éléments de structure des bâtiments.

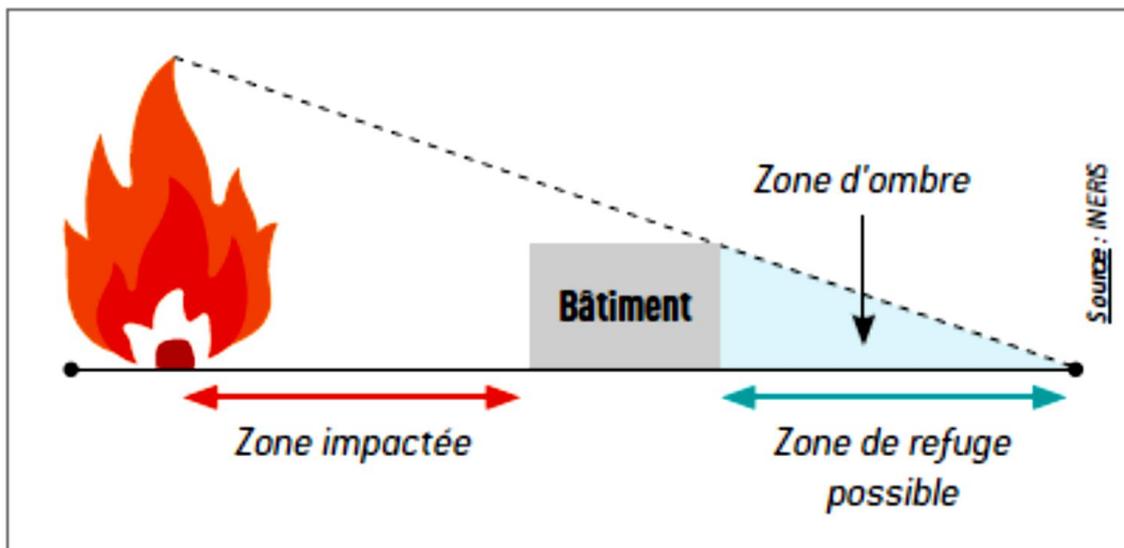


Figure 4.9. Zone refuge dans le cas des effets thermiques continus (intensité allant jusqu'à 8 kW/m^2) ([AMARIS & INERIS, 2017](#))

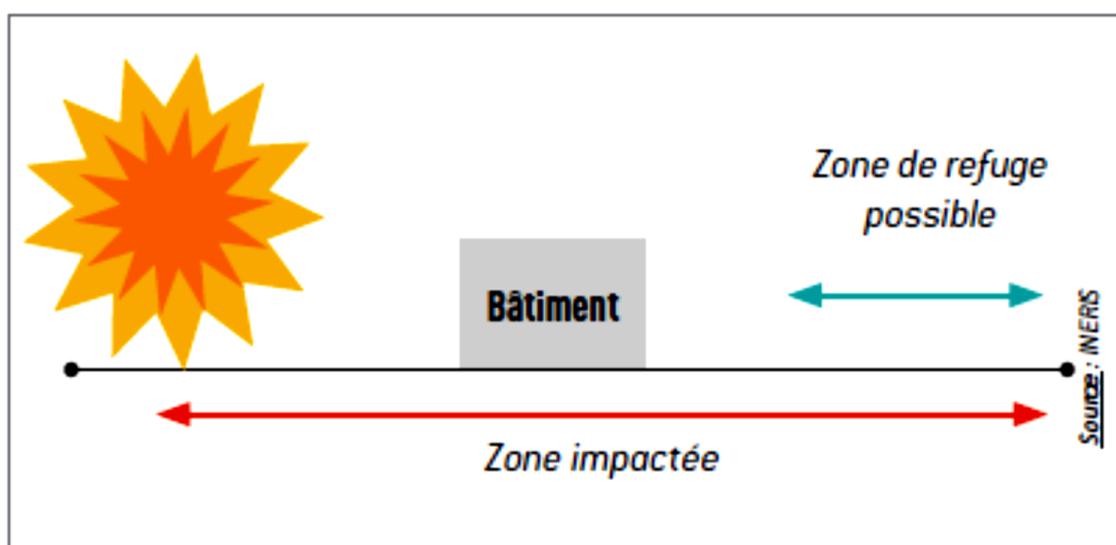


Figure 4.10. Zone refuge dans le cas des effets de surpression (intensité allant jusqu'à 50 mbar) ([AMARIS & INERIS, 2017](#))

Dans le cas étudié, nous proposons la construction de locaux de refuges derrière les bâtiments existants dans les faces non exposées aux effets (Figure 4.9 et Figure 4.10). Afin d'assurer une bonne protection, ces derniers doivent être au sous-sol et ayant des caractéristiques de haute résistance aux effets de surpression et aux thermiques.

4.2.2.2. Dispositions générales relatives au local de refuge ou de protection

Les dispositions générales du local de protection relativement :

- au choix du local ;
- aux équipements et matériels à prévoir ;
- aux mesures comportementales ;
- à la pérennité de ce local dans le temps.

Ces dispositions s'appliquent quels que soient les aléas qui peuvent toucher le local de refuge ou de protection.

a. Choisir le local de refuge

Le local de refuge doit pouvoir accueillir toutes les personnes présentes dans l'entreprise (salariés, sous-traitants, clients éventuels, visiteurs, etc.). Il faut également comptabiliser le public éventuel dans le nombre de personnes à confiner.

Il est recommandé de prévoir entre 1,5 m² et 3,6 m³ par personne. Le minimum à prévoir est entre 1 m² et 2,5 m³ par personne.

Pour les entreprises comprenant plusieurs bâtiments, l'idéal est de prévoir au moins un local de protection par bâtiment, dimensionné pour abriter toutes les personnes comptabilisées dans chacun des bâtiments. Pour les bâtiments de grande taille, le nombre de locaux de protection doit être minimal pour une bonne organisation de crise, mais suffisant pour que les personnes devant s'y abriter puissent atteindre le local dans un délai raisonnable.

Dans la mesure du possible, le local de protection devra être « abrité du site industriel », c'est-à-dire situé sur une façade extérieure opposée à la source de danger (non exposée au site industriel). En effet, les volumes du bâtiment situés autour du local de protection jouent un rôle « tampon » qui diminue les effets des phénomènes dangereux.

Si le bâtiment recouvre plusieurs zones d'effet, le local de protection devra être situé

dans la zone d'aléa la plus faible (façade non exposée).

b. Équipements et matériels à prévoir

Le temps de séjour dans le local de protection pouvant être long, lorsque cela est possible, il est intéressant de prévoir des sanitaires dans le local ou dans une pièce attenante au local (avec accès direct).

Le confort des personnes peut être sensiblement amélioré par l'installation d'un point d'eau potable dans le local de protection (robinet parfaitement accessible associé à un évier ou un lavabo). Cette disposition ne se substitue pas au stockage permanent d'eau en bouteilles. Ce point d'eau peut être installé dans les sanitaires, si ceux-ci sont attenants au local de protection.

La pièce ne doit pas contenir d'appareil à combustion (consommation trop importante de l'oxygène de l'air et risque d'asphyxie).

Le local de protection doit contenir du matériel, qui servira à confiner la pièce, alerter les secours, assurer le confort des occupants pendant la phase de confinement de 2 heures et préparer l'après crise. Une liste non exhaustive est donnée ci-dessous :

- du ruban adhésif large pour renforcer l'isolation des ouvertures (grilles et bouches d'air, joint des ouvrants de fenêtres et portes),
- escabeau, marchepieds, pour faciliter le colmatage manuel complémentaire (ces 2 matériels sont à prévoir uniquement pour le risque toxique) ;
- un stock de bouteilles d'eau, ainsi que des gobelets ;
- une trousse de soin (pansements, linges, paracétamol, désinfectant, couvertures, médicaments ou traitements utiles aux personnes présentes dans le local...) ;
- un classeur de crise (numéro à appeler en cas d'urgence, fiches réflexes...) ;
- un poste de radio à piles pour suivre l'évolution des événements (avec des piles de rechange) ;
- une fiche consigne précisant les actions à mener avant, pendant et après l'alerte, ainsi que les actions de maintenance.

Selon la configuration du local de protection, on peut aussi envisager de disposer de lampe torche, de talkie-walkie, etc.

Si l'entreprise dispose de plusieurs locaux de protection, chacun d'entre eux doit être équipé intégralement.

c. Mesures comportementales

Le local de protection sera d'autant plus efficace qu'il est bien utilisé. Il est nécessaire que tous les occupants d'un même bâtiment connaissent parfaitement les règles de sécurité et fiches de consignes et la façon de se comporter en cas de crise et les réflexes à avoir (ne pas téléphoner afin de libérer les lignes de communications, ne pas fumer, écouter la radio, etc.).

La protection passe par l'appropriation du dispositif, aussi il est utile de proposer aux occupants de revoir régulièrement les fiches de consignes, et de faire des exercices de simulation.

d. Pérennité du local de protection

La sécurité des occupants passe par la tenue et l'efficacité dans le temps du dispositif de protection. Il convient de :

- veiller à la conservation du niveau de performance du local de protection (lors de travaux par exemple) ;
- vérifier régulièrement le bon état du local et des équipements associés ;
- ne pas encombrer la pièce ;
- renouveler le matériel à prévoir dans la pièce.

4.2.2.3. Identification et accessibilité des locaux de protection ou zones de refuge

Pour faciliter la mise à l'abri, le local, la zone de refuge ou le chemin d'évacuation doit être facilement reconnaissable et accessible à tous, quel que soit le public concerné.

En fonction de leur niveau d'information, on distingue deux cas :

- les personnes connaissent le chemin vers le local ou la zone de refuge, le chemin d'évacuation ;
- les personnes ne connaissent pas le chemin vers le local ou la zone de refuge, le chemin d'évacuation.

Dans ce second cas, plusieurs solutions sont envisageables pour guider les personnes

vers le local de protection/la zone de refuge ou le chemin d'évacuation :

- Le public peut être pris en charge par du personnel formé présent en nombre suffisant ;
- Une signalisation permet de guider les personnes jusqu'au local, la zone refuge, ou le chemin d'évacuation. Celle-ci doit respecter les critères suivants :
 - ✓ être distincte de la signalisation incendie ;
 - ✓ être visible en tout lieu de l'établissement ;
 - ✓ être adaptée aux personnes présentes (handicap sensoriel) ;
 - ✓ être fiable, même en cas d'accident (coupure d'électricité).
- Tout autre moyen adapté, développé au cas par cas (par exemple : hauts parleurs, signaux visuels, etc.).



Figure 4.11. Exemples des pictogrammes des zones de rassemblement et de refuge ([AMARIS & INERIS, 2017](#))

Ces mesures peuvent être mises en place de façon indépendante ou combinée, afin de s'adapter au contexte particulier de l'établissement.

Dans tous les cas, le local (ou la zone refuge) doit être facilement reconnaissable et clairement identifié.

4.2.2.4. Barrières techniques au niveau des entreprises

La mise en place de barrières techniques peut être une méthode efficace face à tous types d'aléas, sous condition d'un dimensionnement adéquat.

Tableau 4.6. Efficacité des barrières technique dans tous les types des effets.

Type des effets	Immédiat	Temporisé	Retardé
Effets thermiques	X	X	X
Effets de surpression	X	X	X
Effets toxiques	X	X	X

Compte tenu des difficultés potentielles de dimensionnement des barrières actives (de type rideau d'eau) pouvant réduire ou éliminer les effets au niveau des installations de l'entreprise riveraine, le parti a été pris de ne se focaliser que sur les barrières techniques passives (murs, merlons, etc.).

4.2.2.5. Barrières techniques pour se protéger des effets thermiques

Que le phénomène dangereux soit continu ou transitoire, la barrière technique devra être dimensionnée et positionnée de sorte à ce que le flux radiatif résiduel sur l'entreprise soit inférieur au seuil des effets irréversibles (3 kW/m^2 ou $600 [\text{kW/m}^2]^{4/3} \cdot \text{s}$). Elle devra être suffisamment robuste pour assurer sa fonction durant un temps proche de celui de la durée du phénomène agresseur.

Si le phénomène dangereux dure plusieurs heures, il peut être envisagé de procéder à l'évacuation des personnes avant la fin du phénomène dangereux, pour un incendie d'entrepôt par exemple.

a. Murs coupe-feu et les écrans thermiques

Les murs coupe-feu sont caractérisés par leur tenue dans le temps selon trois critères que sont par : leur Résistance (R), leur Étanchéité (E) et leur capacité d'Isolation (I) en regard d'un feu normalisé. Par exemple, un mur REI 120 devra structurellement rester en place pendant au moins 120 minutes, garantir une étanchéité aux fumées d'au moins 120 minutes, et conserver une température acceptable sur la face opposée à l'incendie pendant ces mêmes 120 minutes.

Un écran thermique, efficace pour limiter les effets radiatifs sera, quant à lui, uniquement R et E sur une durée donnée, dans la mesure où sa fonction est de s'intercaler

entre la flamme et un éventuel observateur, et ainsi le masquer des effets directs du rayonnement ([AMARIS & INERIS, 2017](#)).

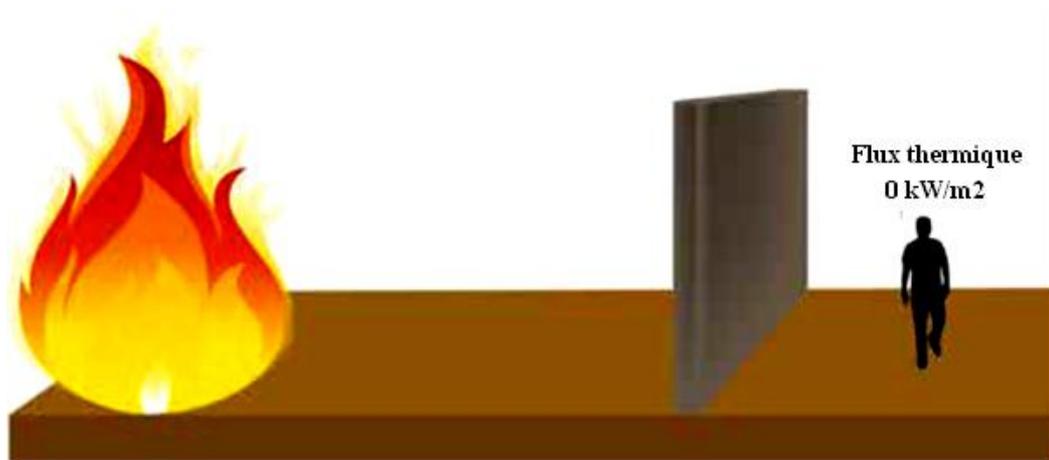


Figure 4.12. Exemple d'un mur coupe-feu ou écrans thermiques ([AMARIS & INERIS, 2017](#))

b. Merlons contre les effets thermiques

Les merlons agissent selon le même principe que les écrans thermiques. Ils sont généralement constitués d'un amas de terre de plus ou moins grande hauteur, disposé à l'extérieur du bâtiment ou de la rétention dans laquelle le feu peut potentiellement se développer. Leur hauteur est calculée en fonction des hauteurs de flamme envisagées et des enjeux à protéger.

L'inconvénient de ces dispositifs est l'importante surface au sol à dédier à leur mise en œuvre, dès lors que des hauteurs de merlon conséquentes sont nécessaires. À noter que les bonnes pratiques imposent de ne pas végétaliser les merlons, afin qu'ils ne soient pas un vecteur de propagation de l'incendie ([AMARIS & INERIS, 2017](#)).



Figure 4.13. Exemple d'un merlon contre les effets thermiques ([AMARIS & INERIS, 2017](#))

4.2.2.6. *By-pass du CSTF en cas de disfonctionnement total*

En cas d'un accident majeur au niveau de CSTF et pour assurer la continuation de l'approvisionnement national et/ou international des produits pétroliers, l'adaptation proposée est la confection de by-pass du site de stockage CSTF.

Ce by-pass doit être réalisé à pour objet de transférer les produits (GPL et de condensat) vers autres unités vers une zone sûre.

Le système proposé (by-pass) est constitué des canalisations de transfert des produits à partir des unités de traitement et de production vers les autres sites d'exploitation sans passer sur le CSTF.

Ces canalisations doivent être protégées efficacement et équipées par vannes manuelles dans des zones sûres et des autres vannes avec un contrôle à distance (dans la salle de contrôle).

4.3. Ré-identification des cibles Après la réduction de Vulnérabilité

Suite à la mise en place des mesures de mitigation (réduction des zones des effets), une autre identification des cibles touchées dans la nouvelles situation.

La cartographie (Figure 4.8) d'intensité présente les cibles touchées qui sont illustrées dans la check-list suivante :

Tableau 4.7. Identification des cibles touchées Après la réduction d'intensité

N°	Type de Cible	Existence (Oui/Non)	Obs.
I	Vulnérabilité Humaine		
C1	Travailleurs de l'entreprise	Oui	Zone 0 (750 personnes)
C2	Travailleurs d'autres entreprises en voisinage	Oui	Zones 1 (20 personnes)
V	Vulnérabilité socio-économique à haut niveau (national ou international)		
C17	Approvisionnement Nationale ou Internationale	Oui	Grande partie de la production nationale de brute, de gaz naturel et de GPL.

4.4. Réévaluation de la vulnérabilité Après la réduction

L'approche VAMIR recommande un processus de réévaluation pour valider l'efficacité des mesures de mitigation et d'adaptation mises en place.

Le Tableau 4.8 suivant présente les types des cibles touchées suivant les processus de réduction de l'intensité (mitigation) et la réduction de la sensibilité (Adaptation).

Tableau 4.8. Les cibles touchées après l'adaptation et la mitigation

N	Zones des effets (kW/m ²) ^{4/3} .s	Mitigation	Adaptation	Les cibles touchées	
1	Bole de feu (Flamme)	Réduction de volume de GPL stocké dans la sphère de 100% à 21%	Réalisation des locaux de refuge souterrains et des barrières techniques pour protéger les personnes	Travailleurs d'entreprise de source d'accident dans la Zone CSTF et le module 04	C1
2			Diminution la capacité de stockage de CSTF (transfère directement). Confection de by-pass pour transférer les produits des autres unités vers une zone sure.	Approvisionnement national et international (arrêt d'exploitation partiel et dégâts dans la zone de stockage CSTF et le Module de Traitement N° 4)	C17
3	>1800		Réalisation des locaux de refuge souterrains et des barrières techniques pour protéger les personnes	Travailleurs d'entreprise de source d'accident Z0	C1
4	< 1800 et > 1000			Travailleurs d'entreprise de source d'accident Z0	C2
5	<1000 et > 600			Travailleurs d'entreprise de source d'accident Z0	C1
6				Travailleurs d'autre entreprise Z1	C2

Le Tableau 4.9 et les matrices ci-après (Figure 4.14) montrent la réduction du niveau de la vulnérabilité suivant l'adaptation et la mitigation.

Tableau 4.9. Analyse et Evaluation de Vulnérabilité des cibles touchées après la réduction

N	Les cibles touchées		Niveau de Sensibilité S'	Niveau d'Intensité I'	Niveau de Vulnérabilité V'	
1	Travailleurs d'entreprise de source d'accident dans la Zone CSTF et le module 04	C1	1	4	4	VM
2	Approvisionnement national et international (arrêt d'exploitation partiel et dégâts dans la zone de stockage CSTF et le Module de Traitement N° 4)	C17	3	4	12	VE
3	Travailleurs d'entreprise de source d'accident Z0	C1	1	4	4	VM
4	Travailleurs d'entreprise de source d'accident Z0	C2	1	3	3	VM
5	Travailleurs d'entreprise de source d'accident Z0	C1	1	2	2	VF
6	Travailleurs d'autre entreprise Z1	C2	2	2	4	VM

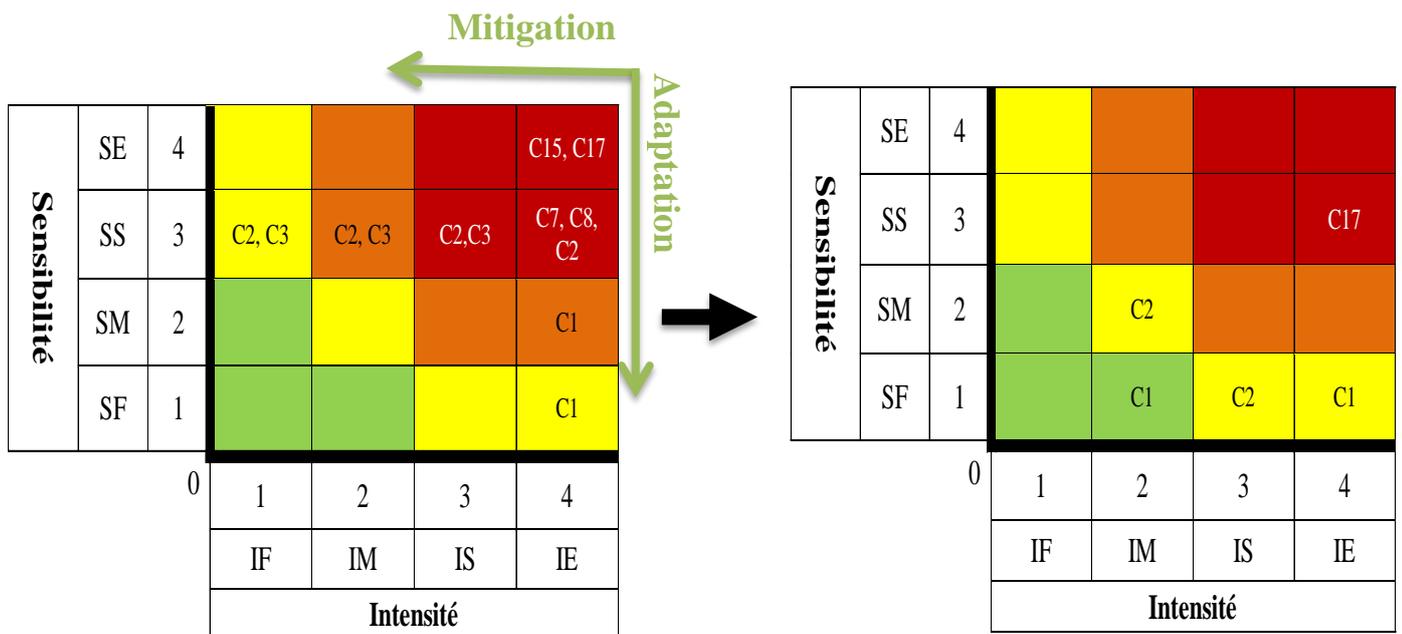


Figure 4.14. Classement de cibles touchées dans la matrice de vulnérabilité avant et après la réduction

L'analyse des cartographies (Figure 4.6 & Figure 4.8) montre que l'intensité est une fonction du volume stocké de la matière dangereuse.

La cartographie (Figure 3.10) du risque (Intensité /Vulnérabilité) montre l'utilisation de la capacité totale des sphères GPL (7170 m³) du complexe pétrolier de Hassi-R'Mel présente un risque d'accidents majeurs peut toucher 07 types des cibles vulnérable dans la zone en

danger. A cet effet, il est recommandé de limité le volume des sphères à 39% (2800 m³) pour éviter de menacer les zones vulnérable enivrantes.

Le taux de remplissage idéal des sphères pour clôturer le risque dans le périmètre de l'entreprise est de 21% (1500 m³). Par conséquent, on constate que les cibles touchées ont été réduit à trois (03) contre sept (07) lorsque le volume correspond à 100%. Ce résultat est validé par la comparaison entre les deux check-lists d'identification des cibles (Tableau 3.16 & Tableau 4.7), tout en remarquant que la mitigation représente un processus efficace pour réduire les zones des effets et leurs intensités.

Aussi, il est remarquable que la sensibilité des cibles touchées soit diminuée suite à l'étape d'adaptation par l'augmentation de la résilience des enjeux vulnérables (la zone de refuge et les barrières techniques) et les résultats montrés dans les deux tableaux (Tableau 3.17 & Tableau 4.9) présentent une grande différence entre les deux cas.

Le classement de l'intensité des effets et la sensibilité des cibles dans les deux cas de simulation à l'aide de la matrice de vulnérabilité (Figure 4.14) montre l'efficacité de la démarche dans la réduction de la vulnérabilité des enjeux face à un aléa d'un risque industriel majeur.

4.5. Conclusion

Les résultats de cette recherche montrent clairement que la réduction de l'intensité des effets (mitigation) influe directement sur la zone vulnérable menacée. L'application de la deuxième étape (limiter les matières dangereuses) de la hiérarchie de la réduction des risques industriels majeurs est effectivement très efficace pour diminuer la zone de vulnérabilité surtout dans les complexes industriels déjà existants et proches des zones d'agglomération.

Après avoir simulé le phénomène BLEVE de la sphère GPL, il est devenu évident que le paramètre de volume est le plus important dans l'évaluation de l'intensité de la boule de feu. Après la simulation du phénomène BLEVE de sphère GPL, on a découvert que le paramètre de volume est le plus important dans l'évaluation d'intensité de boule de feu.

L'utilisation des grandes capacités de stockage dans les sphères GPL (ex : 7170 m³) présente un grand risque d'accidents majeurs peut toucher les enjeux vulnérable proches. A cet effet, il est recommandé de limité le volume des sphères à 21% (1500 m³) pour éviter de

menacer les zones vulnérable enivrantes. Et pour clôturer le risque dans le périmètre de l'entreprise. Ce résultat est confirmé par la note administrative interne de l'entreprise qui limite le volume des sphères à 20%.

La cartographie de risque (Intensité/Vulnérabilité) est un outil important dans la mise en œuvre des plans de prévention et d'organisation des secours.

La réduction de la sensibilité par l'adaptation est un processus très important pour réduire la vulnérabilité des cibles menacées

Finalement, nous signalons que l'étude de risque à la conception des installations et avant la réalisation de projet est très utile pour éviter la non-conformité face aux réglementations et les courbes de cette étude peuvent être utilisées pour prendre les décisions dès la conception et à la réalisation de n'importe quel projet. Aussi, il est conseillé pour les industries à hauts risques de limiter les risques dans leurs périmètres pour éviter la responsabilité réglementaire et sociale des risques industriels majeurs. Ce qui constitue une deuxième barrière de la hiérarchie de réduction de risque (limiter).

CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

Le risque est omniprésent dans l'entreprise algérienne. Les dirigeants et leurs équipes tentent, avec plus ou moins de succès, de les intégrer et de les maîtriser dans les processus décisionnels et opérationnels. Or, comme le risque est une notion dynamique de la contingence, pour assurer sa gestion, il est important d'évaluer son niveau de gravité et d'identifier les facteurs qui peuvent augmenter ou diminuer cette gravité. De ce fait, avec le développement technologique, un nouveau problème est apparu en raison d'une large mise en œuvre des technologies. Par conséquent, l'évaluation de la vulnérabilité est une étape essentielle vers le développement d'une stratégie efficace de réduction des risques industriels. Ainsi, les installations à hauts risques doivent être exploitées dans des conditions rigoureuses de sécurité. C'est pourquoi, le devoir primordial de l'exploitant, dans les installations susceptibles d'être le siège d'un accident majeur, est de s'attacher à maîtriser ce risque. Ainsi, l'entreprise algérienne est obligée d'intégrer une stratégie de continuité dans la politique générale de l'entreprise pour déterminer le niveau de maîtrise des risques attendu permettant ainsi aux entreprises de mieux appréhender et de gérer les risques critiques qui peuvent venir affecter temporairement ou durablement leurs actifs patrimoniaux et leurs activités. En outre, il est essentiel de développer un système de sécurité claire répondant aux attentes industrielles et qui contribue à assurer la meilleure sécurité d'exploitation des installations et de l'environnement de travail.

Cependant, il faut mentionner qu'il n'y est pas de consensus entre les différents groupes de recherche du monde entier et ont des points de vue très différents sur la vulnérabilité.

Dans le contexte de management des risques industriels et technologiques, il est notable que l'analyse et l'évaluation de la vulnérabilité face à ces risques n'ont pas pris leur part d'étudier et de scruter, la preuve est que les méthodes et les guides proposées sont peu nombreuses ou parfois pas exhaustifs, ce qui rend les décideurs incapables de prendre des décisions à cet égard. A partir de ça, nous avons proposé une nouvelle méthode d'évaluation de la vulnérabilité face aux risques industriels majeurs nommée VAMIR (Vulnerability Assessment for Major Industrial Risks).

C'est une approche semi-quantitative qui garantit une analyse raisonnable et facile à comprendre sans utilisation des formules mathématiques complexes avec de coefficients proposées théoriquement et injustifiable expérimentalement.

L'approche proposée dans cette recherche est basée sur des données disponibles et identifiables d'une part et sur l'enchaînement logique des étapes de l'approche d'autre part. Cet enchaînement logique peut aider à persuader le décideur que les résultats obtenus sont basés sur une base réaliste qui rend sa décision aussi efficace que possible. Désormais, le décideur ne peut pas faire confiance à des démarches qu'il ne peut pas les comprendre à son niveau.

De plus, le tableau d'analyse de la méthode VAMIR fournis un résumé non technique facile à comprendre par les non-spécialistes et notamment par les décideurs.

Dans ce travail de recherche, une nouvelle grille d'évaluation des risques a été conçue. Ici, la matrice d'évaluation de la vulnérabilité représente une grille de classement des enjeux dans quatre catégories de vulnérabilité par la combinaison entre le niveau d'intensité des effets et le niveau de sensibilité des cibles.

L'avantage de cette démarche est que les étapes de la méthode sont faciles à maîtriser, vu que cette méthode est basée sur un enchaînement logique avec des boucles de vérification jusqu'à atteindre l'état idéal. C'est le point le plus fort de la méthode.

La méthode et même avec ces avantages reste un point de départ dans le contexte d'évaluation de la vulnérabilité face aux risques industriels majeurs. Notre perspective est de développer et enrichir la méthode par l'application dans des autre cas et autres disciplines , Cela peut aider à découvrir les limites et à les améliorer.

Annexe A- Résultats des simulations des BLEVEs de sphère GPL de Volume de 0 à 100% (7170 m³)

Taux de remplissage (%)	Volume (m ³)	Diamètre de boule de feu (m)	Durée de boule de feu (s)	Flux thermique en (KW/m ²) équivalent de la dose :								Distance d'effet thermique (m) à :		
				600 (KW/m ²)4/3.s	1000 (KW/m ²)4/3.s	1800 (KW/m ²)4/3.s	3500	2000	290	105	92	600 (KW/m ²)4/3.s	1000 (KW/m ²)4/3.s	1800 (KW/m ²)4/3.s
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	71,7	316	18	13,873	20,349	31,623	52,071	34,223	8,042	3,754	3,399	585	477	371
2	143,4	337	19	13,321	19,540	30,366	50,002	32,863	7,722	3,604	3,264	636	519	404
3	215,1	356	20	12,819	18,803	29,220	48,115	31,623	7,431	3,468	3,141	683	558	435
4	286,8	372	20	12,819	18,803	29,220	48,115	31,623	7,431	3,468	3,141	713	583	455
5	358,5	388	21	12,358	18,127	28,170	46,386	30,487	7,164	3,344	3,028	756	618	483
6	430,2	402	22	11,934	17,506	27,204	44,795	29,441	6,918	3,229	2,924	797	652	510
7	501,9	416	22	11,934	17,506	27,204	44,795	29,441	6,918	3,229	2,924	822	672	526
8	573,6	428	23	11,543	16,932	26,312	43,327	28,476	6,691	3,123	2,828	860	704	552
9	645,3	440	23	11,543	16,932	26,312	43,327	28,476	6,691	3,123	2,828	882	722	566
10	717	452	24	11,180	16,400	25,486	41,966	27,581	6,481	3,025	2,740	919	753	590
11	788,7	462	24	11,180	16,400	25,486	41,966	27,581	6,481	3,025	2,740	940	770	604
12	860,4	473	24	11,180	16,400	25,486	41,966	27,581	6,481	3,025	2,740	959	786	616
13	932,1	482	25	10,843	15,905	24,717	40,700	26,750	6,286	2,934	2,657	994	814	640
14	1003,8	492	25	10,843	15,905	24,717	40,700	26,750	6,286	2,934	2,657	1000	829	651
15	1075,5	501	26	10,529	15,444	24,001	39,520	25,974	6,103	2,849	2,580	1000	857	674
16	1147,2	510	26	10,529	15,444	24,001	39,520	25,974	6,103	2,849	2,580	1100	871	685
17	1218,9	518	26	10,529	15,444	24,001	39,520	25,974	6,103	2,849	2,580	1100	885	696
18	1290,6	526	26	10,529	15,444	24,001	39,520	25,974	6,103	2,849	2,580	1100	898	706
19	1362,3	534	27	10,235	15,013	23,331	38,417	25,249	5,933	2,769	2,508	1100	925	728

20	1434	542	27	10,235	15,013	23,331	38,417	25,249	5,933	2,769	2,508	1100	938	738
21	1505,7	550	27	10,235	15,013	23,331	38,417	25,249	5,933	2,769	2,508	1200	950	745
22	1577,4	557	28	9,960	14,609	22,703	37,384	24,570	5,773	2,695	2,440	1200	976	769
23	1649,1	564	28	9,960	14,609	22,703	37,384	24,570	5,773	2,695	2,440	1200	988	776
24	1720,8	571	28	9,960	14,609	22,703	37,384	24,570	5,773	2,695	2,440	1200	999	787
25	1792,5	578	28	9,960	14,609	22,703	37,384	24,570	5,773	2,695	2,440	1200	1000	796
26	1864,2	585	29	9,701	14,230	22,113	36,413	23,932	5,623	2,625	2,377	1300	1000	817
27	1935,9	591	29	9,701	14,230	22,113	36,413	23,932	5,623	2,625	2,377	1300	1000	825
28	2007,6	597	29	9,701	14,230	22,113	36,413	23,932	5,623	2,625	2,377	1300	1100	834
29	2079,3	604	29	9,701	14,230	22,113	36,413	23,932	5,623	2,625	2,377	1300	1100	842
30	2151	610	30	9,457	13,873	21,558	35,499	23,331	5,482	2,559	2,317	1300	1100	862
31	2222,7	616	30	9,457	13,873	21,558	35,499	23,331	5,482	2,559	2,317	1300	1100	858
32	2294,4	622	30	9,457	13,873	21,558	35,499	23,331	5,482	2,559	2,317	1400	1100	865
33	2366,1	627	30	9,457	13,873	21,558	35,499	23,331	5,482	2,559	2,317	1400	1100	873
34	2437,8	633	30	9,457	13,873	21,558	35,499	23,331	5,482	2,559	2,317	1400	1100	880
35	2509,5	639	31	9,228	13,536	21,035	34,636	22,764	5,349	2,497	2,261	1400	1200	913
36	2581,2	644	31	9,228	13,536	21,035	34,636	22,764	5,349	2,497	2,261	1400	1200	920
37	2652,9	649	31	9,228	13,536	21,035	34,636	22,764	5,349	2,497	2,261	1400	1200	927
38	2724,6	655	31	9,228	13,536	21,035	34,636	22,764	5,349	2,497	2,261	1400	1200	934
39	2796,3	660	31	9,228	13,536	21,035	34,636	22,764	5,349	2,497	2,261	1500	1200	941
40	2868	665	32	9,011	13,217	20,540	33,821	22,228	5,223	2,438	2,208	1500	1200	961
41	2939,7	670	32	9,011	13,217	20,540	33,821	22,228	5,223	2,438	2,208	1500	1200	965
42	3011,4	675	32	9,011	13,217	20,540	33,821	22,228	5,223	2,438	2,208	1500	1200	974
43	3083,1	680	32	9,011	13,217	20,540	33,821	22,228	5,223	2,438	2,208	1500	1200	981
44	3154,8	685	32	9,011	13,217	20,540	33,821	22,228	5,223	2,438	2,208	1500	1300	988
45	3226,5	689	32	9,011	13,217	20,540	33,821	22,228	5,223	2,438	2,208	1500	1300	994
46	3298,2	694	33	8,805	12,916	20,071	33,050	21,721	5,104	2,382	2,158	1600	1300	1000
47	3369,9	699	33	8,805	12,916	20,071	33,050	21,721	5,104	2,382	2,158	1600	1300	1000
48	3441,6	703	33	8,805	12,916	20,071	33,050	21,721	5,104	2,382	2,158	1600	1300	1000

49	3513,3	708	33	8,805	12,916	20,071	33,050	21,721	5,104	2,382	2,158	1600	1300	1000
50	3585	712	33	8,805	12,916	20,071	33,050	21,721	5,104	2,382	2,158	1600	1300	1000
51	3656,7	717	33	8,805	12,916	20,071	33,050	21,721	5,104	2,382	2,158	1600	1300	1000
52	3728,4	721	34	8,610	12,630	19,627	32,318	21,240	4,991	2,330	2,110	1600	1300	1100
53	3800,1	725	34	8,610	12,630	19,627	32,318	21,240	4,991	2,330	2,110	1600	1400	1100
54	3871,8	730	34	8,610	12,630	19,627	32,318	21,240	4,991	2,330	2,110	1700	1400	1100
55	3943,5	734	34	8,610	12,630	19,627	32,318	21,240	4,991	2,330	2,110	1700	1400	1100
56	4015,2	738	34	8,610	12,630	19,627	32,318	21,240	4,991	2,330	2,110	1700	1400	1100
57	4086,9	742	34	8,610	12,630	19,627	32,318	21,240	4,991	2,330	2,110	1700	1400	1100
58	4158,6	746	34	8,610	12,630	19,627	32,318	21,240	4,991	2,330	2,110	1700	1400	1100
59	4230,3	750	35	8,425	12,358	19,205	31,623	20,784	4,884	2,280	2,064	1700	1400	1100
60	4302	754	35	8,425	12,358	19,205	31,623	20,784	4,884	2,280	2,064	1700	1400	1100
61	4373,7	758	35	8,425	12,358	19,205	31,623	20,784	4,884	2,280	2,064	1700	1400	1100
62	4445,4	762	35	8,425	12,358	19,205	31,623	20,784	4,884	2,280	2,064	1700	1400	1100
63	4517,1	766	35	8,425	12,358	19,205	31,623	20,784	4,884	2,280	2,064	1700	1400	1100
64	4588,8	769	35	8,425	12,358	19,205	31,623	20,784	4,884	2,280	2,064	1800	1400	1100
65	4660,5	773	35	8,425	12,358	19,205	31,623	20,784	4,884	2,280	2,064	1800	1500	1100
66	4732,2	777	35	8,425	12,358	19,205	31,623	20,784	4,884	2,280	2,064	1800	1500	1200
67	4803,9	781	36	8,249	12,100	18,803	30,962	20,349	4,782	2,232	2,021	1800	1500	1200
68	4875,6	784	36	8,249	12,100	18,803	30,962	20,349	4,782	2,232	2,021	1800	1500	1200
69	4947,3	788	36	8,249	12,100	18,803	30,962	20,349	4,782	2,232	2,021	1800	1500	1200
70	5019	792	36	8,249	12,100	18,803	30,962	20,349	4,782	2,232	2,021	1800	1500	1200
71	5090,7	795	36	8,249	12,100	18,803	30,962	20,349	4,782	2,232	2,021	1800	1500	1200
72	5162,4	799	36	8,249	12,100	18,803	30,962	20,349	4,782	2,232	2,021	1800	1500	1200
73	5234,1	802	36	8,249	12,100	18,803	30,962	20,349	4,782	2,232	2,021	1800	1500	1200
74	5305,8	806	36	8,249	12,100	18,803	30,962	20,349	4,782	2,232	2,021	1800	1500	1200
75	5377,5	809	37	8,081	11,854	18,421	30,332	19,935	4,684	2,186	1,980	1900	1500	1200
76	5449,2	813	37	8,081	11,854	18,421	30,332	19,935	4,684	2,186	1,980	1900	1500	1200
77	5520,9	816	37	8,081	11,854	18,421	30,332	19,935	4,684	2,186	1,980	1900	1600	1200

78	5592,6	819	37	8,081	11,854	18,421	30,332	19,935	4,684	2,186	1,980	1900	1600	1200
79	5664,3	823	37	8,081	11,854	18,421	30,332	19,935	4,684	2,186	1,980	1900	1600	1200
80	5736	826	37	8,081	11,854	18,421	30,332	19,935	4,684	2,186	1,980	1900	1600	1300
81	5807,7	829	37	8,081	11,854	18,421	30,332	19,935	4,684	2,186	1,980	1900	1600	1300
82	5879,4	832	37	8,081	11,854	18,421	30,332	19,935	4,684	2,186	1,980	1900	1600	1300
83	5951,1	836	37	8,081	11,854	18,421	30,332	19,935	4,684	2,186	1,980	1900	1600	1300
84	6022,8	839	38	7,921	11,619	18,056	29,731	19,540	4,592	2,143	1,941	2000	1600	1300
85	6094,5	842	38	7,921	11,619	18,056	29,731	19,540	4,592	2,143	1,941	2000	1600	1300
86	6166,2	845	38	7,921	11,619	18,056	29,731	19,540	4,592	2,143	1,941	2000	1600	1300
87	6237,9	848	38	7,921	11,619	18,056	29,731	19,540	4,592	2,143	1,941	2000	1600	1300
88	6309,6	851	38	7,921	11,619	18,056	29,731	19,540	4,592	2,143	1,941	2000	1600	1300
89	6381,3	855	38	7,921	11,619	18,056	29,731	19,540	4,592	2,143	1,941	2000	1600	1300
90	6453	858	38	7,921	11,619	18,056	29,731	19,540	4,592	2,143	1,941	2000	1700	1300
91	6524,7	861	38	7,921	11,619	18,056	29,731	19,540	4,592	2,143	1,941	2000	1700	1300
92	6596,4	864	38	7,921	11,619	18,056	29,731	19,540	4,592	2,143	1,941	2000	1700	1300
93	6668,1	867	38	7,921	11,619	18,056	29,731	19,540	4,592	2,143	1,941	2000	1700	1300
94	6739,8	870	39	7,768	11,395	17,707	29,158	19,163	4,503	2,102	1,903	2100	1700	1300
95	6811,5	873	39	7,768	11,395	17,707	29,158	19,163	4,503	2,102	1,903	2100	1700	1300
96	6883,2	876	39	7,768	11,395	17,707	29,158	19,163	4,503	2,102	1,903	2100	1700	1400
97	6954,9	878	39	7,768	11,395	17,707	29,158	19,163	4,503	2,102	1,903	2100	1700	1400
98	7026,6	881	39	7,768	11,395	17,707	29,158	19,163	4,503	2,102	1,903	2100	1700	1400
99	7098,3	884	39	7,768	11,395	17,707	29,158	19,163	4,503	2,102	1,903	2100	1700	1400
100	7170	887	39	7,768	11,395	17,707	29,158	19,163	4,503	2,102	1,903	2100	1700	1400

Références Bibliographiques

- [1]. Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2007). The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management. *Journal of Hazardous Materials*, 141(3), 489-519. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.056>
- [2]. Adger, W. N., & Agnew, M. (2004). *New indicators of vulnerability and adaptive capacity* (Vol. 122). Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.112.2300&rep=rep1&type=pdf>
- [3]. Aini, D. (2011). Risque industriel et représentation sociale: enquête dans la zone d'Arzew (*Doctoral dissertation, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem*). <http://e-biblio.univ-mosta.dz/themes/Mirage/images/mime.png>
- [4]. Ait Ouffroukh, L., Chaib, R., Ion, V., & Khochmane, L. (2018). Analysis of risk and the strengthening of the safety technical barriers: application of Skikda (Algeria) oil refining complex. *World Journal of Engineering*. <https://doi.org/10.1108/WJE-02-2017-0031>
- [5]. Alexander, D. (1993). Natural Disasters. *Macedon Digest*, 8(2), 32. New York, ISBN: 1857280946. <https://doi.org/10.1201/9780203746080>
- [6]. Alexander, D. (2013). Vulnerability. In Penuel, K. B., Statler, M., & Hagen, R. (Eds.) (2013). *Encyclopedia of crisis management*. (Vols. 1-2) (pp. 980–983). Los Angeles, CA: Sage Publications. <https://www.doi.org/10.4135/9781452275956>
- [7]. AMARIS., & INERIS. (2017). Se protéger face aux risques industriels, guide pour les entreprises riveraines de sites SEVESO seuil haut. *Association nationale des collectivités pour la maîtrise des risques technologiques majeurs et INERIS*. <https://www.ineris.fr/fr/resiguide-protoger-face-risques-industriels-entreprises-riveraines-sites-seveso-seuil-haut-redige>
- [8]. André, L., Olivier, D., & Laurent, P. (2013). L'impact des incertitudes sur les distances d'effets en maîtrise des risques. *Récents Progrès en Génie des Procédés*, 104, 1-8. <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01925944>
- [9]. API., & NPRA. (2003). Security Vulnerability Assessment Methodology for the Petroleum and Petrochemical Industries; American Petroleum Institute and National Petrochemical & Refiners Association. <https://www.nrc.gov/docs/ML0502/ML050260624.pdf>
- [10]. Argenti, F., Landucci, G., Reniers, G., & Cozzani, V. (2018). Vulnerability assessment of chemical facilities to intentional attacks based on Bayesian Network. *Reliability Engineering & System Safety*, 169, 515-530. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.09.023>
- [11]. Arrêté du 12 juin (1999). Création de la commission permanente spécialisée des risques majeurs du conseil national de l'information géographique, *Journal Officiel de la République Algérienne*, Journal N° 41/2006. <https://www.joradp.dz/FTP/Jo-Francais/1999/F1999041.pdf>
- [12]. ASME-ITI. (2005). RAMCAP™, Risk Analysis and Management for Critical Asset Protection: executive summary. ASME, Innovate technologies institute. <https://files.asme.org/ASMEITI/RAMCAP/12604.pdf>

-
- [13]. Atkinson, G., Coldrick, S., Gant, S., & Cusco, L. (2015). Flammable vapor cloud generation from overfilling tanks: learning the lessons from Buncefield. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 35, 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.11.011>
- [14]. Aven, T. (2012). The risk concept—historical and recent development trends. *Reliability Engineering & System Safety*, 99, 33-44. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2011.11.006>
- [15]. Bakr, A. F., El Hagla, K., & Rawash, A. N. A. (2012). Heuristic approach for risk assessment modeling: EPCCM application (Engineer Procure Construct Contract Management). *Alexandria Engineering Journal*, 51(4), 305-323. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2012.09.001>
- [16]. Baladeh, A. E., Cheraghi, M., & Khakzad, N. (2019). A multi-objective model to optimal selection of safety measures in oil and gas facilities. *Process Safety and Environmental Protection*, 125, 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.02.024>
- [17]. Berzins McCoy, M. (2013). *Wounded Heroes. Vulnerability as a Virtue in Ancient Greek Literature and Philosophy*. Press198 Madison Avenue, New York. ISBN 970199672783 <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199672783.001.0001>
- [18]. Birk, A. M., & Cunningham, M. H. (1994). The boiling liquid expanding vapour explosion. *Journal of loss prevention in the process industries*, 7(6), 474-480. [https://doi.org/10.1016/0950-4230\(94\)80005-7](https://doi.org/10.1016/0950-4230(94)80005-7)
- [19]. Birkmann, J. (2006). Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies*, 1(9), 3-7. <https://bookstore.teri.res.in/books/9788179931226>
- [20]. Birkmann, J. (Ed.). (2013). *Measuring vulnerability to natural hazards* (2^d Ed.). Tokyo: United National University Press UNU-EHS. ISBN: 9789280812022 https://collections.unu.edu/eserv/UNU:2880/n9789280812022_text.pdf
- [21]. Birkmann, J., & Welle, T. (2015). Assessing the risk of loss and damage: exposure, vulnerability and risk to climate-related hazards for different country classifications. *International Journal of Global Warming*, 8(2), 191-212. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2015.071963>
- [22]. Birkmann, J., & Wisner, B. (2006). *Measuring the un-measurable: the challenge of vulnerability*. United National University Press. UNU-EHS. <http://collections.unu.edu/eserv/UNU:1872/pdf3962.pdf>
- [23]. Bogard, W. C. (1988). Bringing social theory to hazards research: conditions and consequences of the mitigation of environmental hazards. *Sociological Perspectives*, 31(2), 147-168. <https://doi.org/10.2307%2F1389080>
- [24]. Bohle, H. G., Downing, T. E., & Watts, M. J. (1994). Climate change and social vulnerability: toward a sociology and geography of food insecurity. *Global environmental change*, 4(1), 37-48. [https://doi.org/10.1016/0959-3780\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0959-3780(94)90020-5)
- [25]. Bonilla, J. M., Àgueda, A., Muñoz, M. A., Vílchez, J. A., & Planas, E. (2019). Thermal radiation model for dynamic fireballs with shadowing. *Process Safety and Environmental Protection*, 128, 372-384. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.05.029>
-

-
- [26]. Broeckmann, B., & Schecker, H. G. (1995). Heat transfer mechanisms and boilover in burning oil-water systems. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 8(3), 137-147. [https://doi.org/10.1016/0950-4230\(95\)00016-T](https://doi.org/10.1016/0950-4230(95)00016-T)
- [27]. Brooks, N. (2003). Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. *Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper*, 38(38), 1-16. https://www.ipcc.ch/apps/nj-lite/srex/nj-lite_download.php?id=5463
- [28]. Buang, A. (2014). Boilover in liquid hydrocarbon tank fires (*Doctoral dissertation, Loughborough University*). https://repository.lboro.ac.uk/articles/thesis/Boilover_in_liquid_hydrocarbon_tank_fires/9237842/1
- [29]. Burton, I. (2010). Forensic disaster investigations in depth: a new case study model. *Environment*, 52(5), 36-41. <https://doi.org/10.1080/00139157.2010.507144>
- [30]. Cannon, T. (2008). Reducing people's vulnerability to natural hazards communities and resilience. *UNU-WIDER Research Paper No. 08/34*. ISSN: 18102611 <http://hdl.handle.net/10419/45089>
- [31]. Carter, D. A., Hirst, I. L., Maddison, T. E., & Porter, S. R. (2003). Appropriate risk assessment methods for major accident establishments. *Process safety and environmental protection*, 81(1), 12-18. <https://doi.org/10.1205/095758203762851949>
- [32]. CCPS, (1999). Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases, Center for Chemical Process Safety, *American Institute of Chemical Engineers Wiley-AIChE*, New York. ISBN: 978-0-816-90786-1
- [33]. CCPS. (2010). Guidelines for Analyzing and Managing the Security Vulnerabilities of Fixed Chemical Sites: Security Vulnerability Analysis (SVA) Methodology. Center for Chemical Process Safety CCPS®, 37–72. <https://doi.org/10.1002/9780470925003.ch3>
- [34]. Comfort, L., Wisner, B., Cutter, S., Pulwarty, R., Hewitt, K., Oliver-Smith, A., ... & Krimgold, F. (1999). Reframing disaster policy: the global evolution of vulnerable communities. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 1(1), 39-44. <https://doi.org/10.3763/ehaz.1999.0105>
- [35]. Cowley, L. T., & Johnson, A. D. (1992). Oil and gas fires: characteristics and impact, *Health and Safety Executive*, Ref : 92 596 London. ISBN 0 11 882034 6 <https://www.hse.gov.uk/index.htm>
- [36]. Cutter, S. L. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in human geography*, 20(4), 529-539. <https://doi.org/10.1177/030913259602000407>
- [37]. Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social science quarterly*, 84(2), 242-261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- [38]. Cutter, S., Frasier, A., Birkmann, J., Blätgen, T., Witting, M., Huang, T., Li, W., . . . Alcántara- Ayala, I. (2015). The FORIN project: Understanding the causes of disasters. *Integrated Research on Disaster Risk IRDR*, Beijing. <http://irdrinternational.org/2015/03/09/FORIN-project>
-

-
- [39]. DDTM, (2017). Information sur les risques majeurs : Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM), *Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Pas-de-Calais*, France. <https://www.pas-de-calais.gouv.fr>
- [40]. DE 05/127 (2005). Décret exécutif déclarant Hassi Messaoud zone à hauts majeurs, *Journal Officiel de la République Algérienne*, Journal N° 29/2005. <http://www.cntppdz.com/uploads/legisla/Decret%20executif%20N%C2%B005-127.pdf>
- [41]. DE 05/476 (2005). Décret exécutif déclarant Hassi-RMel, une zone à risques majeurs, *Journal Officiel de la République Algérienne*, Journal N° 82/2005 <http://www.cntppdz.com/uploads/legisla/Decret%20executif%20N%C2%B005-476.pdf>
- [42]. DE 05/477 (2005). Décret exécutif déclarant le pôle Berkine zone à risques majeurs, *Journal Officiel de la République Algérienne*, Journal N° 82/2005. <http://www.cntppdz.com/uploads/legisla/Decret%20executif%20N%C2%B005-477.pdf>
- [43]. DE 06/161 (2006). Décret exécutif déclarant la zone industrielle de Skikda zone à risques majeurs, *Journal Officiel de la République Algérienne*, Journal N° 33/2006. <http://www.meer.gov.dz/a/wp-content/uploads/2019/04/D%C3%A9cret-ex%C3%A9cutif-06-161.pdf>
- [44]. DE 06/162 (2006). Décret exécutif déclarant la zone industrielle d'Arzew zone à risques majeurs, *Journal Officiel de la République Algérienne*, Journal N° 33/2006. http://www.cntppdz.com/uploads/legisla/Decret_executif_n%C2%B0_06-162.PDF
- [45]. DE 06/163 (2006). Décret exécutif déclarant le pôle In Amenas zone à risques majeurs, *Journal Officiel de la République Algérienne*, Journal N° 33/2006. <http://www.meer.gov.dz/a/wp-content/uploads/2019/04/D%C3%A9cret-ex%C3%A9cutif-06-163.pdf>
- [46]. DE 06/198, (2006). Décret exécutif, définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement. *Journal Officiel de la République Algérienne*, Journal N° 37/2006. <http://www.meer.gov.dz/a/wp-content/uploads/2019/04/D%C3%A9cret-ex%C3%A9cutif-06-198.pdf>
- [47]. DE 07/144, (2007). Décret exécutif fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement *Journal Officiel de la République Algérienne*, Journal N° 34/2007. <http://www.arh.gov.dz/pdf/DE%20n%C2%B007-144%20Installations%20Class%C3%A9es.pdf>
- [48]. De Dianous, V., Vallée, A., Prats, F., Rodrigues, N., & Hourtolou, D. (2004). ARAMIS: Développement d'une méthode intégrée d'analyse des risques pour la prévention des accidents majeurs. *INERIS*, Final Report DRA-04-35132. https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Rapport_BCRD_2004_ARA_MIS_public.pdf
- [49]. Dhurandher, B. K., Kumar, R., & Dhiman, A. (2015). Impact assessment of thermal radiation hazard from LPG fireball. *Procedia Earth and Planetary Science*, 11, 499-506. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.06.050>
- [50]. Dilley, M., Chen, R.S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A.L., & Arnold, M. (2005), Natural Disaster Hotspots. A Global Risk Analysis, *World Bank Publications*, (Vol. 5), pp. 1-133. <https://www.emdat.be/sites/default/files/NaturalDisasterHotspots.pdf>
-

-
- [51]. Dow, K. (1992). Exploring differences in our common future (s): the meaning of vulnerability to global environmental change. *Geoforum*, 23(3), 417-436. [https://doi.org/10.1016/0016-7185\(92\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0016-7185(92)90052-6)
- [52]. Downing, T. E. (1991). Vulnerability to hunger and coping with climate change in Africa. *Global Environmental Change*, 1(5), 365-380. [https://doi.org/10.1016/0959-3780\(91\)90003-C](https://doi.org/10.1016/0959-3780(91)90003-C)
- [53]. EmergeX (2006), Hazard risk and vulnerability assessment, *Regional District of Nanaimo*, final report, British Columbia. <http://www.rdn.bc.ca/cms/wpattachments/wpID141atID1492.pdf>
- [54]. Foerster, E. (2009). Vulnérabilité : état de l'art sur les concepts et méthodologies d'évaluation, Rapport final, *BRGM*, RP-57471-FR, 32p. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57471-FR.pdf>
- [55]. Foerster, E., Krien, Y., Dandoulaki, M., Priest, S., Tapsell, S., Delmonaco, G., Margottini, C., & Bonadonna, C. (2009). Methodologies to assess vulnerability of structural systems. *ENSURE project, Contract n° 212045, WPI: State-of-the-art on vulnerability types, 3*. https://www.researchgate.net/publication/257342955_Methodologies_to_assess_vulnerability_of_structural_systems
- [56]. Gaillard, J. C. (2010). Vulnerability, capacity and resilience: perspectives for climate and development policy. *Journal of International Development: The Journal of the Development Studies Association*, 22(2), 218-232. <https://doi.org/10.1002/jid.1675>
- [57]. Gilard, O., & Givone, P. (1997). Flood risk management: new concepts and methods for objective negotiations. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*, 239, 145-158. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02574205>
- [58]. Gréciano, G., Candel, D., & Humbley, J. (2007). Multi language risk management glossary indexes & bibliography. *WIN-UMB-HLI-MULTH-PU-D2203.1, 2*. https://docplayer.org/8007883-Glossaire-multilingue-de-la-gestion-du-risque-pour-usagers-francophones.html#download_tab_content
- [59]. Guillard-Gonçalves, C., Cutter, S. L., Emrich, C. T., & Zêzere, J. L. (2015). Application of Social Vulnerability Index (SoVI) and delineation of natural risk zones in Greater Lisbon, Portugal. *Journal of Risk Research*, 18(5), 651-674. <https://doi.org/10.1080/13669877.2014.910689>
- [60]. Hahn, H., Villagrán De León, J. C., & Hidajat R. (2003). Comprehensive risk management by communities and local governments: Indicators and other disaster risk management instruments for communities and local governments, Component III, *German Technical Cooperation Agency (GTZ) for the Inter-American Development Bank*, Washington. <https://publications.iadb.org/en/comprehensive-risk-management-communities-and-local-governments-component-iii-indicators-and-other>
- [61]. Hassani, M. (2014). Gestion des urgences et des crises technologiques : Elaboration d'un plan d'action organisationnel et opérationnel en cas d'éruption d'un puits pétrolier, cas de SH/DF/DDO, thèse de master, université de Laghouat. <https://www.researchgate.net/publication/344243243>
- [62]. Hassani, M., & Hadeif, H. (2011). Prévention des risques technologiques, proposition d'un plan général de prévention, des risques majeurs (PGPRM) au sens de la loi n° 04-20, Cas
-

-
- SH/DP/HRM. thèse d'ingénieur, université de Batna, Algeria.
<https://www.researchgate.net/publication/344238506>
- [63]. Hassani, M., Chaib, R., & Bouzerara, R. (2018). Reduction of the Vulnerability Zone of a Major Industrial Risk. Case of BLEVE in LPG Storage Sphere Hassi R'Mel, Algeria. *RECENT Journal*, 19(2), 97-107. <https://doi.org/10.31926/RECENT.2018.55.097>
- [64]. Hassani, M., Chaib, R., Bouzerara, R., Hadeff H., & Belmazouzi Y. (2018). Prévention des risques industriels majeurs dans le cadre du développement durable: proposition d'un projet de plan général de prévention des risques majeurs PGPRM en Algérie au sens de la loi 04/20. ICEMAEP2018, April 29-30, Constantine, Algeria ; Vol (3), 1729-1736. ISBN: 9789931922964. <https://www.researchgate.net/publication/329357846>
- [65]. Hellas, M. S., Chaib, R., & Verzea, I. (2019). Artificial intelligence treating the problem of uncertainty in quantitative risk analysis (QRA). *journal of engineering, design and technology*. <https://doi.org/10.1108/JEDT-03-2019-0057>
- [66]. Heudier, L., Proust, C. (2017). Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs, Le BLEVE, phénoménologie et modélisation des effets. *INERIS rapport d'étude N° DRA-17-164793-09921A*. https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/OMEGA5_BLEVE_Remasteuris%C3%A9_VF-1.pdf
- [67]. Hourtolou, D. (2002). Risk analysis and prevention of major accidents (DRA-007). Final report-Operation a. ASSURANCE-ASSESSMENT of the Uncertainties in Risk Analysis of Chemical Establishments, Project UE ENV4-CT97-0627. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:49101980
- [68]. Huet, P. (2000). Comment organiser le retour d'expérience. *La Houille Blanche*, (3-4), 118-121. <https://doi.org/10.1051/lhb/2000039>
- [69]. Hufschmidt, G. (2011). A comparative analysis of several vulnerability concepts. *Natural hazards*, 58(2), 621-643. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9823-7>
- [70]. Hummell, B. L. (2013). Hazards, social vulnerability and resilience in Brazil: An assessment of data availability and related research. *Publication Series of UNU-EHS No. 17/2012*, 44. <https://www.academia.edu/download/31125048/11051.pdf#page=45>
- [71]. IFRC., & RCS. (2008). Bridging the gap: Integrating climate change and disaster risk reduction. *International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies*. Geneva. <https://www.climatecentre.org/news/154/bridging-the-gap-integrating-climate-change-and-disaster-risk-reduction-case-study>
- [72]. ILO & WHO, (1991). Prevention of major industrial accidents, An ILO contribution to the International Programme on Chemical Safety of UNEP, *Geneva International Labour Office*, 1st published. Geneva, Switzerland. ISBN 92-2-107101-4 https://www.ilo.org/global/publications/ilo-bookstore/order-online/books/WCMS_PUBL_9221071014_EN/lang--en/index.htm
- [73]. INERIS. (2015). Guide d'analyse de la vulnérabilité des sites industriels chimiques face aux menaces de malveillance et de terrorisme. Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, 1 vol (73 p.). <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/dossiers/790-guide-vulnerabilite.pdf>
-

-
- [74]. IPCC. (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (SREX). Special Report. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Geneva, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf
- [75]. ISDR (2004), Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives, *International Strategy for Disaster Reduction*, ISBN: 9211010640, 429p. https://www.unisdr.org/files/657_lwr1.pdf
- [76]. ISO 31000 (2018). Risk management: Guidelines (En). *International Organization for Standardization*, 02-2018 Second editions, 1-16. <https://www.iso.org/standard/65694.html>
- [77]. Jagger, S., & O'Sullivan, S. (2004). Human vulnerability to thermal radiation offshore. *Health and Safety Laboratory, Harpur Hill, Buxton, Derbyshire*. https://www.hse.gov.uk/research/hsl_pdf/2004/hsl04-04.pdf
- [78]. Johnson, A. D., Ebbinghaus, A., Imanari, T., Lennon, S. P., & Marie, N. (1997). Large-scale free and impinging turbulent jet flames: numerical modelling and experiments. *Process safety and environmental protection*, 75(3), 145-151. <https://doi.org/10.1205/095758297528977>
- [79]. Johnson, D. M. (2010). The potential for vapour cloud explosions: Lessons from the Buncefield accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23(6), 921-927. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2010.06.011>
- [80]. Jones, R., Lehr, W., Simecek-Beatty, D., & Reynolds, M. (2013). ALOHA® (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4. 4. *NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 43*. Seattle, Washington. https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/2669/noaa_2669_DS1.pdf
- [81]. KarimiAzari, A., Mousavi, N., Mousavi, S. F., & Hosseini, S. (2011). Risk assessment model selection in construction industry. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9105-9111. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.110>
- [82]. Kaspersen, P. S., & Halsnæs, K. (2017). Integrated climate change risk assessment: A practical application for urban flooding during extreme precipitation. *Climate services*, 6, 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2017.06.012>
- [83]. Kates, R. W. (1985). The interaction of climate and society. *Climate impact assessment*, 3, 3-36. <http://www.rwkates.org/pdfs/a1985.01.pdf>
- [84]. Khudbiddin, M. Q., Rashid, Z. A., Yeong, A. F. M. S., Alias, A. B., Irfan, M. F., Fuad, M., & Hayati, H. (2018, March). Prevention of Major Accident Hazards (MAHs) in major Hazard Installation (MHI) premises via land use planning (LUP): a review. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 334, No. 1, p. 012033). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/334/1/012033/meta>
- [85]. Kirchsteiger, C. (1999). On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 12(5), 399-419. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(99\)00012-1](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(99)00012-1)
- [86]. Klein, R. J. T., Smit, M. J., Goosen, H., & Hulsbergen, C. H. (1998). Resilience and vulnerability: coastal dynamics or Dutch dikes? *Geographical Journal*, 164(3), 259-268. <https://doi.org/10.2307/3060615>
- [87]. Koseki, H., Kokkala, M. A., & Mulholland, G. W. (1991). Experimental study of boilover in crude oil fires. *Fire safety science*, 3, 865-874. <http://dx.doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.3-865>
-

-
- [88]. Kumar, D., & Bhattacharjya, R. K. (2020). Estimation of Integrated Flood Vulnerability Index for the Hilly Region of Uttarakhand, India. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 24(4), 04020051. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000540](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000540)
- [89]. Kumar, D., & Bhattacharjya, R. K. (2020b). Review of different methods and techniques used for flood vulnerability analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-30. <https://doi.org/10.5194/nhess-2020-297>
- [90]. Lacombe, J. M., Vincent, G., Baulig, A., Kordek, M. A., Fontaine, F., & Tissot, S. (2006). Examen de l'utilisation du logiciel ALOHA-CAMEO en situation d'urgence. *INERIS, Direction des Risques Accidentels*. https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/evaluation_ALOHA_CASU.pdf
- [91]. Lee, J. S., & Choi, H. I. (2018). Comparison of flood vulnerability assessments to climate change by construction frameworks for a composite indicator. *Sustainability*, 10(3), 768. <https://doi.org/10.3390/su10030768>
- [92]. Lim Thiebot, S. (2016). Méthodes d'analyse de la vulnérabilité des sites industriels. *Techniques de l'Ingénieur*, Réf : SE1212 Vol. 1. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/methodes-d-analyse-des-risques-42155210/methodes-d-analyse-de-la-vulnerabilite-des-sites-industriels-se1212/>
- [93]. Liou, J. J., Yen, L., & Tzeng, G. H. (2008). Building an effective safety management system for airlines. *Journal of Air Transport Management*, 14(1), 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2007.10.002>
- [94]. Liverman, D. M. (1990). Vulnerability to global environmental change. *Understanding global environmental change: The contributions of risk analysis and management*, 26, 27-44. <https://dianaliverman.files.wordpress.com/2014/12/liverman-1990-vulnerability-to-gec-in-kasperson-et-al.pdf>
- [95]. Liverman, D. (2015). Reading climate change and climate governance as political ecologies. In *The Routledge Handbook of Political Ecology* (pp. 303-319). Taylor and Francis Inc. ISBN: 9781315759289 <https://doi.org/10.4324/9781315759289>
- [96]. Loi 04/20, (2004). La prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, *Journal Officiel de la République Algérienne*, Journal N° 84 /2004. <https://www.joradp.dz/jo2000/2004/084/FP13.pdf>
- [97]. Lutoff C. (1998). Diagnostic de vulnérabilité d'une ville. Méthodologie d'analyse de la vulnérabilité sociale et fonctionnelle du système urbain. *Rap. BRGM R 40382*, 88P. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RR-40382-FR.pdf>
- [98]. Manyena, S. B. (2006). The concept of resilience revisited. *Disasters*, 30(4), 434-450. <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2006.00331.x>
- [99]. Marhavilas, P. K., & Koulouriotis, D. E. (2012). Developing a new alternative risk assessment framework in the work sites by including a stochastic and a deterministic process: A case study for the Greek Public Electric Power Provider. *Safety Science*, 50(3), 448-462. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.10.006>
- [100]. Mazouni, M. H. (2008). Pour une meilleure approche du management des risques: de la modélisation ontologique du processus accidentel au système interactif d'aide à la
-

- décision (Doctoral dissertation), *Institut National Polytechnique de Lorraine*. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01748700>
- [101]. MEDD (2004). Guide technique relatif aux valeurs de référence de seuils d'effets des phénomènes accidentels des installations classées. *Ministère de l'écologie et du développement durable*. France. https://primarisk.ineris.fr/sites/default/files/Guide_technique_seuils_MEDD2004.pdf
- [102]. MEDD. (2005). Evaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation : Arrêté de 29 Septembre 2005. *Ministre d'Ecologie et du Développement Durable*, France https://aida.ineris.fr/consultation_document/5015/version_pdf
- [103]. Melchers, R. E. (2001). On the ALARP approach to risk management. *Reliability Engineering & System Safety*, 71(2), 201-208. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(00\)00096-X](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(00)00096-X)
- [104]. Mitchell, J. K. (1989). *Hazards research*. in Gaile, G.L. and Willmott, C.J. (Eds), *Geography in America*, Merrill Publishing, Columbus, OH, pp. 410-24. <https://www.worldcat.org/title/geography-in-america/oclc/20113021>
- [105]. Mitchison, N., & Porter, S. (1998). Guidelines on a major accident prevention policy and safety management system, as required by Council Directive 96/82/EC (SEVESO II). *European Commission, Joint Research Centre, Institute for Systems Informatics and Safety, Report EUR, 18123*. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/942d65e1-4359-4356-9dd0-fa883f34a093>
- [106]. Monferini, A., Konstandinidou, M., Nivolianitou, Z., Weber, S., Kontogiannis, T., Kafka, P., & Demichela, M. (2013). A compound methodology to assess the impact of human and organizational factors impact on the risk level of hazardous industrial plants. *Reliability Engineering & System Safety*, 119, 280-289. <https://doi.org/10.1016/j.res.2013.04.012>
- [107]. O'Keefe, P., Westgate, K. & Wisner, B. (1976). Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature* 260, 566-567. <https://doi.org/10.1038/260566a0>
- [108]. Oliver-Smith, A., Alcántara-Ayala, I., Burton, I., & Lavell, A. (2016). Forensic investigations of disasters: A conceptual framework and guide to research, *Integrated Research on Disaster Risk IRDR*, Beijing. <http://www.irdrinternational.org/wp-content/uploads/2016/01/FORIN-2-29022016.pdf>
- [109]. O'Neal, A. E., & Clavaud, O. (2016). Process safety culture: A creative potential approach to extract more value from risk assessments. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 43, 753-756. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.07.016>
- [110]. PEP (2004). Hazard, Risk, and Vulnerability Analysis Toolkit, *Provincial Emergency Preparedness*, Ministry of Public Safety and Solicitor General, British Columbia, p. 66. https://www.preventionweb.net/files/3393_toolkit.pdf
- [111]. Petak, W.J., & Atkisson, A.A. (1982). *Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy: Anticipating the Unexpected*, Springer, New York. ISBN: 3540906452 <https://doi.org/10.1017/S0143814X00003718>

-
- [112]. Pigeon, P. (2010). Catastrophes dites naturelles, risques et développement durable: Utilisations géographiques de la courbe de Farmer. *[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement*, 10(1), 1-13. <https://id.erudit.org/iderudit/045397ar>
- [113]. Pijawka, K. D., Foote, S., & Soesilo, A. (1985). Risk assessment of transporting hazardous material: Route analysis and hazard management. *Transportation research record*, 1020(1), 1-6. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1985/1020/1020.pdf#page=5>
- [114]. Porter, S., & Wettig, J. (1999). Policy issues on the control of major accident hazards and the new Seveso II directive. *Journal of Hazardous Materials*, 65(1-2), 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(98\)00249-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(98)00249-0)
- [115]. Proag, V. (2014). The concept of vulnerability and resilience. *Procedia Economics and Finance*, 18, 369-376. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00952-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00952-6)
- [116]. Rajeev, K., Soman, S., Renjith, V. R., & George, P. (2019). Human vulnerability mapping of chemical accidents in major industrial units in Kerala, India for better disaster mitigation. *International journal of disaster risk reduction*, 39, 101247. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101247>
- [117]. Rehak, D. (2020). Assessing and strengthening organisational resilience in a critical infrastructure system: Case study of the Slovak Republic. *Safety Science*, 123, 104573. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104573>
- [118]. Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- [119]. Schröter, D., Polsky, C., & Patt, A. G. (2005). Assessing vulnerabilities to the effects of global change: an eight step approach. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 10(4), 573-595. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-6135-9>
- [120]. Sellami, I. (2013). *Analyse quantitative des risques industriels: apport des techniques floues et possibilistes* (Doctoral dissertation, Batna). <http://eprints.univ-batna2.dz/742/>
- [121]. Sharma, R. K., Gurjar, B. R., Wate, S. R., Ghuge, S. P., & Agrawal, R. (2013). Assessment of an accidental vapour cloud explosion: Lessons from the Indian Oil Corporation Ltd. accident at Jaipur, India. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(1), 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.09.009>
- [122]. SIDPC, (2003), Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM), *Service Interministériel de Défense et Protection Civiles*, Préfecture du Cantal, France. <http://www.cantal.gouv.fr>
- [123]. Smith, K. (1991), *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. Routledge, London. <https://doi.org/10.4324/9780203805305>
- [124]. Spouge, J. (2006). Leak frequencies from the hydrocarbon release database. In *Institution of Chemical Engineers Symposium Series* (Vol. 151, p. 732). <https://www.icheme.org/media/9837/xix-paper-50.pdf>
- [125]. SRD (2009) Handbook Failure Frequencies, for drawing up a safety report. *Safety Reporting Division*. Nature and Energy Policy Unit, LNE Department, Environment, Flemish Government. <https://studylib.net/doc/18717910/handbook-failure-frequencies-2009#>
-

-
- [126]. Strehlow, R. A. (1973). Unconfined vapor-cloud explosions: An overview. In *Symposium (International) on Combustion*, Vol. 14, No. 1, pp. 1189-1200. [https://doi.org/10.1016/S0082-0784\(73\)80107-9](https://doi.org/10.1016/S0082-0784(73)80107-9)
- [127]. Susman, P., O'Keefe, P., & Wisner, B. (1983). Global disasters: a radical interpretation. *Interpretations of Calamity: from the viewpoint of human ecology*, Allen & Unwin, Boston, MA, pp. 264-83. <https://doi.org/10.4324/9780429329579>
- [128]. Timmermann, P. (1981). Vulnerability, resilience and the collapse of society. *Environmental Monograph*, 1, 1-42, Institute for Environmental Studies, University of Toronto. <http://www.ilankelman.org/miscellany/Timmerman1981.pdf>
- [129]. Tixier, J., Dandrieux, A., Dusserre, G., Bubbico, R., Luccone, L. G., Mazzarotta, B., ... & Gaston, D. (2005). Vulnerability of the environment in the proximity of an industrial site. *WIT Transactions on The Built Environment*, 82. DOI: 10.2495/SAFE050311 <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/82/15143>
- [130]. Tixier, J., Dusserre, G., Salvi, O., & Gaston, D. (2002). Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the process industries*, 15(4), 291-303. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(02\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(02)00008-6)
- [131]. Truchot, B., Durussel, T., & Duplantier, S. (2010). Combustion rate of medium scale pool fire, an unsteady parameter. In *International Symposium on Safety Science and Technology 2010 (ISSST 2010)*, 575-585. Science Press. Beijing. <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00973598>
- [132]. Tschakert, P., van Oort, B., St. Clair, A. L., & LaMadrid, A. (2013). Inequality and transformation analyses: a complementary lens for addressing vulnerability to climate change. *Climate and Development*, 5(4), 340-350. <https://doi.org/10.1080/17565529.2013.828583>
- [133]. Tuncel, G., & Alpan, G. (2010). Risk assessment and management for supply chain networks: A case study. *Computers in industry*, 61(3), 250-259. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2009.09.008>
- [134]. Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., ... & Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the national academy of sciences*, 100(14), 8074-8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- [135]. UNDRO (1979), Natural Disasters and Vulnerability Analysis, In: Report of Expert Group Meeting Meeting 9-12 July 1979, *United Nations Disaster Relief Coordinator*, Geneva, UNDRO, 49p. https://digitallibrary.un.org/record/95986/files/%5BUNDRO_ExpGrp_1%5D-EN.pdf
- [136]. UNDRO. (1979). Natural disasters and vulnerability analysis. *report of Expert Group Meeting*. Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator, Geneva. <https://digitallibrary.un.org/record/95986?ln=en>
- [137]. UNDRO. (1991), Mitigation Natural Disasters: Phenomena, Effects, and Options, *Manual for Policy Makers and Planners*. Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator, Geneva. <http://cidbimena.desastres.hn/pdf/eng/doc1028/doc1028.htm>
-

-
- [138]. UNISDR, UNDP, & IUCN (2009). Making Disaster Risk Reduction Gender Sensitive: Policy and Practical Guidelines, United Nations. <http://repo.floodalliance.net/jspui/44111/1124>
- [139]. Villafañe, D., Darbra Roman, R. M., & Casal Fàbrega, J. (2011). Flash Fire: Historical analysis and modeling. In *10th International Conference on Chemical and Process Engineering*. ICheaP-10 (pp. 1111-1116). ISSN: 2283-9216 <https://doi.org/10.3303/CET1124186>
- [140]. Villagrán De León, J. C. (2001). La nature des risques, une approche conceptuelle, série: contributions au développement durable (La naturaleza de los riesgos, un enfoque conceptual, serie: aportes para el desarrollo sostenible). CIMDEN, Guatemala. <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0113/doc0113.pdf>
- [141]. Villagrán de León, J. C. (2006). Vulnerability: a conceptual and methodological review. *SOURCE) Studies Of the University: Research, Counsel, Education-Publication Series of UNU-EHS*, 4(64), 540. <https://collections.unu.edu/eserv/UNU:1871/pdf3904.pdf>
- [142]. Wang, B., Wu, C., Huang, L., Zhang, L., Kang, L., & Gao, K. (2018). Prevention and control of major accidents (MAs) and particularly serious accidents (PSAs) in the industrial domain in China: Current status, recent efforts and future prospects. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 254-266. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.025>
- [143]. Watts, M. J., & Bohle, H. G. (1993). The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. *Progress in human geography*, 17(1), 43-67. <https://doi.org/10.1177%2F030913259301700103>
- [144]. Watts, M. J., & Bohle, H. G. (1993). The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. *Progress in human geography*, 17(1), 43-67. <https://doi.org/10.1177%2F030913259301700103>
- [145]. Weichselgartner, J., & Bertens, J. (2000). Natural disasters: acts of God, nature or society? On the social relation to natural hazards. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 45. In Risk Analysis II, Edited By: C.A. Brebbia, Wessex Institute of Technology, United Kingdom. ISBN 1-85312-830-9 <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/RISK00/RISK00000FU.pdf>
- [146]. Wisner, B., Blaikie, P., Blaikie, P. M., Cannon, T., & Davis, I. (1994). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Psychology Press, 2nd Edition, 464 pp, New York. ISBN 0415252164 <https://doi.org/10.2307/2137699>
- [147]. Wisner, B., Blaikie, P., Blaikie, P. M., Cannon, T., & Davis, I. (2004). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Psychology Press, Published by Routledge. ISBN 9780415252164 <https://doi.org/10.4324/9780203714775>
- [148]. Wisner, B., Gaillard, J.C., & Kelman, I. (2011). Framing disaster: Theories and stories seeking to understand hazards, vulnerability and risk. In Wisner, B., Gaillard, J.C., & Kelman, I. (Eds.). (2012). *Handbook of Hazards and Disaster Risk Reduction* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203844236>
- [149]. Wisner, B., Oxley, M., Budihardjo, P. H., Copen, K., Castillo, G., Cannon, T., ... & Bonduelle, S. (2014). Down home, it's all the same: Building synergisms between community-based disaster risk reduction and community-based climate change adaptation. *Community-based adaptaion to climate change: Scaling it up*, 172-191. ISBN: 9780415623704 <https://doi.org/10.4324/9780203105061>
-

- [150]. Yang, Y. C. (2011). Risk management of Taiwan's maritime supply chain security. *Safety science*, 49(3), 382-393. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.09.019>

Sites Web :

- [151]. CNGSPW (gas specialization website)
<http://www.cngspw.com/vbooks/ShowSubject.asp?SubjectID=8231>
- [152]. ERI.inc (Explosion research industry. Inc) <http://bakuhatu.jp/en/explosion-2/bleve/>
- [153]. ORRM.fr (Observatoire Régional des Risques Majeurs de Provence) <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/article/definitions-generalites-risques-majeurs>
- [154]. Slideserve.com (Upload and Share Presentations Online)
<https://www.slideserve.com/tallis/boil-over>

Résumé :

L'objectif global de cette étude est de développer une approche méthodique pour évaluer la vulnérabilité humaine, matérielle et environnementale face aux risques industriels majeurs. La méthode proposée a été développée pour évaluer semi-quantitativement la vulnérabilité en présence des entreprises à haut risque à l'aide d'une matrice d'estimation basée sur deux indicateurs : intensité et sensibilité, où chaque indicateur est divisé en plusieurs sous-indicateurs. En outre, la présente étude vise à réduire la vulnérabilité face aux risques industriels majeurs en se basant sur l'atténuation et l'adaptation. L'originalité de cette thèse se résume dans l'utilisation d'une collecte de données facile et son analyse à travers une séquence logique d'étapes avec des boucles de vérification jusqu'à l'obtention de résultats optimaux. Cette approche permet de persuader le décideur que les résultats obtenus sont basés sur des informations réalistes et faciles à comprendre. Pour valider la présente étude, une application de la méthode a été faite sur un scénario d'explosion d'une sphère de stockage de grande capacité de gaz de pétrole liquéfié dans un complexe pétro-gazier, dans le sud de l'Algérie, sise près d'une zone résidentielle et des entreprises en voisinage. Les résultats de cette application ont montré que lorsque la sphère de GPL était remplie à 100%, le niveau d'intensité est très élevé, associé à un diamètre des effets dépassant les 4200 m en présence de sept cibles sensibles. En appliquant la réduction de la vulnérabilité avec un taux de remplissage de 21% de la capacité de la sphère, le niveau de vulnérabilité est devenu tolérable et le rayon des effets n'a pas dépassé les 1200 m, associé à un maximum de trois cibles sensibles. Ainsi, en appliquant la méthode proposée, la résilience des cibles a été améliorée par un processus d'adaptation.

Mots Clés : Risques industriels majeurs, Atténuation / Adaptation, pétrole et gaz, évaluation de la vulnérabilité, Réduction de la vulnérabilité.

ملخص:

الهدف العام من هذه الدراسة هو تطوير طريقة منهجية لتقييم شدة وقابلية تعرض المخاطر الصناعية الكبرى في صناعة النفط والغاز للإنسان، المعدات والبيئة وهذا باستخدام طريقة شبه كمية. تم تطوير الطريقة المقترحة لتقييم نقاط الضعف في وجود الشركات عالية المخاطر باستخدام مصفوفة تقييم تستند على مؤشرين هما الشدة والحساسية، حيث ينقسم كل مؤشر إلى عدة مؤشرات فرعية. علاوة على ذلك، تهدف هذا العمل إلى الحد من الهشاشة اعتماداً على التخفيف من شدة الأخطار والتكيف مع وجودها. وتعتمد المنهجية المقترحة في الدراسة على سهولة جمع البيانات وتحليلها من خلال تسلسل منطقي للخطوات مع التحقق المتواصل حتى الحصول على النتائج المثلى. من إيجابيات هذا المنهج أيضاً أنه سيساعد في إقناع صانعي القرار بالنتائج التي تم الحصول عليها حيث أنها تستند على معلومات واقعية وسهلة الفهم. للتحقق من مدا صحة المنهج المقترح، تم تطبيق الطريقة على سيناريو انفجار خزان ذو سعة تخزين كبيرة من غاز البترول المميع في مجمع لإنتاج النفط والغاز ، في جنوب الجزائر ، حيث يقع هذا الخير بالقرب من المناطق السكنية ومؤسسات مجاورة. أشارت نتائج هذا التطبيق إلى أنه عندما كان خزان غاز البترول المميع ممتلئاً بنسبة 100٪، كان مستوى الشدة مرتفعاً جداً ، حيث تجاوز قطر التأثيرات 4200 مترًا في وجود سبعة أهداف حساسة داخل هذا الحيز. بتطبيق عملية الحد من شدة الخطر، واعتماد معدل ملء بنسبة 21٪ من سعة الخزان ، أصبح مستوى الهشاشة مقبولاً ولم يتجاوز نصف قطر التأثيرات 1200 متر ، والملاحظ ان عدد الاهداف الحساسة قد تقلص إلى ثلاثة كحد أقصى. وبتطبيق عملية التكيف مع وجود الخطر، تم تحسين مرونة وقوة الأهداف الحساسة الواقعة تحت تأثير الخطر.

كلمات مفتاحية: : المخاطر الصناعية الكبرى ، التخفيف / التكيف ، النفط والغاز ، تقييم المخاطر. تقييم الهشاشة، الحد من الهشاشة.

Abstract:

The overall aim of this study is to develop a methodical approach for assessing the vulnerability of major industrial risks in oil and gas industry, toward human, material and the environment using a semi-quantitative method. The proposed method was developed to assess vulnerabilities within the presence of high-risk companies using an estimation matrix based on 2 indicators; intensity and sensitivity, where each indicator is divided into several sub-indicators. Furthermore, the present thesis aim to reduce the industrial vulnerability based on mitigation and adaptation. The originality of the present study summarized in the usage of ease data collection and its analysis through a logical sequence of steps with verification loops until getting the optimal results. The approach would persuade the decision-maker that the obtained results are based on realistic and easy-to-understand information. To validate the present study, an application of the method was made on a scenario of explosion of a large storage capacity sphere of liquefied petroleum gas in oil and gas complex, in south Algeria, located near residential areas and companies. The results of this application indicated that when LPG sphere was 100% full, the intensity level was very high, associated with a diameter of the effects exceeded 4200 m in the presence of seven sensitive targets. Applying the vulnerability reduction, adopting a filling rate of 21% of the sphere capacity, the vulnerability level became tolerable and the radius of effects not exceeded 1200 m, associated with a maximum of three sensitive targets. Thus, applying the proposed method, the resilience of the targets was improved through an adaptation process.

Key Words: Major industrial risks, Mitigation/Adaptation, Oil and Gas, Risk assessment. Vulnerability assessment; Vulnerability Reduction