



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : **Bounif Salaheddine**

ben touati oussama

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : HYGIÈNE SÉCURITÉ ET INDUSTRIEL

OPTION : HYGIÈNE SÉCURITÉ ET INDUSTRIEL

Thème

**Etude de danger selon la réglementation algérienne
En cas Site de Stockage GPL Sonatrach Hassi
R'mel**

Jury de soutenance :


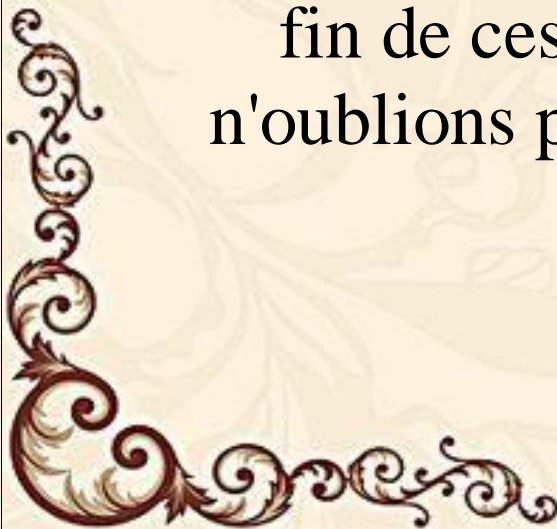
Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr.Mohamed Seddik HELLAS		Président Examineur Rapporteur Co-rapporteur (s'il y a lieu)

Promotion : 2025



Dédicaces

Tout d'abord, nous remercions Dieu
Tout-Puissant pour son succès et sa
facilitation de nos études
universitaires, et nous dédions nos
aimables paroles, d'abord à tous nos
parents qui ont été d'un grand
soutien depuis le début de nos
études, et nous adressons également
nos sincères remerciements à tous
les professeurs et médecins qui
nous ont fourni une grande quantité
d'informations importantes qui nous
seront très utiles à l'avenir, et à la
fin de ces remerciements, nous
n'oublions pas nos proches présents



Remerciements

Nous remercions Dieu en premier lieu, qu'il soit loué de m'avoir donné la force et la patience nécessaires pour accomplir ce travail

Tous nos Remerciements vont à notre Directeur de mémoire

« **Ms zerrouki HAMZA** » pour son aide morale et technique, ses conseils et sa patience durant la période de notre travail ;

Nous remercions infiniment « **Mr .HASSANI MOUADE** », pour leur générosité, aides, et précieux conseils dont il a fait preuve.

Un remerciement spécial pour « **Mr.Mohamed Seddik HELLAS** », pour leur soutien moral, scientifique, matériel et aussi pour leur encouragement.

Tous nos remerciements vont à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin afin que ce travail voie le jour.

CHAPITRE I

Table des matières

Introduction Générale :	1
I.1 . Introduction :	3
I.2 . Notions et définitions clés en étude de dangers :	3
I.3.1. Cadre Juridique Principal :	5
I.3.2. Installations Concernées :	5
I.3.3. Contenu de l'Étude de Danger :	5
I.3.4. Méthodologies Exigées :	6
I.4. Définition Méthodologie de l'étude de danger :	6
I.5. Identification des Dangers :	6
I.5.1. Collecte des données :	6
I.5.2. Identification systématique des dangers :	7
I.5.3 . Définition des enjeux :	7
I.6 Analyse des Risques :	8
I.6.1 Méthodes d'analyse :	8
I.6.2 Évaluation de la gravité et de la probabilité :	9
I.7. Barrières de Sécurité :	10
I.7.1 Identification des barrières existantes :	10
I.7.2. Évaluation de la performance des barrières :	11
I.8. Plan d'Intervention et de Gestion des Accidents :	12
I.8.1 Définition des mesures d'urgence :	12
I.8.2. Organisation des procédures :	12
I.9. Conformité Réglementaire :	13
I.9.1. Décrets et lois applicables :	13
I.9.2. Validation des études :	14
I.10. Actualisation de l'EDD :	15
I.10.1. Modifications de l'installation :	15
I.10.2. Retour d'expérience :	15
II.11. Méthodologie retenue dans l'étude de dangers :	16
I.12. Conclusion et Recommandations :	17

Chapitre II

II.1 . Introduction :	21
II.2. Système :	21
II.2.1 Composants du système :	21
II.3. Fonctionnement général :	22
II.4 Caractéristiques spécifiques du site de Laghouat :	22
II.5. Méthodologie :	22

II.5.1.Description de l'environnement, du site et des installations :.....	22
II.5.1.1 Description de l'environnement :.....	22
II.5.1.1.1 Géographie physique:	22
II.5.1.1.2.Climat et hydrologie:	23
II.5.2 Disposition du site SONATRACH Hassi R'Mel :.....	24
II.5.3 Description détaillée des sphères de stockage de GPL et de leurs équipements auxiliaires sur le site de Hassi R'Mel :.....	25
II.6. Équipement :	25
II.7.Analyse Préliminaire des Risques:	26
II.7.1.Identification des Dangers Potentiels:.....	26
II.7.1.1.BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion):.....	26
II.7.1.2 Incendie et Explosion:.....	27
II.7.1.3 Fuites et Émissions:.....	27
II.7.1.4 Défaillance Structurelle:	27
II.7.1.5 Risques liés aux Opérations et à la Maintenance :.....	28
II.7.2 Évaluation de la Probabilité et des Conséquences :	28
II.7.2.1 Probabilité:.....	28
II.7.2.2 Conséquences:	29
II.7.3 Mesures de Prévention et de Protection Préliminaires :	29
II.7.3.1 Mesures de Prévention:.....	29
II.7.3.2 Mesures de Protection:.....	30
II.7.4.Retour d'expérience dans le secteur d'activité:.....	31
II.8.Analyse détaillée des risques du GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) :	33
III.8.1.Application des méthodes d'analyse des risques :.....	35
III.8.1.1.Arbre de défaillance (AdD):.....	35
III.8.1.2.Arbre d'évènement (AdE):.....	44
III.8.1.3Définition des scénarios plausible générer d'une perte de confinement (fuite) :.....	49
II.9.Modélisation des effets de surpression par logiciel PHAST, cas de Hassi R'mel (d'une rupture catastrophique du ballon D108):.....	53
II.9.1.Présentation du champ de Hassi R'mel :.....	53
II.9.1.1.Situation géographique:	53
II.9.1.2.Organisation du champ:.....	54
III.9.1.3.Module MPP4:.....	54
III.9.1.4.Description du process :.....	55
III.9.1.5.Présentation de CSTF:.....	56
III.9.1.6.Sphère de GPL:.....	56
III.9.1.7.Ballon D108:.....	57
III.9.2.Description de logiciel PHAST :.....	57

II.9.3.Résultats de la modélisation par logiciel PHAST :.....	58
II.9.3.1.1.Modélisation par méthode Equivalent TNT.....	59
II.9.3.1.1.1.Modélisation de la rupture catastrophique	59
II.10. Conclusion:	60
II.11. Conclusion Générale de l'Étude de Dangers :	60
Références:	61

LISTE TABLEAU

Tableau 1 :climatique de la Wilaya de Laghouat.....	23
Tableau 2 : l'Hydrologie de la Wilaya de Laghouat.....	24
Tableau 3 : Retour d'expérience.....	33
Tableau 4 : Intervalles de fréquence de perte	36
Tableau 5 : Fréquence de perte au niveau des équipements	36
Tableau 6 : Probabilité d'ignition instantané.....	45
Tableau 7 : Source de probabilité d'ignition retardé (temps estimé 1 minute).....	46
Tableau 8 : Scénarios des accidents.....	52
Tableau 9: Caractéristiques de sphère de stockage de GPL	56
Tableau 10: Caractéristiques de ballon de reflux de GPL (D108)	57
Tableau 11: Distances d'effets de surpression (rupture catastrophique de ballon D108 (TNT))	60

LISTE FIGURE

Figure I-1 : Méthodologie de l'étude de dangers.....	17
Figure II-2 : AdD sur perte de confinement reservoir.....	38
Figure II- 3 : AdD sur perte de confinement pompe / compresseur.....	39
Figure II- 4 : AdD sur Fuite sur Bride.....	40
Figure II-5 : AdD Fuite sur vanne de sphere.....	41
Figure III-6 : AdD Fuite sur tuyauterie.....	42
Figure II-7 : AdD Fuite sur vanne de tuyauterie.....	43.
Figure II-8: Phénomène dangereux et leurs causes.....	45
Figure II- 9: l'arbre d'événement pour la perte de confinement.....	47
Figure II-10: Les différents phénomènes dangereux.....	48
Figure II-11 :Nœud papillon pour l'évènement perte de confinement du réservoir.....	50
Figure II-12: Rose de vent de Hassi R'mel.....	53
Figure II-13: La carte de champ de Hassi R'mel.....	54

Figure II-14: La surpression en fonction de la distance (rupture catastrophique du ballon D108(TNT))

..... **59**

Figure II-15: Illustration de surpression (rupture catastrophique du ballon D108 (TNT))59

ملخص

تتمثل أهمية دراسة المخاطر وفق التشريع الجزائري في توفير إطار منهجي متكامل يضمن التعرف المبكر على جميع مصادر الخطر وتحليلها بموضوعية، ثم تقييم فعالية التدابير الوقائية والتصحيحية لضمان بقاء مستوى المخاطر ضمن الحدود المقبولة. تتبنى مدعومة بنمذجة محوسبة عبر برامج — Tree Analysis و Bow-Tie و HAZOP هذه الدراسة منهجيات معترفاً بها دولياً— مثل على الأرواح والممتلكات والبيئة. (BLEVE انفجارات، تسربات، أو ظواهر) و، لتقدير تأثير السيناريوهات الحرجة PHAST مثل مع اعتماد (NFPA-58) كما تؤكد على أهمية الالتزام بالقوانين الوطنية (القانون 04-20، المرسوم 13-218) والمعايير الدولية مراجعة دورية وتحديث مستمر لضمان فاعلية الإجراءات ومرورها أمام التغيرات التقنية والبيئية

Résumé en français

L'importance de l'étude des dangers selon la législation algérienne réside dans la mise en place d'un cadre méthodologique complet garantissant l'identification précoce de toutes les sources de danger et leur analyse objective, suivie de l'évaluation de l'efficacité des mesures préventives et correctives afin de maintenir le niveau de risque dans des limites acceptables. Cette étude adopte des méthodologies reconnues au niveau international – telles que HAZOP, Bow-Tie et l'analyse en arbre – soutenues par une modélisation assistée par logiciel via des outils comme PHAST, pour estimer l'impact des scénarios critiques (explosions, fuites ou phénomènes BLEVE) sur les personnes, les biens et l'environnement. Elle souligne également l'importance du respect des textes nationaux (loi n° 04-20, décret 13-218) et des normes internationales (NFPA 58), tout en préconisant une révision périodique et une actualisation continue pour garantir l'efficacité des mesures et leur adaptabilité face aux évolutions techniques et environnementales.

Summary in English

The significance of hazard studies under Algerian legislation lies in providing a comprehensive methodological framework that ensures early identification of all hazard sources and their objective analysis, followed by evaluating the effectiveness of preventive and corrective measures to maintain risk levels within acceptable limits. This study employs internationally recognized methodologies – such as HAZOP, Bow-Tie, and Tree Analysis – supported by computerized modeling using software tools like PHAST, to estimate the impact of critical scenarios (explosions, leaks, or BLEVE phenomena) on human lives, property, and the environment. It also emphasizes the importance of compliance with national regulations (Law No. 04-20, Executive Decree 13-218) and international standards (NFPA 58), while advocating periodic review and continuous updating to ensure the measures' effectiveness and adaptability to technical and environmental changes.

les abréviations

- **EDD** : Étude Des Dangers
- **GPL** : Gaz de Pétrole Liquéfié
- **ADD** : Arbre de Défaillances
- **AdE** : Arbre d'Événements
- **APR** : Analyse Préliminaire des Risques
- **HAZOP** : Hazard and Operability Study
- **AMDEC** : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
- **BLEVE** : Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (Explosion de vapeur en expansion de liquide bouillant)
- **UVCE** : Unconfined Vapor Cloud Explosion (Explosion de nuage de vapeur non confiné)
- **POI** : Plan d'Opération Interne
- **PPI** : Plan Particulier d'Intervention
- **IC** : Installations Classées
- **SGS** : Système de Gestion de la Sécurité
- **MMR** : Mesures de Maîtrise des Risques
- **REX** : Retour d'Expérience
- **ALARP** : As Low As Reasonably Practicable (Aussi bas que raisonnablement possible)
- **HSE** : Hygiène, Sécurité, Environnement
- **CSTF** : Centre de Stockage et de Transfert des Fluides
- **MPP** : Module Processing Plant (Unité de traitement de gaz)
- **PHAST** : Process Hazard Analysis Software Tool (Outil logiciel d'analyse des risques de procédé)
- **TNT** : Trinitrotoluène (Méthode "Equivalent TNT" pour la modélisation d'explosion)
- **PSV** : Pressure Safety Valve (Soupape de sûreté)

- **ESD** : Emergency Shutdown System (Système d'arrêt d'urgence)
- **SOP** : Standard Operating Procedure (Procédure opérationnelle standard)
- **AIM** : Asset Integrity Management (Gestion de l'intégrité des actifs)
- **NFPA** : National Fire Protection Association (Organisme de normalisation américain)
- **API** : American Petroleum Institute (Organisme de normalisation pétrolière)
- **ASME** : American Society of Mechanical Engineers (Organisme de normalisation technique)
- **DCS** : Distributed Control System (Système de contrôle distribué)
- **PT** : Pression-Température
- **P&ID** : Piping and Instrumentation Diagram (Schéma de tuyauterie et d'instrumentation)
- **FDS** : Fiche de Données de Sécurité

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale :

Dans le domaine de la sécurité industrielle, l'**étude des dangers** constitue une étape cruciale visant à prévenir les accidents et à maîtriser les risques liés aux produits et procédés industriels. Lorsqu'il s'agit du **Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL)**, cette étude revêt une importance capitale, car le GPL — du fait de sa forte inflammabilité et de sa densité supérieure à celle de l'air — expose les installations et leur environnement au risque d'incendie et d'explosion en cas de fuite ou de défaillance opérationnelle. En vertu de la **loi n°19-13 du 11 décembre 2019 relative aux activités d'hydrocarbures**, toute installation de stockage ou de distribution de GPL en Algérie est tenue de réaliser une étude de dangers approfondie, incluant l'analyse des points critiques et l'évaluation des scénarios accidentels potentiels, dans le but de prévenir tout impact sur la sécurité publique et l'environnement [1].

Le présent mémoire vise à appliquer plusieurs méthodologies analytiques au **complexe Sonatrach** dédié au stockage et à la distribution du GPL, afin d'identifier les points faibles dans le système d'approvisionnement et de distribution, et de proposer ensuite des mesures techniques et organisationnelles adaptées. Parmi les méthodes retenues, on trouve :

- **L'arbre de défaillances (ADD)** : méthode déductive qui part de l'événement redouté (ex. : explosion d'un réservoir de GPL) et identifie toutes les causes potentielles pouvant y conduire à l'aide de portes logiques (ET, OU). Cette approche permet d'estimer la probabilité de l'événement et de hiérarchiser les mesures correctives [2].
- **L'arbre des événements (AdE)** : approche inductive qui part d'un événement initiateur (ex. : défaillance d'une soupape ou erreur humaine) et trace les différentes évolutions possibles en fonction de l'efficacité des barrières de sécurité, menant à plusieurs scénarios finaux [3].
- **Le nœud papillon (méthode Bow-tie)** : représente la combinaison graphique des deux approches précédentes. À gauche, on trouve les causes menant à l'événement central (ADD), à droite les conséquences possibles (AdE). Cette méthode offre une vue synthétique et globale des scénarios d'accident et met en évidence les barrières de prévention et d'atténuation [4].

L'association de ces trois outils — déductif (ADD), inductif (AdE) et synthétique (nœud papillon) — permet une couverture complète des scénarios de fuite ou d'explosion de GPL au sein du complexe Sonatrach. Cette analyse sera étendue aux cas de défaillances techniques (fuites internes, ruptures de tuyauterie), d'agressions externes (incendie, impact mécanique), ou encore à des événements complexes comme un **BLEVE**. Les analyses s'appuieront également sur les normes internationales de référence telles que la **NFPA 58**, qui définit les exigences de sécurité applicables au stockage et au transport du GPL [5].

Ce mémoire est structuré en trois axes principaux :

1. Une revue réglementaire des exigences algériennes en matière de sécurité liées au GPL, mise en parallèle avec les standards internationaux.
2. Une application détaillée des méthodes ADD, AdE et du nœud papillon à des cas concrets d'exploitation du complexe.

3. Une modélisation des scénarios accidentels à l'aide de logiciels spécialisés (PHAST, ALOHA), suivie de recommandations techniques, organisationnelles et humaines permettant de réduire les risques identifiés.

Cette approche intégrée vise à fournir un cadre professionnel et rigoureux pour l'étude des dangers du GPL au sein du complexe Sonatrach, tout en assurant le respect de la législation algérienne et l'alignement avec les meilleures pratiques internationales, afin d'aider les responsables HSE à prendre des décisions fondées sur des analyses techniques fiables.

I.1 . Introduction :

L'étude de dangers constitue un outil central dans la gestion des risques industriels. Il s'agit d'un document d'analyse technique visant à identifier et à évaluer les dangers potentiels liés à une activité ou à une installation susceptible de représenter une menace grave pour la sécurité publique ou l'environnement. En Algérie, cette étude est encadrée par un dispositif juridique strict, notamment **la loi n° 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable**, qui rend obligatoire la réalisation des études de dangers pour les installations classées ou sensibles, tout en définissant les responsabilités des exploitants et des autorités locales.

En application de cette loi, **le décret exécutif n° 05-26 du 9 janvier 2005** fixe le contenu et les conditions d'élaboration de l'étude de dangers, et impose aux exploitants industriels d'intégrer cette étude dans les dossiers de demande ou de renouvellement d'autorisation d'exploitation. Il les oblige également à mettre en œuvre des mesures permettant de réduire les risques à un **niveau acceptable (risque acceptable)** à travers des dispositifs préventifs, organisationnels et techniques.

Sur le plan conceptuel, l'étude de dangers repose sur l'identification du **danger**, défini comme une propriété intrinsèque d'une substance ou d'une situation pouvant causer un dommage. Ce danger n'est activé qu'en présence d'un **aléa**, c'est-à-dire un événement déclencheur tel qu'un dysfonctionnement technique, une erreur humaine ou un phénomène naturel. La **vulnérabilité** des cibles potentielles (populations, environnement, infrastructures) est également prise en compte dans l'évaluation du **risque**, combinaison de la **gravité** des conséquences et de leur **probabilité** d'occurrence.

L'étude couvre aussi l'analyse des **phénomènes dangereux** tels que les explosions, incendies ou rejets toxiques, à travers la construction de **scénarios de référence** scientifiquement crédibles, basés sur les données physico-chimiques, les schémas d'aménagement de l'installation et l'identification des défaillances potentielles. Une hiérarchisation des risques est ensuite établie selon leur **acceptabilité**, en se référant aux normes nationales et internationales, afin de décider des actions de maîtrise ou de surveillance à mettre en œuvre.

En définitive, cette étude vise à **maîtriser les dangers industriels** dans les limites de sécurité acceptables, tout en garantissant le **respect de la réglementation algérienne** en vigueur, à travers un dispositif cohérent de prévention, d'alerte et de réponse, conforme aux exigences des autorités publiques.

I.2 . Notions et définitions clés en étude de dangers :

- **Risque** : possibilité qu'un événement indésirable survienne, combinant la probabilité d'apparition et la gravité de ses conséquences
- **Aléa** : tournure imprévisible qu'un événement peut prendre ; c'est le "hasard" associé à une situation.

- **Danger** : cause potentielle de dommage (pour une personne, un bien ou l'environnement).
- **Vulnérabilité** : faiblesse d'un système, d'un procédé ou d'une population face à un danger, qui augmente la probabilité ou la gravité d'un dommage.
- **Domage** : altération (physique, matérielle ou morale) d'une personne ou d'un bien causée par un événement
- **Gravité** : niveau de sévérité des conséquences d'un danger (entendue comme l'ampleur du dommage si le risque se réalise).
- **Probabilité** : mesure de la chance qu'un événement dangereux survienne, exprimée entre 0 (impossible) et 1 (certain).
- **Risque non acceptable / acceptable** :
 - **Risque acceptable** : niveau de risque jugé tolérable par l'organisation ou la réglementation, sans nécessiter de mesures supplémentaires.
 - **Risque non acceptable** : niveau de risque au-delà du seuil toléré, qui exige des actions de réduction immédiates.
- **Risque majeur** : événement incertain dont les effets négatifs sont très importants (souvent rares, mais potentiellement catastrophiques)
- **Incident** : événement inattendu, généralement sans conséquence grave immédiate, mais pouvant dégénérer en accident.
- **Accident** : événement non souhaité et imprévu, causant un dommage à des personnes, des biens ou à l'environnement.
- **Étude de danger** : analyse obligatoire visant à identifier et évaluer les risques d'accidents majeurs liés à une installation, et à définir les mesures de prévention.
- **Phénomène dangereux** : cause capable de provoquer une lésion ou un dommage (synonyme de "danger" dans certains contextes).
- **Explosion** : augmentation très rapide de volume avec libération d'énergie (gaz, chaleur, bruit) pouvant causer des dégâts importants
- **Incendie** : feu non maîtrisé, extensible dans le temps et l'espace, entraînant généralement des dégâts importants.
- **Situation dangereuse** : situation dans laquelle une personne ou un objet est exposé à un danger sans que celui-ci se soit encore matérialisé.

- **Événement dangereux** : fait ou circonstance susceptible de provoquer un dommage si aucune mesure n'est prise pour le maîtriser.

I.3. concepte etude da danger :

L'étude de danger (**Étude Des Dangers** ou **EDD**) selon les normes algériennes est une démarche **obligatoire pour les installations classées (IC)** régie principalement par le **Décret Exécutif n° 13-218 du 18 Joumada El Oula 1434 correspondant au 30 mars 2013**. Voici les points clés à connaître :

I.3.1. Cadre Juridique Principal :

- **Décret Exécutif n° 13-218** : Définit les règles de prévention des risques industriels, accidents majeurs, et pollutions.
- **Loi n° 03-10 relative à la protection de l'environnement** : Cadre général pour les études d'impact environnemental, souvent liée à l'EDD.
- **Arrêtés Ministériels** : Complètent le décret (ex. : seuils de classement, contenu technique).

I.3.2. Installations Concernées :

L'EDD est obligatoire pour les **établissements classés** (seuil haut ou bas) et autres IC présentant des risques significatifs :

- Sites pétrochimiques, raffineries.
- Stockage de produits chimiques dangereux.
- Industries pharmaceutiques, agroalimentaires (utilisation d'ammoniac, etc.).
- Décharges contrôlées, stations d'épuration.

I.3.3. Contenu de l'Étude de Danger :

 **L'EDD doit inclure :**

- **Identification des dangers** : Produits dangereux, équipements critiques.
- **Analyse des scénarios de risques** : Incendie, explosion, fuite toxique, pollution.
- **Modélisation des effets** : Rayon d'impact thermique, surpression, dispersion de toxiques.
- **Mesures de prévention/réduction** : Systèmes de sécurité, plans d'urgence, barrières techniques.
- **Plan de Maîtrise de l'Urbanisation (PMU)** : Zones d'exclusion autour du site.
- **Plan d'Opération Interne (POI)** : Organisation des secours internes.

I.3.4. Méthodologies Exigées

- **Analyse préliminaire des risques** (APR, HAZOP).
- **Arbres de défaillance** (ADD).
- **Calculs de probabilité** (pour les scénarios critiques).
- **Cartographie des risques** (logiciels de modélisation : ALOHA, PHAST, etc.).

I.4. Définition Méthodologie de l'étude de danger :

La méthodologie de l'étude de danger est une démarche systématique et structurée visant à identifier, évaluer et maîtriser les risques potentiels liés à une installation, une activité ou un processus. Elle comprend plusieurs étapes, de l'identification des dangers à la définition des mesures de prévention et de secours.

I.5. Identification des Dangers :

La première étape fondamentale de toute Étude de Dangers (EDD) consiste en l'identification exhaustive et systématique des dangers potentiels présents au sein de l'installation industrielle et de son environnement immédiat. Cette phase cruciale jette les bases de l'ensemble de l'analyse de risques qui suivra. Sans une identification complète et précise des dangers, l'évaluation des risques serait incomplète et potentiellement trompeuse, compromettant ainsi l'efficacité des mesures de maîtrise mises en place. Cette étape initiale se décompose généralement en trois sous-étapes interdépendantes : la collecte des données, l'identification proprement dite des dangers et la définition des enjeux potentiellement affectés.

I.5.1. Collecte des données :

Avant même de chercher à identifier les dangers, il est indispensable de rassembler une quantité significative d'informations détaillées et fiables concernant l'installation, ses procédés, les substances utilisées et son environnement. Cette collecte de données constitue le socle sur lequel reposera toute l'analyse. Les informations à collecter sont variées et couvrent plusieurs aspects. Il s'agit d'abord de décrire précisément l'installation elle-même : ses différentes unités, ses équipements principaux (réacteurs, colonnes de distillation, réservoirs de stockage, tuyauteries, etc.), leurs caractéristiques techniques, leur âge, leur état de maintenance. Il faut également obtenir les plans de l'installation (plans de circulation, plans des réseaux, P&ID - Piping and Instrumentation Diagrams), qui sont essentiels pour comprendre les flux de matières et d'énergie ainsi que les systèmes de contrôle et de sécurité. Un inventaire exhaustif des substances et matières dangereuses présentes sur le site est ensuite nécessaire. Pour chaque substance, il convient de réunir ses propriétés physicochimiques (inflammabilité, toxicité, réactivité, conditions de stockage), les quantités maximales susceptibles d'être présentes, et les fiches de données de sécurité (FDS). La compréhension fine des procédés mis en œuvre est également capitale : description des réactions chimiques, des opérations unitaires (transfert de chaleur, séparation, etc.), des paramètres opératoires (température, pression, débits), et des modes de fonctionnement (continu, discontinu, démarrage, arrêt, maintenance). Enfin, la collecte de données doit s'étendre à l'environnement de l'installation : caractéristiques géographiques et topographiques du site, conditions météorologiques locales prédominantes, occupation du sol

environnement (zones résidentielles, autres industries, infrastructures sensibles, zones naturelles protégées), et identification des voies de communication. La qualité et l'exhaustivité des données collectées à ce stade sont déterminantes pour la pertinence des étapes ultérieures.

I.5.2. Identification systématique des dangers :

Une fois les données collectées et analysées, l'identification systématique des dangers peut commencer. L'objectif est de recenser tous les événements ou situations susceptibles de conduire à un accident majeur. Cette identification ne doit pas se limiter aux dangers les plus évidents mais doit être aussi exhaustive que possible, en considérant toutes les sources potentielles de risque. Plusieurs méthodes et outils peuvent être employés, souvent de manière complémentaire, pour garantir cette exhaustivité. Les analyses préliminaires de risques (APR) sont fréquemment utilisées à ce stade. Elles consistent à examiner chaque unité ou section de l'installation pour identifier les dangers potentiels liés aux substances, aux équipements et aux opérations. Des listes de contrôle (check-lists) basées sur l'expérience et les réglementations peuvent également guider l'analyse en s'assurant que les dangers courants associés à certains types d'équipements ou de substances ne sont pas oubliés. L'analyse historique des incidents et accidents survenus sur le site ou sur des installations similaires (retour d'expérience interne et externe) est une source d'information précieuse pour identifier des dangers qui se sont déjà manifestés. Il est crucial de considérer à la fois les sources de dangers internes à l'installation (défaillance d'un équipement, erreur humaine, perte de confinement, réaction chimique incontrôlée, etc.) et les agressions externes (événements naturels comme les séismes ou inondations, chute d'avion, actes de malveillance, effets domino provenant d'installations voisines). Des méthodes plus structurées comme l'analyse HAZOP (Hazard and Operability study), bien que souvent utilisées plus en détail lors de l'analyse des risques, peuvent déjà contribuer à l'identification des dangers en examinant systématiquement les déviations possibles des paramètres opératoires. Le résultat de cette sous-étape est une liste la plus complète possible des potentiels de dangers associés à l'installation.

I.5.3 .Définition des enjeux :

Parallèlement ou consécutivement à l'identification des dangers, il est nécessaire de définir précisément les enjeux qui pourraient être affectés en cas d'accident. Les enjeux représentent les cibles potentielles dont la protection est l'objectif final de la démarche de maîtrise des risques. On distingue classiquement plusieurs catégories d'enjeux. Les enjeux humains sont primordiaux : il s'agit d'une part du personnel travaillant sur le site (employés, sous-traitants) et d'autre part de la population environnante (riverains, personnes présentes dans les établissements recevant du public, usagers des voies de communication proches). Il est important de cartographier la localisation et la densité de ces populations. Les enjeux environnementaux concernent les milieux naturels susceptibles d'être impactés par une pollution accidentelle : les eaux de surface et souterraines, les sols, l'air, la faune et la flore, ainsi que les écosystèmes sensibles ou protégés situés à proximité. Enfin, les enjeux matériels et économiques incluent les biens situés sur le site lui-même (équipements, bâtiments, stocks) et hors du site (autres installations industrielles, infrastructures publiques ou privées, habitations, cultures agricoles). L'évaluation de la vulnérabilité de ces différents enjeux face aux effets potentiels des accidents identifiés (effets thermiques, mécaniques liés à une surpression, toxiques) permet de mieux appréhender la gravité potentielle des scénarios d'accidents qui seront étudiés dans la phase suivante d'analyse des risques.

I.6 Analyse des Risques :

Une fois les dangers potentiels identifiés et les enjeux définis, l'étape suivante de la méthodologie de l'Étude de Dangers (EDD) est l'analyse approfondie des risques. Cette phase constitue le cœur technique de l'EDD et vise à comprendre comment les dangers identifiés peuvent conduire à des événements redoutés (accidents) et à évaluer l'importance de ces risques. Elle permet de passer d'une simple liste de dangers à une hiérarchisation des scénarios d'accidents en fonction de leur criticité, combinant leur probabilité d'occurrence et la gravité de leurs conséquences potentielles. Cette analyse s'appuie sur des méthodes spécifiques et une évaluation rigoureuse de la gravité et de la probabilité.

I.6.1 Méthodes d'analyse :

Le choix de la ou des méthodes d'analyse de risques est crucial et dépend de la complexité de l'installation, de la nature des dangers, du niveau de détail requis et des objectifs spécifiques de l'étude. Il n'existe pas une méthode unique universelle, et souvent, une combinaison de plusieurs approches est nécessaire pour couvrir l'ensemble des aspects du risque. L'objectif commun de ces méthodes est d'identifier les séquences d'événements (scénarios) qui peuvent mener d'une cause initiale (défaillance d'équipement, erreur humaine, agression externe) à un événement redouté (fuite, incendie, explosion, dispersion toxique). Parmi les méthodes les plus couramment utilisées, on peut citer :

L'Analyse HAZOP (Hazard and Operability study) :

Méthode systématique et structurée, particulièrement adaptée aux installations de procédé (chimie, pétrochimie). Elle consiste à examiner chaque ligne et nœud d'un schéma P&ID en appliquant des "mots-clés" (ex: PAS DE, PLUS DE, MOINS DE, INVERSE) à des paramètres de procédé (débit, température, pression, niveau) pour identifier les déviations potentielles par rapport à l'intention de conception, leurs causes possibles et leurs conséquences. C'est une méthode très efficace pour identifier les risques liés au fonctionnement du procédé lui-même.

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) :

Principalement utilisée pour analyser la fiabilité des équipements ou des systèmes. Elle consiste à identifier les modes de défaillance possibles de chaque composant, à analyser leurs effets sur le système global et à évaluer leur criticité (généralement basée sur la fréquence, la gravité et la détectabilité de la défaillance).

L'Arbre des Causes (ou Arbre de Défaillances) :

Méthode déductive qui part d'un événement redouté (événement sommet) et recherche de manière systématique toutes les combinaisons possibles d'événements de base (défaillances matérielles, erreurs humaines) qui peuvent conduire à cet événement sommet. Elle est utile pour calculer la probabilité d'occurrence de l'événement redouté.

L'Arbre d'Événements :

Méthode inductive qui part d'un événement initiateur (ex: fuite) et explore les différentes séquences possibles d'événements qui peuvent en découler, en fonction du succès ou de l'échec des barrières de sécurité rencontrées. Elle permet d'identifier les différentes conséquences possibles d'un même événement initiateur et d'estimer leur probabilité.

La Méthode des Nœuds Papillons (Bow-Tie) :

Méthode visuelle qui combine les approches de l'arbre des causes et de l'arbre d'événements autour d'un événement redouté central. Elle permet de représenter sur un même diagramme les causes potentielles (à gauche), les barrières de prévention, l'événement redouté (au centre), les conséquences potentielles (à droite) et les barrières de limitation/mitigation. C'est un outil puissant pour visualiser et communiquer la gestion d'un risque spécifique.

Le choix et la mise en œuvre de ces méthodes nécessitent une expertise spécifique et sont généralement réalisés au sein d'un groupe de travail pluridisciplinaire réunissant des experts du procédé, de la maintenance, de la sécurité et de l'exploitation

I.6.2 Évaluation de la gravité et de la probabilité :

L'analyse des risques ne se limite pas à l'identification des scénarios d'accidents ; elle doit également permettre d'évaluer l'importance de chaque risque identifié. Cette évaluation repose sur deux dimensions clés : la gravité des conséquences potentielles et la probabilité (ou fréquence) d'occurrence du scénario.

L'évaluation de la gravité

consiste à estimer l'ampleur des dommages potentiels sur les enjeux (humains, environnementaux, matériels) pour chaque scénario d'accident identifié. Cela implique souvent la modélisation des phénomènes dangereux (dispersion atmosphérique de produits toxiques, rayonnement thermique d'un incendie, onde de surpression d'une explosion) pour déterminer les zones d'effets potentiels (seuils létaux, seuils de blessures irréversibles, seuils de dommages matériels significatifs). La gravité est ensuite classée selon une échelle prédéfinie (par exemple : mineure, sérieuse, critique, catastrophique) en fonction de l'impact maximal potentiel sur les enjeux les plus vulnérables situés dans les zones d'effets.

L'évaluation de la probabilité (ou fréquence) :

consiste à estimer la vraisemblance qu'un scénario d'accident se produise. Cette estimation peut être quantitative (exprimée en fréquence annuelle, par exemple 10^{-4} par an) ou qualitative (exprimée selon une échelle : très improbable, improbable, possible, probable, fréquent). Elle s'appuie sur des données de fiabilité des équipements (bases de données génériques ou spécifiques au site), des données sur la fréquence des erreurs humaines, la fréquence des événements externes, et prend en compte l'efficacité des barrières de prévention identifiées (qui réduisent la probabilité que l'événement initiateur ne survienne ou ne dégénère en événement redouté).

Une fois la gravité et la probabilité évaluées pour chaque scénario, les risques peuvent être positionnés sur une matrice de criticité (ou grille de risques). Cette matrice croise les échelles de gravité et de probabilité et permet de visualiser le niveau de risque associé à chaque scénario. Des

zones de risques inacceptables, de risques tolérables sous condition (nécessitant des mesures de réduction supplémentaires - principe ALARP : As Low As Reasonably Practicable) et de risques acceptables sont généralement définies sur cette matrice. Cette hiérarchisation des risques est essentielle pour prioriser les actions de maîtrise et concentrer les efforts sur les scénarios les plus critiques.

I.7. Barrières de Sécurité :

Suite à l'analyse des risques qui a permis d'identifier les scénarios d'accidents potentiels et d'évaluer leur criticité, l'étape suivante de la méthodologie de l'Étude De Dangers (EDD) se concentre sur les barrières de sécurité. Ces barrières sont des éléments essentiels de la maîtrise des risques. Elles désignent l'ensemble des mesures techniques, humaines et organisationnelles mises en place pour prévenir l'occurrence des événements initiateurs, pour empêcher la dégénérescence d'un incident en accident majeur, ou pour en limiter les conséquences. L'identification et l'évaluation rigoureuse de ces

barrières sont indispensables pour juger de l'adéquation du niveau de sécurité de l'installation et pour définir d'éventuelles mesures complémentaires.

I.7.1 Identification des barrières existantes :

La première tâche consiste à recenser de manière exhaustive toutes les barrières de sécurité déjà en place sur l'installation. Ces barrières peuvent être de natures très diverses et il est utile de les catégoriser pour s'assurer d'une couverture complète. On distingue principalement les barrières techniques, les barrières humaines et les barrières organisationnelles.

Les **barrières techniques** regroupent tous les dispositifs matériels conçus pour prévenir ou maîtriser un risque. Cela inclut les systèmes de détection (détecteurs de gaz, de fumée, de flamme, de niveau, de pression, de température), les systèmes d'alarme et d'alerte, les systèmes d'arrêt d'urgence (automatiques ou manuels), les dispositifs de sécurité intrinsèque (soupapes de sécurité, disques de rupture, événements), les systèmes d'extinction automatique (sprinklers, déluges d'eau, systèmes à gaz inerte ou à mousse), les dispositifs de confinement (rétentions sous les réservoirs, murs anti-souffle, bâtiments confinés), les systèmes de traitement des effluents ou des émissions, et les équipements de protection individuelle (EPI) spécifiques.

Les **barrières humaines** font référence aux actions réalisées par le personnel pour assurer la sécurité. Cela comprend la surveillance des paramètres de fonctionnement par les opérateurs, les rondes de sécurité, les interventions manuelles pour corriger une dérive ou maîtriser un incident naissant, l'application correcte des procédures opératoires et de sécurité. La compétence, la formation, la vigilance et la réactivité du personnel sont des composantes clés de l'efficacité de ces barrières.

Les **barrières organisationnelles** concernent la structure et les règles mises en place par l'exploitant pour gérer la sécurité au quotidien. Elles englobent les procédures opératoires (conduite normale, démarrage, arrêt, situations d'urgence), les consignes de sécurité, les permis de travaux (feu, pénétrant, etc.), les programmes de maintenance préventive et corrective des équipements critiques, le système de gestion des modifications (pour s'assurer que les changements n'introduisent pas de nouveaux risques), la formation et l'habilitation du personnel, l'organisation des secours internes, les audits de sécurité réguliers, et plus globalement, le Système de Gestion de la Sécurité (SGS) de

l'établissement. Ces barrières organisationnelles sont fondamentales car elles conditionnent souvent l'efficacité des barrières techniques et humaines.

L'identification de ces barrières doit être réalisée de manière systématique pour chaque scénario d'accident étudié lors de l'analyse des risques, en précisant leur rôle (prévention, détection, intervention, limitation).

I.7.2. Évaluation de la performance des barrières :

Identifier les barrières ne suffit pas ; il est crucial d'évaluer leur performance réelle ou attendue. Une barrière n'est utile que si elle est suffisamment fiable et efficace pour remplir son rôle lorsque cela est nécessaire. L'évaluation de la performance vise donc à déterminer la capacité de chaque barrière (ou combinaison de barrières) à prévenir l'événement redouté ou à en limiter les conséquences, et à identifier ses potentielles défaillances.

L'analyse de la fiabilité concerne principalement les barrières techniques. Elle cherche à estimer la probabilité qu'une barrière fonctionne correctement sur demande. Cela peut être fait en utilisant des données de fiabilité issues de bases de données génériques ou spécifiques, en tenant compte des modes de défaillance potentiels (défaillance à la sollicitation, défaillance en fonctionnement, défaillance non détectée), de la redondance éventuelle des systèmes, et de la qualité de la maintenance et des tests périodiques effectués. Des méthodes comme l'AMDEC ou les arbres de défaillances peuvent être utilisées pour analyser la fiabilité de systèmes de sécurité complexes.

L'analyse de l'efficacité évalue dans quelle mesure la barrière, si elle fonctionne, atteint l'objectif de sécurité visé. Par exemple, une soupape de sécurité est-elle correctement dimensionnée pour évacuer le débit requis ? Un système de détection est-il suffisamment sensible et rapide ? Une procédure d'urgence est-elle claire, connue et applicable par le personnel ? L'efficacité dépend de la conception de la barrière, de son adéquation au risque visé, et des conditions de son déploiement.

L'évaluation doit également prendre en compte **les défaillances potentielles des barrières**, y compris les défaillances de cause commune (un même événement externe affectant plusieurs barrières redondantes) et les possibilités de contournement ou de neutralisation (volontaire ou involontaire) des dispositifs de sécurité. La robustesse des barrières face aux erreurs humaines et aux conditions dégradées doit être examinée.

Dans de nombreuses approches modernes d'EDD, les barrières jugées critiques pour la maîtrise d'un risque majeur sont formalisées sous le terme de **Mesures de Maîtrise des Risques (MMR)**. Pour chaque MMR, l'exploitant doit démontrer son efficacité, sa fiabilité, sa testabilité et sa maintenabilité. L'évaluation de la performance des barrières permet ainsi d'affiner l'estimation de la probabilité des scénarios d'accidents (en tenant compte de la réduction apportée par les barrières de prévention) et de la gravité des conséquences (en tenant compte de l'atténuation apportée par les barrières de

limitation). Cette évaluation est essentielle pour juger si le niveau de risque résiduel est acceptable ou si des barrières supplémentaires sont nécessaires.

I.8. Plan d'Intervention et de Gestion des Accidents :

Même avec une identification rigoureuse des dangers, une analyse approfondie des risques et la mise en place de barrières de sécurité performantes, la possibilité d'un accident industriel ne peut jamais être totalement écartée. Il est donc impératif d'anticiper ces situations et de préparer une réponse organisée et efficace pour en limiter les conséquences humaines, environnementales et matérielles. La quatrième étape de la méthodologie de l'Étude de Dangers (EDD), telle que présentée, concerne l'élaboration du plan d'intervention et de gestion des accidents. Ce plan détaille les mesures à prendre et l'organisation à mettre en œuvre en cas de sinistre, assurant ainsi une réaction rapide et coordonnée

I.8.1 Définition des mesures d'urgence :

Cette première sous-étape vise à définir concrètement les actions à entreprendre dès la détection d'un incident ou d'un accident. Il ne s'agit pas seulement de réagir, mais aussi d'activer les dernières lignes de défense pour protéger les enjeux. Les mesures définies doivent être adaptées aux scénarios d'accidents identifiés lors de l'analyse des risques.

Cela inclut d'abord la définition de mesures de prévention et de protection complémentaires qui pourraient être activées en situation d'urgence. Par exemple, l'arrêt coordonné d'unités de production non directement affectées mais potentiellement menacées, la mise en sécurité spécifique de certains équipements, ou l'activation de systèmes de confinement supplémentaires (rideaux d'eau pour rabattre un nuage toxique, etc.).

Ensuite, il faut établir les stratégies d'intervention pour chaque type d'accident majeur potentiel (incendie, explosion, fuite toxique, déversement). Ces stratégies précisent les objectifs prioritaires (sauvetage de vies humaines, protection de l'environnement, limitation des dégâts matériels), les moyens d'intervention à mobiliser (équipes internes, équipements spécifiques comme les lances à incendie, les réserves d'émulseur, les équipements de protection individuelle adaptés), et les tactiques d'intervention (comment attaquer un feu, comment colmater une fuite, comment gérer un nuage toxique). Ces stratégies doivent tenir compte des dangers spécifiques des produits impliqués et des contraintes du site.

Enfin, les mesures d'urgence comprennent également les actions visant à protéger les personnes : déclenchement des alarmes et de l'alerte (interne et externe si nécessaire), évacuation de certaines zones ou confinement du personnel dans des locaux sécurisés, mise à disposition des équipements de première urgence (douches de sécurité, trousse de secours), et organisation des premiers secours aux blessés éventuels.

I.8.2. Organisation des procédures :

Définir les mesures ne suffit pas ; il faut également structurer l'organisation qui permettra leur mise en œuvre efficace et coordonnée en situation de crise. Cette organisation est formalisée dans des documents opérationnels et doit être régulièrement testée.

Le **Plan d'Opération Interne (POI)** est le document clé qui décrit l'organisation de la réponse interne de l'exploitant face à un sinistre dont les conséquences restent confinées à l'intérieur du site. Il précise les rôles et responsabilités de chacun (directeur des opérations internes, équipes d'intervention, équipes de support), la chaîne de commandement, les modalités d'alerte et de communication (interne et externe), les moyens matériels et humains mobilisables, les procédures d'intervention détaillées pour les différents scénarios, et les plans d'évacuation ou de confinement.

Lorsque les conséquences d'un accident sont susceptibles de dépasser les limites du site et d'affecter les populations ou l'environnement extérieur, une coordination avec les secours publics externes (pompiers, SAMU, gendarmerie, protection civile) est nécessaire. Pour les installations présentant les risques les plus importants (souvent les sites Seveso), cette coordination est formalisée dans un **Plan Particulier d'Intervention (PPI)**, élaboré sous l'autorité du Préfet en collaboration avec l'exploitant et les services de secours. L'EDD fournit les éléments techniques (zones d'effets potentiels, cinétique des phénomènes) nécessaires à l'élaboration du PPI. Le POI doit être cohérent avec le PPI et prévoir les modalités d'accueil et de collaboration avec les secours externes.

L'efficacité de cette organisation repose enfin sur la formation et les exercices réguliers. Tout le personnel concerné, et en particulier les équipes d'intervention, doit être formé aux procédures d'urgence, à l'utilisation des équipements de sécurité et d'intervention, et aux gestes de premiers secours. Des exercices et simulations d'accidents doivent être organisés périodiquement (souvent annuellement) pour tester la chaîne d'alerte, la mobilisation des équipes, l'efficacité des stratégies d'intervention, la coordination interne et externe, et pour identifier les points faibles et les axes d'amélioration du dispositif. Le retour d'expérience de ces exercices est essentiel pour maintenir un haut niveau de préparation.

I.9. Conformité Réglementaire :

L'Étude de Dangers (EDD) n'est pas seulement un exercice technique interne à l'entreprise ; elle s'inscrit dans un cadre légal et réglementaire strict qui vise à garantir un niveau de sécurité acceptable pour les travailleurs, les populations et l'environnement. La conformité à ces exigences est une composante essentielle de la démarche. Cette cinquième étape de la méthodologie EDD, telle que présentée dans le schéma initial [faisant référence au contexte algérien], aborde spécifiquement cet aspect crucial, couvrant à la fois la connaissance des textes applicables et le processus de validation de l'étude par les autorités compétentes.

I.9.1. Décrets et lois applicables :

La réalisation d'une EDD est généralement une obligation légale pour certaines catégories d'installations industrielles, notamment celles qui présentent des risques significatifs en raison des substances qu'elles manipulent ou des procédés qu'elles mettent en œuvre. Il est donc fondamental pour l'exploitant de connaître et de comprendre le cadre réglementaire qui s'applique à son activité et à son site.

Ce cadre réglementaire varie d'un pays à l'autre, mais il partage souvent des principes communs issus de directives internationales ou de bonnes pratiques reconnues (comme les directives Seveso en Europe). En Algérie, comme dans de nombreux pays, il existe une législation spécifique concernant les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) ou équivalent. Cette législation définit les seuils et les critères qui déterminent si une installation est soumise à l'obligation de réaliser une EDD, ainsi que le contenu minimal requis pour cette étude.

Les textes applicables (lois, décrets, arrêtés ministériels, circulaires) précisent les objectifs de l'EDD, la méthodologie générale à suivre (souvent en laissant une certaine flexibilité sur les méthodes spécifiques d'analyse de risques), les informations à fournir (description de l'installation, analyse des scénarios, mesures de maîtrise des risques, plans d'urgence), et les critères d'évaluation des risques. Ils peuvent également imposer des exigences spécifiques pour certains types de risques (risques toxiques, risques d'explosion, etc.) ou pour certains secteurs d'activité.

Il est essentiel que l'EDD démontre la prise en compte de toutes les exigences réglementaires applicables. Cela inclut non seulement la réglementation spécifique aux études de dangers, mais aussi d'autres réglementations connexes concernant la sécurité au travail, la protection de l'environnement (rejets, déchets), l'urbanisme (maîtrise de l'urbanisation autour des sites à risques), ou la sécurité civile (organisation des secours).

I.9.2. Validation des études :

Une fois l'Étude de Dangers réalisée par l'exploitant (souvent avec l'aide de bureaux d'études spécialisés), elle doit généralement être soumise à l'approbation des autorités compétentes (Ministère de l'Environnement, Ministère de l'Industrie, Direction de la Protection Civile, Inspection du Travail, etc., selon l'organisation administrative du pays).

Cette étape de validation est cruciale car elle atteste, du point de vue de l'administration, que l'étude a été menée conformément aux exigences réglementaires et que les mesures de maîtrise des risques proposées sont jugées suffisantes.

Le processus de validation implique une instruction technique du dossier par les services de l'État. Les experts de l'administration examinent la méthodologie employée, la pertinence des scénarios étudiés, la robustesse des évaluations de probabilité et de gravité, l'adéquation des barrières de sécurité identifiées ou proposées, et la cohérence des plans d'urgence. Ils vérifient que l'étude répond bien à toutes les exigences du cahier des charges réglementaire.

Cette instruction peut donner lieu à des demandes d'informations complémentaires, de clarifications, voire de modifications ou d'études supplémentaires si l'administration juge l'EDD incomplète ou insuffisante sur certains points. L'exploitant doit alors répondre à ces demandes pour obtenir la validation finale.

La validation de l'EDD est souvent un prérequis pour obtenir ou renouveler l'autorisation d'exploiter l'installation. Elle peut également conditionner la mise en œuvre de certaines mesures de maîtrise des risques ou l'approbation des plans d'urgence (POI, PPI). Cette validation n'est cependant pas une fin en soi ; elle marque la reconnaissance par l'autorité que la démarche de l'exploitant est jugée acceptable à un instant T, mais la responsabilité de la sécurité incombe en permanence à l'exploitant, qui devra maintenir et actualiser sa démarche comme nous le verrons dans la dernière étape.

I.10.Actualisation de l'EDD :

L'Étude de Dangers (EDD), bien qu'étant un document fondamental validé à un instant T, ne doit en aucun cas être considérée comme une photographie figée de la situation des risques d'une installation. Les installations industrielles évoluent, les procédés sont optimisés, les connaissances techniques et scientifiques progressent, l'environnement du site se modifie et la réglementation elle-même est sujette à des changements. Pour conserver toute sa pertinence et son efficacité en tant qu'outil de maîtrise des risques, l'EDD doit être un document vivant, régulièrement revu et mis à jour. Cette dernière étape de la méthodologie, l'actualisation, est donc essentielle pour garantir le maintien d'un niveau de sécurité adéquat tout au long de la vie de l'installation. Elle repose principalement sur la prise en compte des modifications et l'intégration du retour d'expérience.

I.10.1. Modifications de l'installation :

Toute modification apportée à l'installation, qu'elle soit technique, organisationnelle ou liée aux procédés, est susceptible d'avoir un impact sur les risques. Elle peut introduire de nouveaux dangers, modifier la probabilité ou la gravité des scénarios d'accidents existants, ou affecter l'efficacité des barrières de sécurité en place. Il est donc impératif que toute modification notable fasse l'objet d'une analyse de risques préalable et, si nécessaire, d'une mise à jour de l'EDD avant sa mise en œuvre effective.

Les modifications concernées peuvent être de diverses natures : ajout ou remplacement d'équipements majeurs, changement de procédé ou de recette de fabrication, augmentation des capacités de production ou de stockage, introduction de nouvelles substances dangereuses, modification des paramètres opératoires, changement dans l'organisation du travail ou les effectifs, travaux de maintenance importants, ou même des changements dans l'environnement immédiat du site (nouvelles constructions à proximité, etc.).

Le processus de gestion des modifications doit prévoir une évaluation systématique de l'impact potentiel de chaque changement sur la sécurité. Cette évaluation doit déterminer si la modification est susceptible d'affecter de manière significative les conclusions de l'EDD en cours de validité. Si tel est le cas, une révision partielle ou complète de l'étude s'impose. Cette révision doit analyser les nouveaux risques potentiels introduits par la modification, réévaluer les scénarios d'accidents impactés, vérifier l'adéquation des barrières de sécurité existantes et, le cas échéant, définir de nouvelles mesures de maîtrise des risques. La documentation de l'EDD (rapport, analyses de risques détaillées, plans d'urgence) doit être mise à jour en conséquence et, selon l'ampleur de la modification, une nouvelle information ou validation auprès des autorités compétentes peut être requise.

I.10.2. Retour d'expérience :

L'actualisation de l'EDD ne se limite pas à la prise en compte des modifications planifiées. Elle doit également intégrer activement les enseignements tirés des événements survenus, qu'il s'agisse d'accidents, d'incidents ou de quasi-accidents (near-misses), tant sur le site lui-même que sur des

installations similaires dans le monde. Le retour d'expérience (REX) est un moteur puissant d'amélioration continue de la sécurité.

Chaque événement non souhaité doit faire l'objet d'une analyse approfondie pour en comprendre les causes profondes (techniques, humaines, organisationnelles) et identifier les défaillances éventuelles dans le système de maîtrise des risques. Les leçons tirées de ces analyses doivent être diffusées et intégrées dans les pratiques de l'entreprise. Cela peut conduire à une révision de l'EDD si l'événement révèle un scénario d'accident non identifié ou sous-estimé, une faiblesse dans une barrière de sécurité jugée performante, ou une lacune dans les procédures ou la formation.

Au-delà des événements spécifiques, l'actualisation de l'EDD doit également s'appuyer sur une veille active concernant l'évolution des connaissances scientifiques et techniques (nouveaux dangers identifiés, meilleures technologies de sécurité disponibles), les nouvelles méthodologies d'analyse de risques, et les évolutions réglementaires. L'exploitant doit se tenir informé des bonnes pratiques de son secteur d'activité.

Enfin, la réglementation impose souvent des réexamens périodiques de l'EDD, même en l'absence de modification majeure ou d'incident significatif. En France, par exemple, un réexamen quinquennal est requis pour les sites Seveso. Ce réexamen systématique est l'occasion de vérifier que l'EDD est toujours d'actualité, de prendre en compte l'ensemble du retour d'expérience accumulé sur la période, d'intégrer les éventuelles évolutions des connaissances ou de la réglementation, et de confirmer la pertinence et l'efficacité des mesures de maîtrise des risques en place. C'est un jalon essentiel pour s'assurer que la démarche de sécurité reste dynamique et adaptée aux réalités de l'installation et de son contexte.

II.11.Méthodologie retenue dans l'étude de dangers :

La méthodologie globale de l'étude de dangers suivra le synoptique ci-après et les références méthodologiques et réglementaires synthétisées dans le Chapitre 1

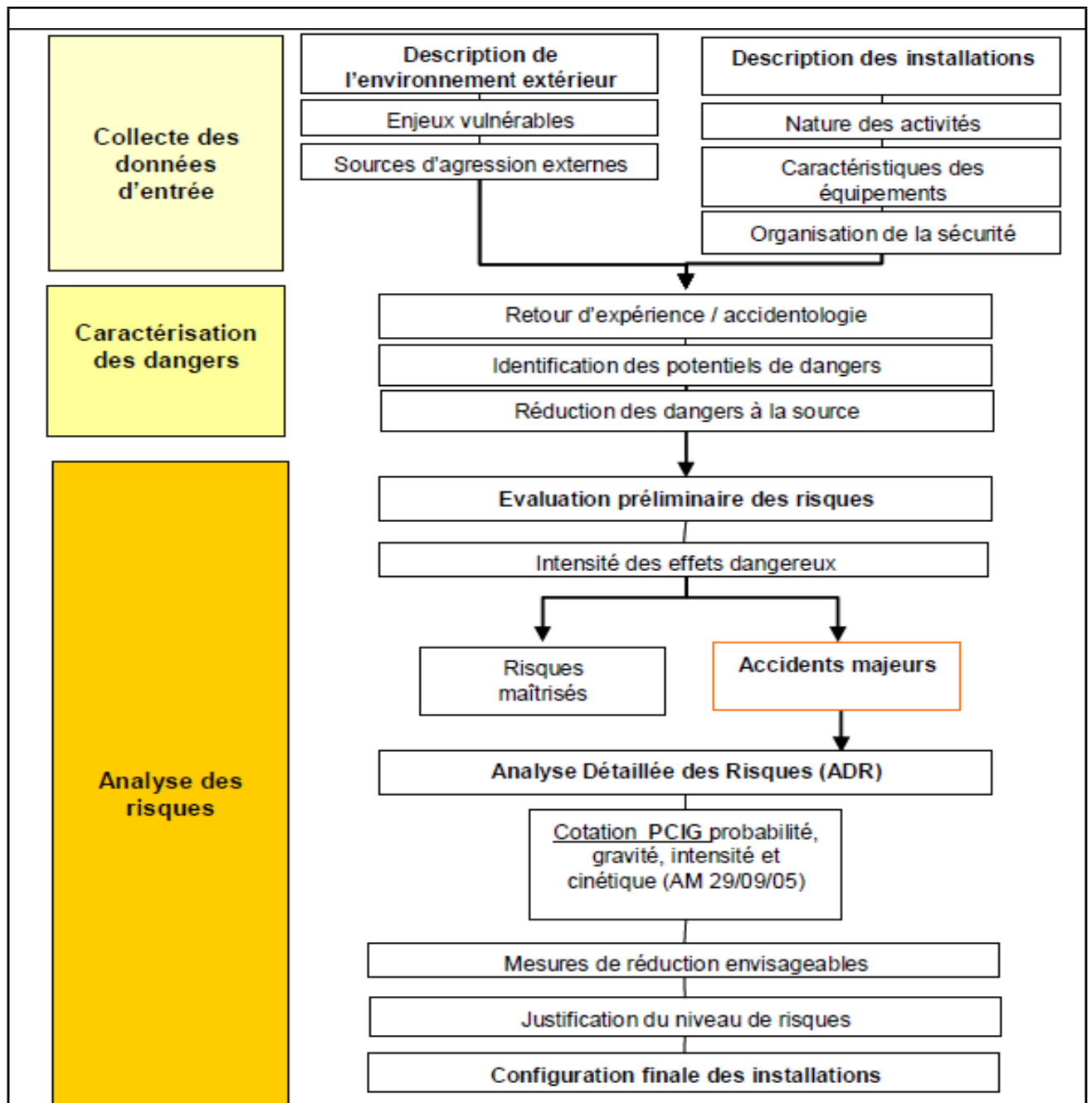


Figure I-1 : Méthodologie de l'étude de dangers

I.12. Conclusion et Recommandations :

Au terme de ce parcours à travers les différentes étapes de la méthodologie de l'Étude de Dangers (EDD), il apparaît clairement que cette démarche constitue bien plus qu'une simple formalité administrative. C'est un processus structuré, rigoureux et indispensable pour toute organisation souhaitant maîtriser les risques inhérents à ses activités industrielles et assurer la protection de ses employés, des populations riveraines et de l'environnement. En suivant les six phases clés –

Identification des dangers, Analyse des risques, Barrières de sécurité, Plan d'intervention, Conformité réglementaire et Actualisation – l'exploitant se dote d'une compréhension approfondie des phénomènes dangereux potentiels et des moyens de les prévenir ou d'en limiter les conséquences.

L'EDD est un outil puissant d'aide à la décision, permettant de hiérarchiser les risques et de concentrer les efforts et les ressources sur les scénarios les plus critiques. Elle favorise une approche proactive de la sécurité, en incitant à la mise en place de mesures de prévention et de protection adaptées et performantes, plutôt qu'à une simple réaction après coup. La définition et l'évaluation des barrières de sécurité, notamment des Mesures de Maîtrise des Risques (MMR), sont au cœur de cette démarche préventive.

Il est crucial de souligner que l'efficacité d'une EDD ne réside pas uniquement dans la qualité technique du rapport final, mais aussi et surtout dans son appropriation par l'ensemble des acteurs de l'entreprise et dans son intégration effective dans le Système de Gestion de la Sécurité (SGS). L'EDD doit être un document vivant, évoluant au rythme des modifications de l'installation, des retours d'expérience et des progrès des connaissances. L'étape d'actualisation est donc fondamentale pour maintenir la pertinence de l'étude et garantir une amélioration continue de la sécurité.

Pour une mise en œuvre réussie et efficace de la méthodologie EDD, quelques recommandations générales peuvent être formulées :

- ✓ **Mobiliser une équipe pluridisciplinaire** : La richesse et la pertinence de l'EDD dépendent fortement de la diversité des compétences mobilisées (procédé, exploitation, maintenance, sécurité, environnement, etc.). L'implication active des opérateurs de terrain est également essentielle.
- ✓ **Assurer la qualité des données d'entrée** : Une collecte de données exhaustive et fiable est le fondement d'une analyse pertinente. Il est crucial de disposer de descriptions précises de l'installation, des procédés et des substances.
- ✓ **Choisir et appliquer rigoureusement les méthodes d'analyse** : Le choix des méthodes d'analyse de risques doit être justifié et leur application doit être menée avec rigueur et systématiquement pour garantir l'exhaustivité de l'identification et de l'évaluation des scénarios.
- ✓ **Porter une attention particulière aux barrières de sécurité** : L'identification, la caractérisation et l'évaluation de la performance (fiabilité, efficacité) des barrières de sécurité, notamment des MMR, sont critiques. Leur suivi et leur maintien en condition opérationnelle doivent être assurés
- ✓ **Ne pas négliger les facteurs humains et organisationnels** : Au-delà des aspects techniques, la robustesse des procédures, la qualité de la formation, la culture de sécurité et l'organisation du travail sont des éléments déterminants pour la maîtrise des risques.
- ✓ **Intégrer le retour d'expérience** : L'analyse systématique des incidents, accidents et presque accidents, internes comme externes, est une source d'apprentissage irremplaçable pour améliorer continuellement l'EDD et les mesures de sécurité.

- ✓ **Garantir l'engagement de la direction :** La réussite de la démarche EDD nécessite un engagement fort et visible de la direction de l'entreprise, qui doit allouer les ressources nécessaires et promouvoir une véritable culture de sécurité à tous les niveaux.

En conclusion, l'Étude de Dangers, lorsqu'elle est menée avec sérieux et méthode, et qu'elle est intégrée dans une démarche globale de gestion des risques, constitue un levier majeur pour tendre vers un niveau de sécurité optimal, protéger les vies humaines et préserver l'environnement, tout en assurant la pérennité des activités industrielle

**CHAPITRE II: Application
Étude de Danger (EDD) - Site
de Stockage GPL Sonatrach
Hassi R'mel**

II.1 . Introduction :

L'étude de danger est une obligation réglementaire en Algérie pour les installations classées, conformément au Décret exécutif n° 06-198 du 4 juin 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement. Ce décret, ainsi que le Décret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées, constituent le cadre légal de référence pour la maîtrise des risques industriels en Algérie. La présente étude de danger concerne la sphère de stockage de Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL) de Sonatrach sur le site de Laghouat. Cette installation, de par la nature et la quantité de produits stockés, est classée comme une installation à haut risque, nécessitant une analyse approfondie des dangers potentiels et des mesures de maîtrise des risques associées. L'objectif de cette étude est d'identifier et d'analyser les scénarios d'accidents majeurs potentiels, d'évaluer leurs conséquences sur les personnes, l'environnement et les biens, et de définir les mesures de prévention et de protection nécessaires pour garantir un niveau de risque acceptable.

II.2.Système :

Le système étudié est une sphère de stockage de Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL) située sur le site de Sonatrach à Laghouat. Une sphère de stockage de GPL est une structure conçue pour contenir de grandes quantités de GPL sous pression, généralement à température ambiante. Le GPL est un mélange d'hydrocarbures légers, principalement du propane et du butane, qui est stocké sous forme liquide et se vaporise facilement à la pression atmosphérique.

II.2.1 Composants du système :

Le système de stockage de GPL comprend généralement les éléments suivants :

La sphère de stockage : C'est le réservoir principal, de forme sphérique pour optimiser la résistance à la pression et minimiser la surface exposée. Elle est équipée de divers raccords pour le remplissage, le soutirage, la mesure de niveau, la prise de pression, et les dispositifs de sécurité.

Tuyauteries et vannes : Un réseau de tuyauteries relie la sphère aux autres installations (pompes, compresseurs, unités de traitement, etc.). Des vannes sont installées pour isoler des sections, contrôler les flux et permettre les opérations de maintenance

Pompes et compresseurs : Utilisés pour le transfert du GPL, que ce soit pour le remplissage de la sphère, le soutirage vers d'autres unités ou la récupération des vapeurs.

Instrumentation et contrôle : Des capteurs mesurent en continu des paramètres tels que la pression, la température, le niveau de liquide. Ces données sont transmises à un système de contrôle qui assure le fonctionnement sûr de l'installation et déclenche les alarmes ou les arrêts d'urgence en cas d'anomalie.

Dispositifs de sécurité : Incluent les soupapes de sûreté pour la protection contre les surpressions, les systèmes de détection de fuites (gaz et flamme), les systèmes d'extinction d'incendie (déluge d'eau, mousse), et les systèmes d'arrêt d'urgence (ESD).

Rétention et drainage : Des bassins de rétention ou des aires de confinement sont prévus autour de la sphère pour contenir d'éventuels déversements de GPL liquide en cas de fuite majeure.

II.3.Fonctionnement général :

Le GPL est acheminé vers la sphère de stockage, généralement par pipeline ou par camion-citerne, et est transféré sous pression. À l'intérieur de la sphère, le GPL est maintenu à l'état liquide. Lors du soutirage, le GPL liquide est pompé hors de la sphère pour être utilisé ou transporté vers d'autres destinations. Les vapeurs générées par l'évaporation du GPL sont soit récupérées par des compresseurs, soit réintroduites dans le processus.

II.4 Caractéristiques spécifiques du site de Laghouat :

Bien que les détails spécifiques de l'installation de Sonatrach Laghouat ne soient pas disponibles publiquement, il est raisonnable de supposer que l'installation est conforme aux normes internationales et algériennes en vigueur pour ce type d'équipement. Les conditions climatiques de la région de Laghouat (températures élevées, vents) doivent être prises en compte dans la conception et l'exploitation du système, notamment en ce qui concerne la gestion de la pression interne de la sphère et la dispersion des éventuelles fuites de gaz

II.5.Méthodologie :

La méthodologie adoptée pour cette étude de danger s'appuie sur les principes généraux de l'analyse des risques industriels, en conformité avec les exigences de la réglementation algérienne et les bonnes pratiques internationales. Elle suit une approche structurée, telle que schématisée dans le diagramme fourni par l'utilisateur, et vise à identifier, évaluer et maîtriser les risques liés à la sphère de stockage de GPL. La démarche se décompose en plusieurs étapes clés :

II.5.1.Description de l'environnement, du site et des installations :

Cette première étape consiste à collecter toutes les informations pertinentes sur le contexte de l'installation :

II.5.1.1 Description de l'environnement :

II.5.1.1.1 Géographie physique:

Localisation et superficie de la wilaya :

La wilaya de Laghouat est située dans la partie centrale de l'Algérie, à la jonction entre les Hautes Plaines steppiques du nord et les régions sahariennes du sud. Elle joue un rôle de zone de transition géographique, climatique et socio-économique entre ces deux grandes régions. Elle est délimitée au nord par les wilayas de Tiaret et Djelfa, à l'est par M'Sila, au sud par Ghardaïa, et à l'ouest par El Bayadh. Le chef-lieu de la wilaya est la ville de Laghouat, qui constitue également un centre administratif, économique et culturel important. D'une superficie de **25 052 km²**, Laghouat est une wilaya étendue, comprenant des zones steppiques propices à l'élevage ainsi que des régions semi-

désertiques. Cette superficie en fait l'une des grandes wilayas d'Algérie en termes de territoire. Elle est composée de 10 daïras et 24 communes.

Topographie et altitude de la wilaya de Laghouat :

La wilaya de **Laghouat** présente une topographie variée caractéristique des zones de transition entre le nord steppique et le sud saharien. Elle se compose principalement de **plateaux steppiques, d'oueds, de collines, de zones montagneuses isolées**, ainsi que de **déserts rocailloux et sableux** dans les parties méridionales.

Sur le plan altimétrique, l'altitude moyenne de la wilaya est comprise entre **400 mètres et 1 100 mètres** au-dessus du niveau de la mer.

- Dans le nord, les **plateaux steppiques** dominant, avec des altitudes autour de **700 à 900 mètres**.
- Le centre de la wilaya, où se trouve la ville de **Laghouat**, est situé à une altitude d'environ **750 mètres**.
- Vers le sud, l'altitude diminue progressivement en direction du Sahara, où l'on trouve des dépressions, des sebkhas (lacs salés asséchés) et des zones arides.

On y retrouve également des **formations montagneuses** comme les **monts de l'Amour**, qui font partie de l'Atlas saharien, culminant à plus de **1 300 mètres** dans certaines zones comme **Djebel Lella Khedidja**.

Géologie (zone de Hassi R'Mel) :

Le gisement de Hassi R'Mel est situé sur une structure anticlinale triasique-cambrienne surmontée de sédiments mésozoïques. Le réservoir principal est de formation permotriasique (sables A, B, C), scellés par des couches salifères et argileuses du Trias supérieur. Ce gisement est le plus important d'Algérie et l'un des plus grands au monde en réserves exploitables

II.5.1.1.2.Climat et hydrologie:

La région de Laghouat possède un **climat désertique subtropical** à tendance **continental**, avec des étés brûlants et des hivers frais à froids. Elle est située à environ **750 m d'altitude**, ce qui atténue légèrement les températures de surface

Paramètre climatique	Valeur / Description
Type de climat	Aride, désertique à tendance continentale
Température annuelle moyenne	Environ 19,3 °C
Température max. été	Jusqu'à 44–48 °C (juillet/août)
Température min. hiver	Jusqu'à 10°C (janvier)
Pluviométrie annuelle	Environ 180 à 256 mm/an
Mois les plus pluvieux	Octobre – Novembre (max ~15 mm)
Mois les plus secs	Juillet – Août (min ~3 mm)
Durée saison pluvieuse	7 à 8 mois (septembre à avril)
Humidité relative moyenne	Environ 46 % (min 30–34 % en été, max ~68 % en hiver)
Type de vent dominant	Sirocco (vents secs, chauds et poussiéreux en été)

Tableau 1 :climatique de la Wilaya de Laghouat

Paramètre hydrologique	Données / Description
Réseau hydrographique	Dominé par les oueds M'zi et Djedi
Type de cours d'eau	Oueds intermittents (saisonniers, secs en été)
Oued M'zi	Prend naissance dans le Djebel Amour , traverse Laghouat, direction sud-est vers les Chotts sahariens
Oued Djedi	Affluent du M'zi, traverse la zone de Hassi R'Mel
Débit	Très variable selon la saison (crues en automne et hiver, secs en été)
Destination des eaux	Les oueds se jettent dans le Chott Melghir (dépression fermée au sud-est)
Ressources en eau souterraine	Présence de nappes phréatiques profondes , notamment dans le Complexe terminal
Utilisation de l'eau	Agriculture, consommation humaine et industrie (notamment à Hassi R'Mel)

Tableau 2 : l'Hydrologie de la Wilaya de Laghouat

II.5.2 Disposition du site SONATRACH Hassi R'Mel :

Le site industriel **SONATRACH de Hassi R'Mel**, situé dans la wilaya de Laghouat, est un complexe stratégique de production et de traitement du gaz naturel, comprenant plusieurs zones fonctionnelles organisées de manière à optimiser les opérations tout en garantissant un haut niveau de sécurité. Le site est implanté sur une vaste superficie plane dans une zone saharienne, permettant une séparation claire entre les différentes unités.

La zone de traitement principal est située au centre du complexe. Elle abrite les unités de séparation, de compression et de traitement du gaz naturel, incluant les colonnes de distillation, les compresseurs, les échangeurs thermiques, et les torchères. À proximité immédiate, on trouve la zone de stockage, dans laquelle est implantée la sphère de stockage des hydrocarbures liquéfiés (comme le GPL). Cette sphère est implantée sur une dalle bétonnée, isolée du reste des installations par des distances de sécurité réglementaires (conformément à la norme NFPA 58), et protégée par un système de digue de rétention en cas de fuite ou de débordement.

Autour de cette zone se trouvent les utilités industrielles, telles que les générateurs, les réservoirs d'eau incendie, les pompes de lutte contre l'incendie, les systèmes de détection et d'alarme, les armoires électriques, ainsi que les compresseurs d'air et groupes électrogènes. Ces équipements sont disposés de manière à garantir la redondance des fonctions critiques (en mode "fail-safe") et l'accessibilité en cas d'urgence.

À une distance réglementaire des zones à risque, le site comprend une zone administrative, qui regroupe les bureaux techniques, les salles de contrôle centralisées (salle CCR), les postes de garde et de sécurité, les salles de réunion et les installations sanitaires pour le personnel. Des voies d'accès en enrobé bitume relient toutes les zones du site et permettent la circulation fluide des véhicules d'intervention, de maintenance ou d'exploitation. Un réseau routier interne est prévu pour les camions-citernes, avec des aires de manœuvre, des postes de chargement/déchargement protégés par des auvents métalliques ignifugés, et des zones de stationnement isolées.

Enfin, le site est entièrement clôturé et équipé de dispositifs de vidéosurveillance, de détection périmétrique et de contrôle d'accès pour limiter l'intrusion. Des zones de rassemblement en cas d'évacuation sont définies selon le plan d'urgence interne, conformément à la réglementation algérienne sur les installations classées. L'ensemble du site est conçu pour répondre aux normes

II.5.3 Description détaillée des sphères de stockage de GPL et de leurs équipements auxiliaires sur le site de Hassi R'Mel :

Les sphères de stockage de GPL à Hassi R'Mel, d'une capacité unitaire de 2 000 à 5 000 m³, sont conçues pour fonctionner sous des pressions de 10–15 barg et des températures extrêmes (-42°C à +45°C). Leur coque en acier ASME SA-516 Gr.70, revêtue intérieurement d'époxy phénolique anti-corrosion, est isolée par 200 mm de polyuréthane et protégée par une enveloppe en aluminium. Ces réservoirs sphériques sont reliés à un réseau de tuyauteries en acier inoxydable ASTM A312 TP316L (DN 100–300), isolées en mousse phénolique, et équipées de vannes spécialisées : vannes à guillotine API 600 pour l'isolement, vannes à soufflet pour l'étanchéité, et vannes de contrôle à égal pourcentage pour la régulation fine.

Le transfert du GPL liquéfié est assuré par des pompes cryogéniques centrifuges (débit : 100–200 m³/h) dotées de doubles étanchements mécaniques, tandis que les vapeurs sont recyclées via des compresseurs à piston de 500 Nm³/h. L'instrumentation intègre des jauges de niveau radar (± 2 mm de précision), des capteurs PT100 pour la température, et des analyseurs LASER infrarouge détectant les fuites de CH₄ ou H₂S au niveau des joints. Les systèmes de sécurité comprennent des soupapes PSV calibrées à 110% de la pression de conception, un réseau d'extinction à eau/mousse (AFFF) et à azote, ainsi qu'un système d'arrêt d'urgence SIL-3 déclenchant automatiquement l'isolement des vannes et la décompression vers la torchère. Des digues de rétention en béton, contenant 110% du volume d'une sphère, complètent cette architecture.

En exploitation, la pression est maintenue entre 8–12 barg et le niveau de GPL à 20–85% de la capacité, avec des seuils d'alarme stricts (pression >13.5 barg, niveau >90%). La maintenance annuelle inclut le contrôle des joints et des soupapes, tandis qu'une révision décennale impose un vidange complète et un examen par ultrasons des soudures. Les retours d'expérience ont conduit à des améliorations majeures : après une fuite de joint en 2019 due à un serrage incorrect, des procédures de torquage contrôlé ont été instaurées ; un incident de fausse alarme en 2022, causé par la condensation sur les sondes, a été résolu par l'ajout de chauffages anti-buée. Conformément aux normes API 620/650 et ASME Sect. VIII Div. 1, ces installations répondent aux exigences NFPA 58 et ATEX pour les zones à risque, garantissant une exploitation fiable dans les conditions désertiques extrêmes du site.

II.6. Équipement :

La sphère de stockage de GPL et ses installations associées comprennent une variété d'équipements critiques dont la fiabilité et le bon fonctionnement sont essentiels pour la sécurité de l'ensemble du système. Ces équipements peuvent être regroupés en plusieurs catégories principales :

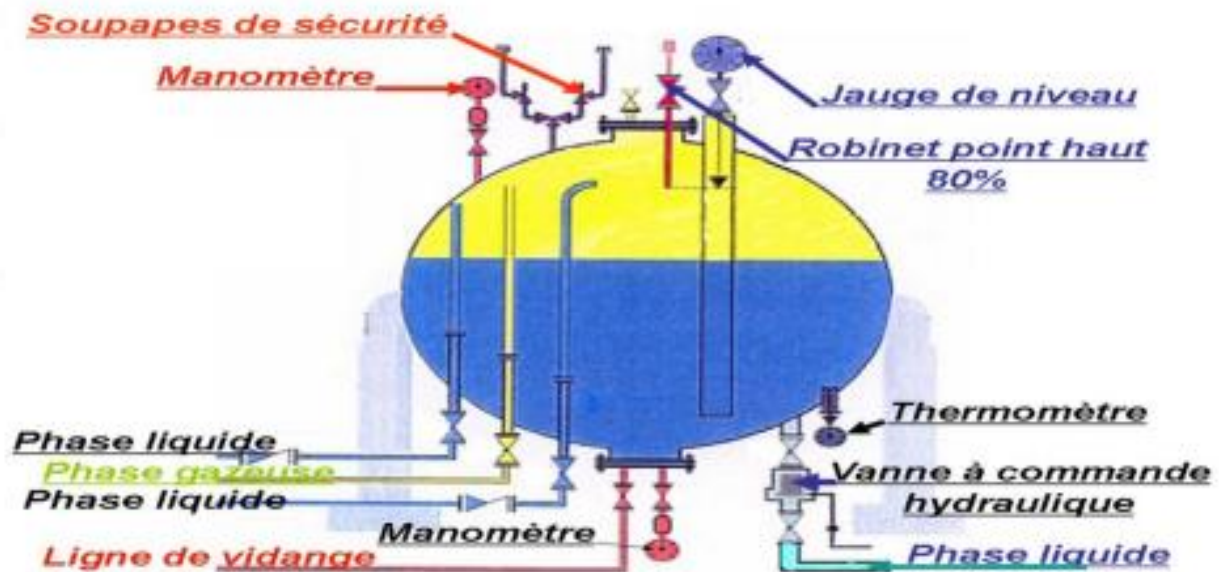


FIGURE II-1 : Équipement sphère de stockage de GP

II.7. Analyse Préliminaire des Risques:

L'analyse technique des risques d'une sphère de gaz de pétrole liquéfié (GPL) est une étape cruciale pour garantir la sécurité des installations et prévenir les accidents majeurs. Cette section détaillera les dangers potentiels, évaluera leur probabilité et leurs conséquences, et proposera des mesures de prévention et de protection, en intégrant les exigences réglementaires algériennes.

II.7.1. Identification des Dangers Potentiels:

Les sphères de stockage de GPL, en raison de la nature inflammable, explosive et potentiellement toxique du produit, sont associées à plusieurs dangers majeurs. Une identification exhaustive de ces dangers est la première étape d'une analyse préliminaire des risques efficace. Les principaux dangers identifiés sont les suivants :

II.7.1.1. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion):

Le BLEVE est l'un des scénarios d'accident les plus redoutés dans le stockage de GPL. Il se produit lorsqu'un réservoir contenant un liquide sous pression à une température supérieure à son point d'ébullition est soumis à un incendie externe. La chaleur affaiblit la structure du réservoir, entraînant sa rupture catastrophique. Le liquide surchauffé se vaporise alors instantanément, créant une onde de surpression dévastatrice et une boule de feu massive. Les conséquences d'un BLEVE sont extrêmement graves, incluant des projections de fragments à haute énergie sur de longues distances, des dommages structurels étendus aux installations environnantes, des brûlures graves et des décès pour le personnel et les populations à proximité. La probabilité d'un BLEVE est

généralement faible, mais ses conséquences sont potentiellement catastrophiques, ce qui en fait un risque majeur à considérer sérieusement dans toute analyse de sécurité.

II.7.1.2 Incendie et Explosion:

Le GPL est un produit hautement inflammable. Toute fuite de GPL, qu'elle soit due à une défaillance de l'équipement, une erreur humaine ou un acte de malveillance, peut entraîner la formation d'un nuage de gaz inflammable. En présence d'une source d'ignition (étincelle, flamme nue, surface chaude, etc.), ce nuage peut s'enflammer, provoquant différents types d'incendies ou d'explosions :

Flash Fire : Inflammation rapide d'un nuage de vapeur inflammable sans confinement, entraînant une flamme de courte durée mais intense.

Jet Fire : Incendie résultant de l'inflammation d'un jet de gaz ou de liquide sous pression s'échappant d'une petite ouverture. Ces feux sont caractérisés par une chaleur intense et concentrée.

Pool Fire : Incendie d'une nappe de liquide inflammable accumulée au sol suite à une fuite. Ces feux produisent un rayonnement thermique important et peuvent durer longtemps.

Explosion de nuage de vapeur non confiné (UVCE - Unconfined Vapor Cloud Explosion) : Si un grand nuage de GPL s'accumule et s'enflamme dans un espace non confiné, il peut générer une onde de surpression capable de causer des dommages structurels importants et des blessures.

La probabilité de ces événements dépend fortement de la fréquence des fuites, de l'efficacité des systèmes de détection et d'extinction, et de la présence de sources d'ignition. Les conséquences incluent des brûlures, des dommages matériels importants et des arrêts de production.

II.7.1.3 Fuites et Émissions:

Les fuites de GPL, même sans inflammation immédiate, constituent un danger significatif. Le GPL est plus lourd que l'air et peut s'accumuler dans les zones basses, déplaçant l'oxygène et créant un risque d'asphyxie pour le personnel. De plus, l'exposition à des concentrations élevées de GPL peut entraîner des effets narcotiques, provoquant somnolence, vertiges et perte de conscience. Les fuites peuvent être dues à la corrosion, à des défauts de soudure, à des défaillances de vannes ou de tuyauteries, ou à des erreurs opérationnelles. La probabilité de petites fuites est plus élevée que celle d'événements catastrophiques, mais leur détection précoce est essentielle pour prévenir des scénarios plus graves.

II.7.1.4 Défaillance Structurale:

L'intégrité structurelle de la sphère est primordiale. Une défaillance structurelle peut résulter de plusieurs facteurs :

Corrosion : Interne ou externe, la corrosion peut affaiblir les parois de la sphère et des tuyauteries, conduisant à des fuites ou à une rupture.

Fatigue des matériaux : Les cycles de pression et de température, ainsi que les vibrations, peuvent entraîner une fatigue des matériaux et l'apparition de fissures.

Défauts de fabrication ou de construction : Des soudures défectueuses ou des matériaux non conformes peuvent compromettre la résistance de la sphère.

Contraintes externes : Séismes, impacts de véhicules, ou conditions météorologiques extrêmes peuvent exercer des contraintes excessives sur la structure.

Une défaillance structurelle peut entraîner une libération massive de GPL, augmentant considérablement le risque d'incendie, d'explosion ou de BLEVE. La probabilité de ces événements est généralement faible si les normes de conception, de fabrication et de maintenance sont respectées, mais les conséquences sont potentiellement désastreuses.

II.7.1.5 Risques liés aux Opérations et à la Maintenance :

Les opérations de remplissage, de vidange, de transfert et de maintenance des sphères de GPL comportent des risques spécifiques. Les erreurs humaines, le non-respect des procédures, ou l'utilisation d'équipements défectueux peuvent entraîner des fuites, des surpressions ou des incidents. Par exemple, une mauvaise manipulation lors du raccordement des flexibles, un remplissage excessif de la sphère, ou des travaux à chaud non contrôlés à proximité de l'installation sont des sources potentielles de danger. La probabilité de ces incidents peut être réduite par une formation adéquate du personnel, des procédures opérationnelles strictes et une supervision rigoureuse.

II.7.2 Évaluation de la Probabilité et des Conséquences :

L'évaluation de la probabilité et des conséquences est essentielle pour hiérarchiser les risques et allouer les ressources de prévention de manière efficace. Pour une analyse préliminaire, une approche qualitative ou semi-quantitative est souvent utilisée, basée sur l'expérience, les données historiques d'incidents et les avis d'experts.

II.7.2.1 Probabilité:

La probabilité d'occurrence d'un événement dangereux est influencée par de nombreux facteurs, notamment la conception de l'installation, la qualité des matériaux, l'efficacité des procédures de maintenance, la formation du personnel, et la fréquence des inspections. Pour les dangers identifiés :

BLEVE : Très faible, mais non nulle. Sa survenue est généralement conditionnée par un incendie externe non maîtrisé et une défaillance des systèmes de protection passive et active.

Incendie et Explosion (Flash Fire, Jet Fire, Pool Fire, UVCE) : Faible à moyenne. Les petites fuites sont plus probables que les fuites massives. La probabilité d'inflammation dépend de la présence de sources d'ignition et de la rapidité de détection et d'intervention.

Fuites et Émissions (sans inflammation) : Moyenne. Des fuites mineures peuvent se produire plus fréquemment en raison de l'usure des joints, des vannes ou des tuyauteries. Les fuites majeures sont moins probables.

Défaillance Structurelle : Très faible. Les sphères sont conçues avec des marges de sécurité importantes et sont soumises à des inspections rigoureuses. Cependant, des défauts cachés ou des événements externes extrêmes peuvent augmenter cette probabilité.

Incidents liés aux Opérations et à la Maintenance : Moyenne. Les erreurs humaines ou les défaillances procédurales sont des causes fréquentes d'incidents, bien que la plupart soient mineurs.

II.7.2.2 Conséquences:

Les conséquences d'un événement dangereux peuvent être évaluées en termes d'impact sur les personnes, l'environnement et les biens. Pour les dangers identifiés :

BLEVE : Conséquences catastrophiques. Nombreuses victimes (décès, blessures graves), destruction totale des installations à proximité, dommages importants sur une large zone, impact environnemental majeur (pollution de l'air, du sol, de l'eau).

Incendie et Explosion : Conséquences graves à très graves. Brûlures, décès, dommages structurels importants, destruction d'équipements, arrêts de production prolongés, pollution atmosphérique. L'étendue des conséquences dépend de la taille du feu/explosion et de la proximité des personnes et des biens.

Fuites et Émissions (sans inflammation) : Conséquences modérées à graves. Risque d'asphyxie et d'intoxication pour le personnel, évacuation des zones à risque, impact environnemental localisé (odeurs, dispersion de gaz), pertes de produit.

Défaillance Structurelle : Conséquences graves à catastrophiques. Libération massive de GPL entraînant un risque élevé d'incendie/explosion/BLEVE, destruction de la sphère et des équipements associés, arrêts de production majeurs.

Incidents liés aux Opérations et à la Maintenance : Conséquences mineures à modérées. Blessures légères, dommages matériels mineurs, arrêts temporaires de production. Cependant, certains incidents peuvent escalader vers des scénarios plus graves si non maîtrisés.

II.7.3 Mesures de Prévention et de Protection Préliminaires :

Pour atténuer les risques associés aux sphères de GPL, une combinaison de mesures de prévention (visant à réduire la probabilité d'un événement) et de protection (visant à réduire les conséquences si un événement se produit) est nécessaire. Ces mesures doivent être conformes aux exigences réglementaires algériennes, notamment le **Décret exécutif n° 21-261 sur les ESP** et le **Décret exécutif n° 21-331** sur la mise en conformité.

II.7.3.1 Mesures de Prévention:

Les mesures de prévention visent à éliminer ou à réduire la probabilité d'occurrence des dangers :

Conception et Construction :

- ✓ Respect strict des normes internationales (ASME, API, EN) et algériennes (Décret exécutif n° 21-261) pour la conception, le choix des matériaux, la fabrication et l'installation de la sphère et de ses équipements annexes (tuyauteries, vannes, pompes).
- ✓ Utilisation de matériaux résistants à la corrosion et adaptés aux conditions de service du GPL.
- ✓ Mise en place de systèmes de détection de fuites (détecteurs de gaz) et de détection d'incendie (détecteurs de flamme, de chaleur) avec alarmes sonores et visuelles.
- ✓ Conception de systèmes de drainage pour contenir les éventuelles fuites de liquide.
- ✓ Mise en place de systèmes de mise à la terre et de protection contre la foudre pour prévenir les sources d'ignition électriques.

Maintenance et Inspection :

- ✓ Établissement et application d'un programme de maintenance préventive et prédictive rigoureux pour la sphère et tous les équipements associés (vannes, pompes, tuyauteries, instruments, systèmes de sécurité).
- ✓ Réalisation d'inspections régulières (visuelles, ultrasons, radiographie, etc.) pour détecter la corrosion, les fissures, les déformations ou tout autre signe de dégradation. Ces inspections doivent être conformes aux exigences du Décret exécutif n° 21-261 et aux meilleures pratiques de l'industrie.
- ✓ Mise en œuvre d'un système de gestion de l'intégrité des actifs (AIM - Asset Integrity Management) pour suivre l'état des équipements et planifier les interventions.

Procédures Opérationnelles et Formation :

- ✓ Élaboration et application de procédures opérationnelles standard (SOP) claires et détaillées pour toutes les phases de l'exploitation (remplissage, vidange, transfert, arrêt, démarrage) et de la maintenance
- ✓ Formation continue du personnel sur les dangers du GPL, les procédures d'urgence, l'utilisation des équipements de sécurité et les bonnes pratiques opérationnelles.
- ✓ Mise en place d'un système de permis de travail pour les opérations à risque (travaux à chaud, travaux en espace confiné, travaux électriques).
- ✓ Réalisation d'exercices d'urgence réguliers pour tester l'efficacité des procédures et la réactivité du personnel.

II.7.3.2 Mesures de Protection:

Les mesures de protection visent à minimiser les conséquences si un événement dangereux se produit :

Systemes d'Extinction d'Incendie :

- ✓ Installation de systèmes de déluge d'eau (water deluge systems) pour refroidir la sphère en cas d'incendie externe et prévenir un BLEVE. Ces systèmes doivent être conçus pour fournir un débit d'eau suffisant et une couverture adéquate.
- ✓ Mise à disposition d'extincteurs portatifs et de lances à incendie à proximité de la sphère.
- ✓ Existence d'une équipe d'intervention d'urgence formée et équipée pour faire face aux incendies de GPL.

Systèmes de Sécurité :

- ✓ Installation de soupapes de sûreté (PSV - Pressure Safety Valves) dimensionnées pour relâcher la pression en cas de surpression excessive dans la sphère, conformément au Décret exécutif n° 21-261.
- ✓ Mise en place de systèmes d'arrêt d'urgence (ESD - Emergency ShutDown) pour isoler rapidement la sphère et les tuyauteries en cas de fuite majeure ou d'incendie.
- ✓ Conception de murs coupe-feu ou de digues de rétention pour contenir les déversements de liquide et limiter la propagation du feu.

Plan d'Urgence Interne (PUI) et Plan Particulier d'Intervention (PPI) :

- ✓ Élaboration et mise à jour régulière d'un PUI détaillant les procédures d'intervention en cas d'accident (alerte, évacuation, lutte contre l'incendie, premiers secours, confinement des fuites).
- ✓ Collaboration avec les autorités locales pour l'élaboration d'un PPI, définissant les actions à mener en cas d'accident majeur ayant des répercussions à l'extérieur du site.

Distance de Sécurité :

Respect des distances de sécurité minimales entre la sphère de GPL et les autres installations, les bâtiments occupés, les voies de circulation et les limites de propriété, afin de limiter l'exposition du personnel et des populations en cas d'accident.

II.7.4.Retour d'expérience dans le secteur d'activité:

Le secteur GPL présente des risques spécifiques liés au stockage, à la manutention, au transport et à l'utilisation (véhicules, stations-service, ateliers, etc.).

Les retours d'expérience permettent d'identifier les scénarios d'incidents, leurs causes profondes et d'en tirer des mesures de prévention et d'atténuation. Les analyses de plusieurs études montrent que les défaillances les plus fréquentes concernent la maîtrise des procédures, l'intégrité mécanique des équipements, la conception inadaptée et la détection/réponse aux fuites ou anomalies.

.De plus, des campagnes de sensibilisation et de formation sont essentielles pour réduire les erreurs humaines et améliorer la culture sécurité dans la filière GPL

Référence	Date	Pays	Événement / Incident	Leçons clés
ARIA N° 34067	13/12/2007	France	Fuite de 100 L de GPL liquide sur un poste de chargement self-service à Sisteron (04) lors du débranchement d'un tuyau dont la vanne "bout de bras" est restée ouverte. Le conducteur légèrement brûlé, déclenchement de l'alarme et arrosage automatique mis en œuvre.	<ul style="list-style-type: none">• Verrouillage systématique des vannes avant toute opération de débranchement.• Inspection régulière des butées et soupapes multifonctions pour prévenir usure ou dysfonctionnement.• Sensibilisation et formation des conducteurs sur le positionnement et les gestes de fin d'opération.• Mise en place d'actions correctives suite à l'analyse de risques.

ARIA 1466	N° 30/10/1989	France	Fuite de GPL lors du dépotage d'un camion-citerne dans une station-service (aucun blessé ni impact majeur)	<ul style="list-style-type: none"> • Formalisation et contrôle strict des procédures de dépotage avant ouverture des liaisons. • Vérification des dispositifs d'arrêt d'urgence et des signaux de détection de fuite (odorant, indicateurs visuels). • Sensibilisation des conducteurs aux signes avant-coureurs et consignes d'intervention rapide.
ARIA 15710	N° 20/06/1999	France	Impact d'un véhicule contre les glissières de sécurité internes d'une station (Noisy-le-Sec), endommageant la canalisation et générant une fuite de GPL. Station fermée pour réparations.	<ul style="list-style-type: none"> • Renforcement des protections physiques (barrières adaptées, glissières renforcées). • Inspection post-impact obligatoire, avec tests d'étanchéité avant remise en service. • Gestion rigoureuse des travaux à proximité des installations pour éviter tout choc accidentel.
ARIA 41571	N° 18/11/2011	France	Fuite sur un wagon-citerne de 110 m ³ de GPL signalée par le cheminot. Confinement du personnel, interruption du trafic ferroviaire, localisation de la fuite via test à bulle sur une bride, serrage, et validation du contrôle d'étanchéité.	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de procédures d'évacuation et de confinement graduées (rayon d'exclusion, zones de sécurité). • Usage de techniques non destructives (test à bulle) pour localiser précisément la fuite. • Formation des équipes ferroviaires aux plans d'urgence et aux interventions sur citernes GPL.
ARIA 45851	N° 21/10/2014	France	Dans une station-service, une bourrasque fait chuter une bouteille d'azote sur une soupape d'un châssis de citerne GPL (11 750 L) : rupture de la soupape et fuite. Mise en sécurité du périmètre et arrêt de la circulation voisine.	<ul style="list-style-type: none"> • Arrimage et sécurisation des équipements auxiliaires (bouteilles, matériels divers) pour éviter chutes. • Maintien des zones de circulation dégagées pour limiter les risques de heurts accidentels. • Vérification de l'intégrité mécanique des soupapes après tout choc ou événement climatique intense.
ARIA 57365	N° 22/04/2021	France	Fuite de GPL dans un stockage souterrain (pompe) : déclenchement automatique d'arrêt d'urgence, activation du réseau incendie; l'opérateur utilise une lance monitor pour geler la fuite (formation de bouchon de glace), reprise des opérations	<ul style="list-style-type: none"> • Systèmes de détection et d'arrêt automatiques indispensables pour limiter la dispersion. • Moyens de colmatage d'urgence (lance monitor, inertage) disponibles et entretenus. • Communication rapide avec riverains et autorités locales pour la gestion de crise

ARIA N° 28442	01/09/2004	France	à 02h30. Légère fuite non enflammée d'un petit vrac (10 m ³ de propane) à Vern-sur-Seiche, due à détérioration du filetage et clapet porte-soupape.	et information du public. • Contrôles périodiques des filetages, joints et clapets pour détecter corrosion ou usure. • Maintenance corrective rapide des soupapes et garnitures. • Suivi des historiques de défaut pour anticiper remplacement avant fin de vie critique.
ARIA N° 27415	14/06/2004	France	Fuite de GPL sur une sphère de 2 000 m ³ à Uzel (22), trou de 1 mm causé par corrosion d'une tubulure. Évacuation du site, colmatage temporaire, puis dépose complète pour réparation.	• Programme d'inspections anticorrosion (ultrasons, endoscopie) pour tubulures et soudures. • Tests d'étanchéité systématiques après toute maintenance. • Politique de remplacement préventif des éléments corrodés avant atteinte critique.
Boumerdès (Algérie)	08/01/2025	Algérie	Explosion/incendie d'une bouteille de GPL dans un atelier de maintenance à Boumerdès : deux blessés par brûlures au 2 ^e degré, intervention rapide de la protection civile.	• Vérification stricte des dates de contrôle et de l'intégrité physique des bouteilles (corrosion, détendeurs). • Stockage des bouteilles hors zones de travaux générateurs d'étincelles (soudage, meulage). • Formation des techniciens aux gestes d'urgence (ventilation, isolement de sources de chaleur).
ARIA N° 24107	12/12/2002	Pays-Bas	Soupape de sécurité d'un réservoir de GPL restée bloquée ouverte par gel à Rotterdam, formation d'un nuage de gaz non enflammé autour de la sphère.	• Protection antigel des soupapes (isolation, chauffage local) pour éviter blocage. • Contrôles renforcés en période hivernale sur tuyauteries exposées. • Installation de capteurs de température et alarmes pour prévenir avant que la pression n'atteigne un seuil critique.

Tableau 3 : Retour d'expérience

II.8. Analyse détaillée des risques du GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) :

Cette analyse vise à identifier et examiner de manière approfondie les différents types de risques associés au GPL, depuis les dangers immédiats comme les incendies et explosions jusqu'aux impacts environnementaux à long terme. La compréhension de ces risques est essentielle pour développer des stratégies de prévention efficaces et assurer la sécurité des personnes, des installations et de l'environnement.

Le GPL, de par ses propriétés physiques particulières - notamment sa densité supérieure à celle de l'air et sa capacité à se liquéfier sous pression modérée - présente des défis uniques en matière de sécurité. Cette analyse structurée permettra aux professionnels, aux utilisateurs et aux responsables de la sécurité de mieux appréhender les enjeux liés à l'utilisation du GPL et d'adopter les mesures préventives appropriées.

Risques d'incendie et d'explosion

Le GPL présente des risques majeurs d'incendie et d'explosion en raison de ses propriétés physico-chimiques. Étant plus lourd que l'air, le GPL s'accumule dans les zones basses et les espaces confinés, créant des poches de gaz inflammables. Les limites d'inflammabilité du propane (2,1% à 9,5% dans l'air) et du butane (1,8% à 8,4%) rendent ces gaz particulièrement dangereux. Une simple étincelle, une flamme nue ou une source de chaleur peut déclencher une combustion rapide ou une explosion violente, notamment dans les espaces clos comme les sous-sols, les fosses ou les réservoirs.

Risques d'asphyxie

L'accumulation de GPL dans un espace confiné peut entraîner une asphyxie par déplacement de l'oxygène. Bien que le GPL ne soit pas toxique en lui-même, sa concentration élevée dans l'air réduit la teneur en oxygène disponible pour la respiration. Les symptômes d'asphyxie incluent des maux de tête, des vertiges, une confusion mentale et, dans les cas graves, une perte de conscience pouvant mener à la mort. Ce risque est particulièrement élevé dans les espaces mal ventilés où le gaz peut s'accumuler sans être détecté.

Risques liés à la pression

Le GPL étant stocké sous pression dans des réservoirs, il existe des risques de rupture catastrophique en cas de surchauffe, de corrosion ou de défaillance des équipements. Une rupture de réservoir peut provoquer une libération massive de gaz sous pression, créant un effet de souffle destructeur suivi d'un incendie majeur. Les variations de température affectent également la pression interne des réservoirs, nécessitant des systèmes de sécurité appropriés comme les soupapes de sûreté et les dispositifs de décharge thermique.

. Risques de brûlures par le froid

Le GPL liquide s'évapore rapidement au contact de l'air, absorbant une grande quantité de chaleur et pouvant causer des brûlures par le froid (gelures) sur la peau et les yeux. Le contact direct avec du GPL liquide peut provoquer des lésions cutanées graves similaires à des brûlures thermiques. Les équipements de protection individuelle, notamment les gants isolants et les lunettes de sécurité, sont essentiels lors de la manipulation du GPL liquide.

Risques environnementaux

Les fuites de GPL contribuent à la pollution atmosphérique et peuvent avoir des impacts environnementaux significatifs. Bien que moins polluant que d'autres combustibles fossiles, le GPL reste un hydrocarbure qui, en cas de fuite massive, peut contaminer les sols et les eaux souterraines.

Les vapeurs de GPL participent également à la formation d'ozone troposphérique et contribuent à l'effet de serre, bien que dans une moindre mesure que d'autres gaz.

Risques liés au transport et à la manutention

Le transport du GPL, que ce soit en citernes routières, ferroviaires ou par pipeline, présente des risques spécifiques d'accidents pouvant avoir des conséquences catastrophiques. Les collisions, les déversements et les défaillances d'équipements durant le transport peuvent libérer de grandes quantités de GPL, créant des zones de danger étendues. La manutention des bouteilles et des réservoirs nécessite des précautions particulières pour éviter les chutes, les chocs et les manipulations incorrectes qui pourraient endommager les systèmes de sécurité.

Risques dans les installations domestiques et industrielles

Les installations de GPL domestiques et industrielles présentent des risques spécifiques liés aux défaillances des appareils de combustion, aux fuites sur les raccordements et aux erreurs de manipulation. Les détecteurs de gaz, la ventilation appropriée et la maintenance régulière des équipements sont cruciaux pour prévenir les accidents. Les installations vieillissantes ou mal entretenues augmentent considérablement les risques de fuites et d'accidents.

III.8.1.Application des méthodes d'analyse des risques :

L'étape analyse des risques constitue le cœur de la démarche de maîtrise de risque sur laquelle nous allons nous baser pour définir les scénarios critiques qui doivent être maîtrisés, car connaître le risque auquel nous sommes confrontés permettra de s'en prémunir de son existence.

Dans ce chapitre nous allons aborder l'analyse de risque dans toute sa globalité. Il sera donc exposé tout détail sur les résultats obtenus après l'application des méthodes d'analyse (APR, HAZOP, ADD, NCEUD de papillon) et ce, dans le but :

- D'identifier le système critique ;
- D'identifier les risques critiques ;
- D'estimer les facteurs de risque ;
- De définir les scénarios plausibles.

III.8.1.1.Arbre de défaillance (AdD):

Nous utilisons les modes de défaillance qui ont pour causes l'apparition des événements redoutés identifiées dans l'APR pour l'élaboration de l'arbre de défaillance pour chaque événement non souhaité retenu avec une plus grande criticité.

La probabilité de défaillance est calculée pour chaque événement non souhaité dans le but de faire apparaître les événements les plus probables par le guide source :

(DRA 71 - Panorama des sources de données utilisées dans les analyses quantitatives des risques rapport DRA-12-124789-07543A, INERIS, 2012). Source INIRIS

Dans ce contexte, les valeurs proposées dans ce guide sont à utiliser avec précaution en tant que valeurs indicatives permettant d'alimenter une analyse critique constructive de valeurs obtenues à partir d'un retour d'expérience, d'avis d'experts, de groupes de travail et d'analyses qualitatives.

Pour chaque équipement considéré, sont présentés des intervalles de classes de fréquences de perte de confinement. Ces intervalles sont issus de l'analyse d'une vingtaine de sources de données différentes.

Les intervalles de classes de fréquence de perte de confinement et rupture utilisent l'échelle suivante :

Formule de base : $F_x = 10^{-(x+1)} / \text{an} < \text{fréquence} < 10^{-x} / \text{an}$

Tableau 4 : Intervalles de fréquence de perte

Fréquence	intervalles	Valeur de probabilité
F₁	$10^{-2} / \text{an} < \text{fréquence} < 10^{-1} / \text{an}$	1 fois tout les 10 à 100 an
F₂	$10^{-3} / \text{an} < \text{fréquence} < 10^{-2} / \text{an}$	1 fois tout les 100 à 1000 an
F₃	$10^{-4} / \text{an} < \text{fréquence} < 10^{-3} / \text{an}$	1 fois tout les 1000 à 10000 an

Tableau 5 : Fréquence de perte au niveau des équipements

Equipement	Fréquence de probabilité	
	Rupture	Fuite
Réservoir	$F_1 - F_2$	
Vanne réservoir		$F_1 - F_3$
Tuyauterie	$F_2 - F_3$	$F_1 - F_2$
Vanne tuyauterie		$F_2 - F_3$
Bride		$F_1 - F_3$
Pompes	$F_1 - F_3$	$F_2 - F_3$
Compresseur	$F_2 - F_3$	$F_1 - F_3$

Nous avons remarquer que la probabilités d'occurrence des évènements redoutés centrales(ER_C) sont donnés dans une plage de valeur et pour cela nous avons choisis une valeur moyenne a titre indicative .

Les Arbres de défaillances sont représentés dans les figures 3 à 8 : 1^{ere} perte de confinement réservoir ;

2^{eme} perte de confinement pompe ; 3^{eme} fuite sur bride ;

5^{eme} fuite sur tuyauterie relie a la sphère. 4^{eme} fuite vanne de sphère ;

. 6^{ème} fuite vanne d'une tuyauterie

Interprétation des résultats (Add) :

D'après les arbres de défaillances réalisée pour chaque évènement non souhaité, nous concluons que tout les évènements sont liées a la fuite et qui ont des probabilités très proche et pour cette raison nous allons s'intéresser plus a l'évènement redouté centrale qui est perte de confinement du réservoir avec une probabilité de $0,5 \times 10^{-4}$ dans la suite de l'étude.

CHAPITRE III : Application Étude de Danger (EDD) - Site de Stockage GPL Sonatrach Hassi R'mel

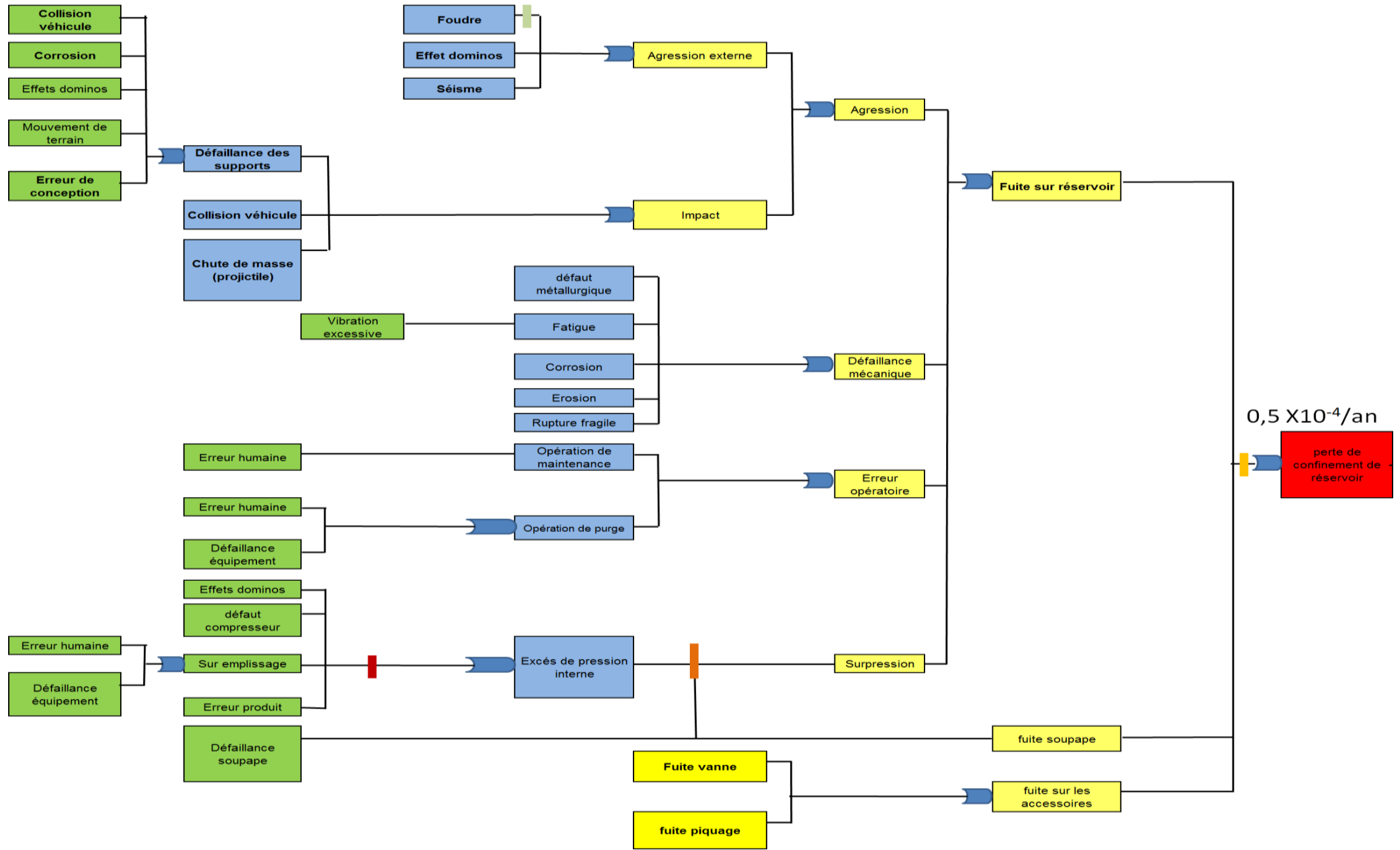


Figure II- 2 : Add sur perte de confinement réservoir

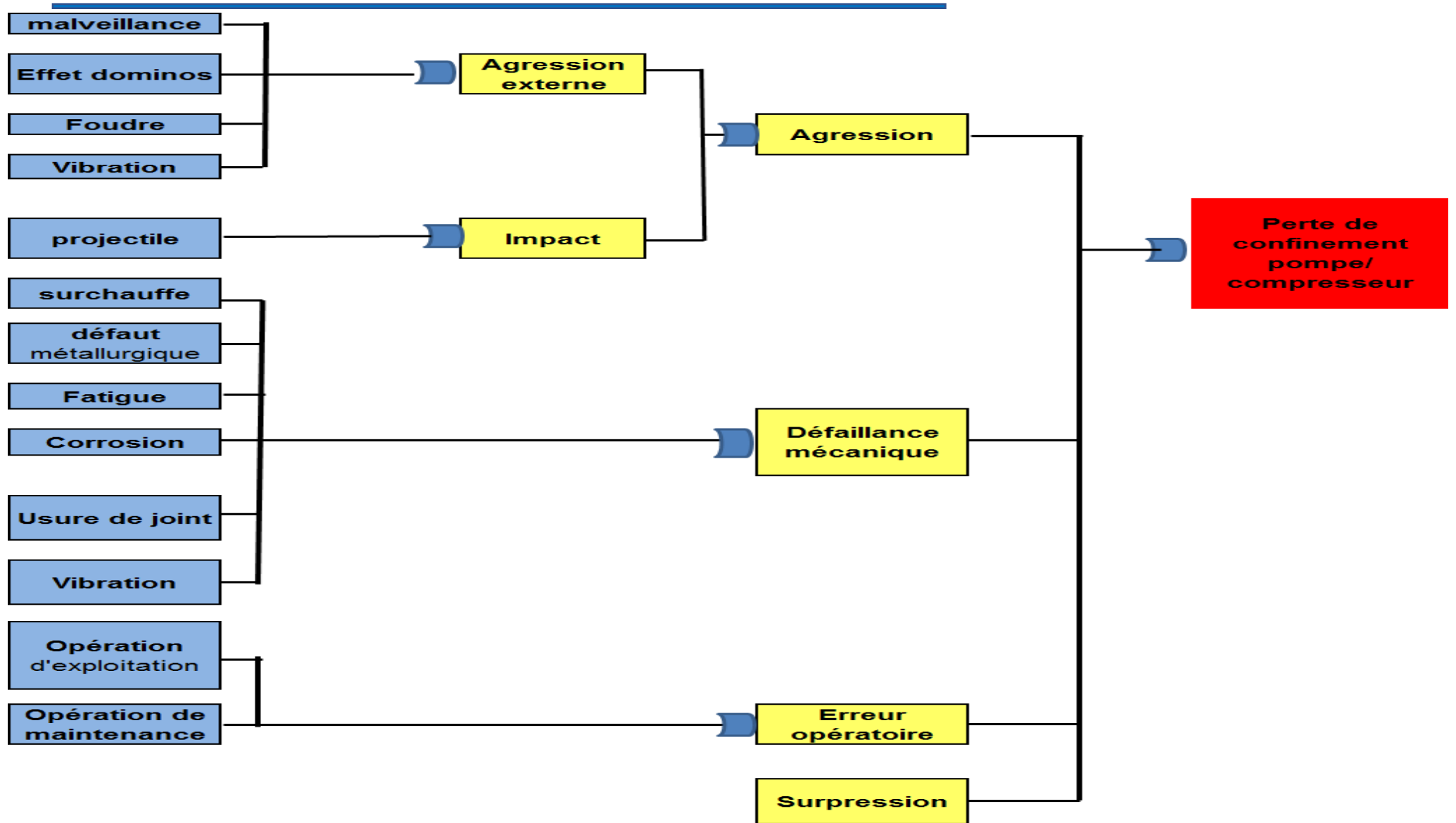


Figure II 3 : AdD sur perte de confinement pompe / compresseur

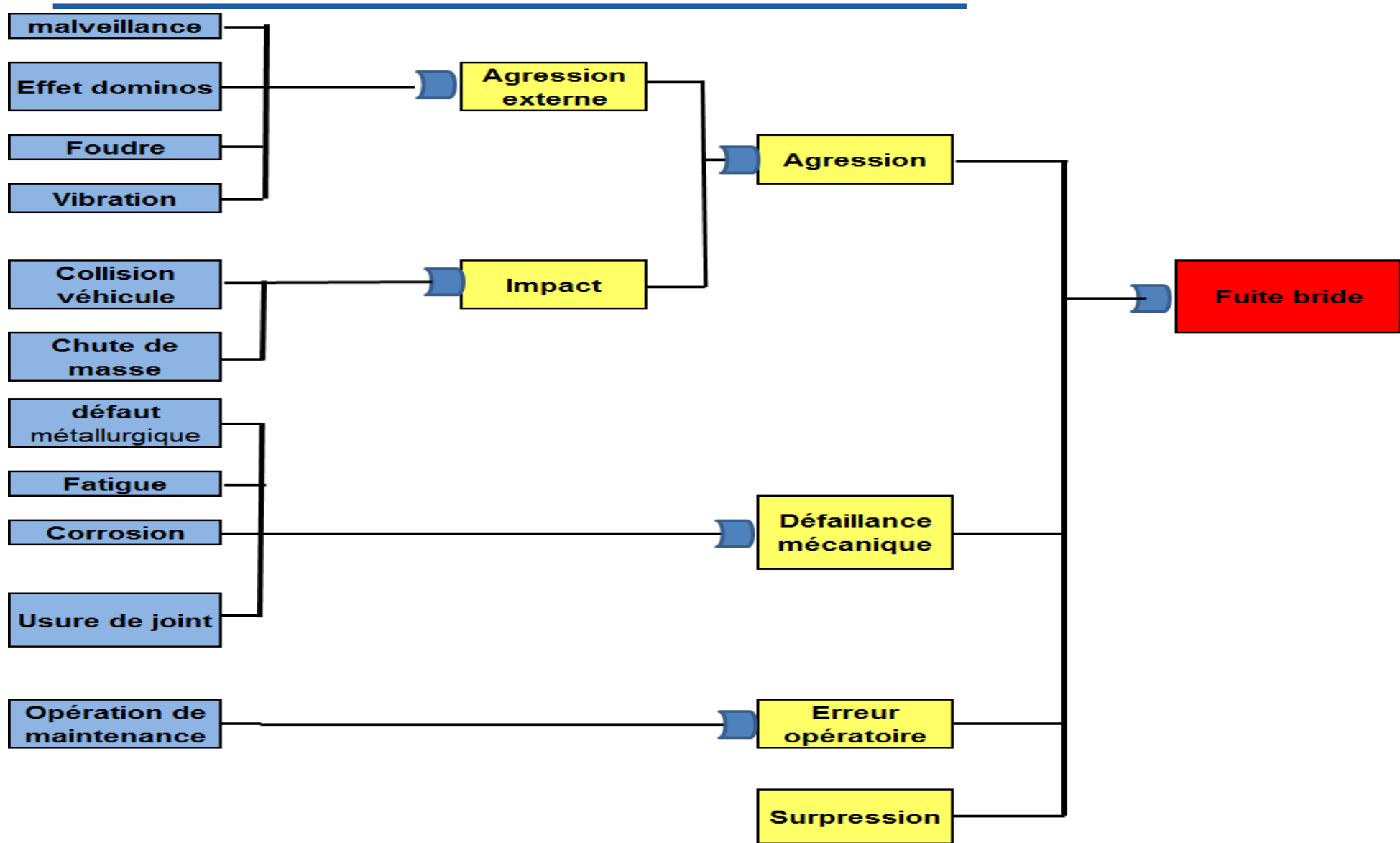


Figure II 4 : AdD sur Fuite sur Bride

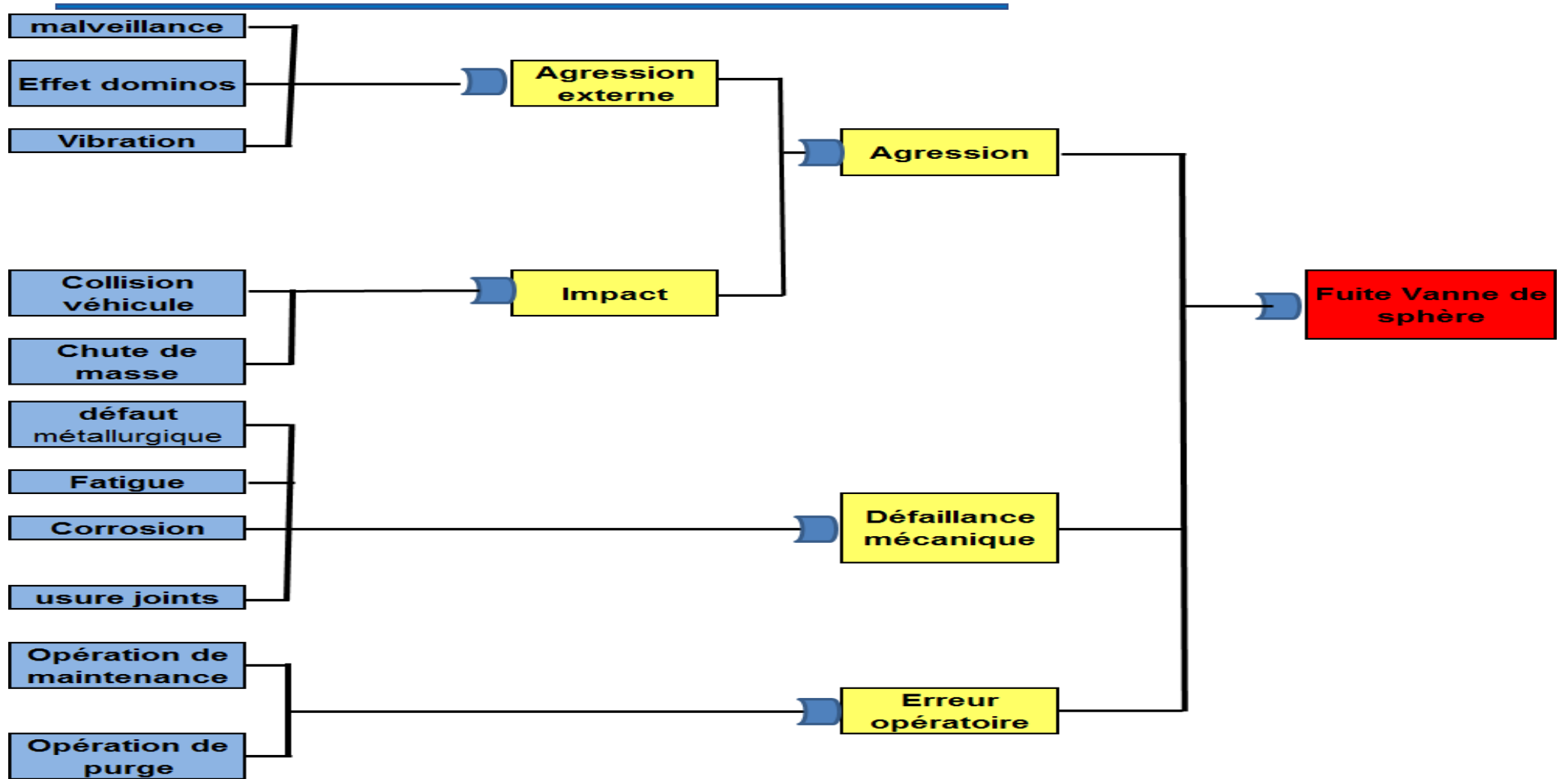


Figure II 5 : AdD Fuite sur vanne de sphère

CHAPITRE III : Application Étude de Danger (EDD) - Site de Stockage GPL Sonatrach Hassi R'mel

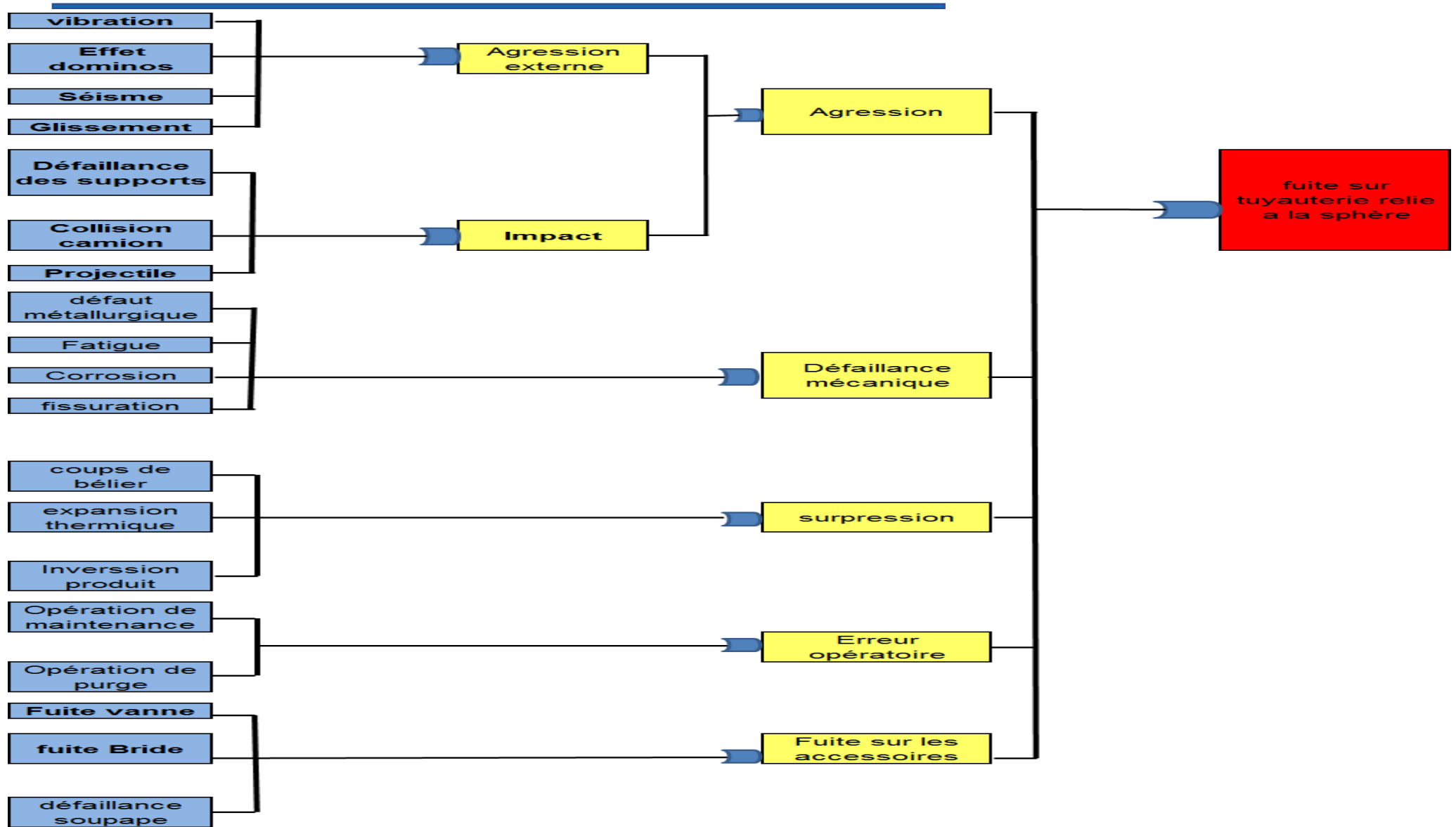


Figure II 6 : AdD Fuite sur tuyauterie

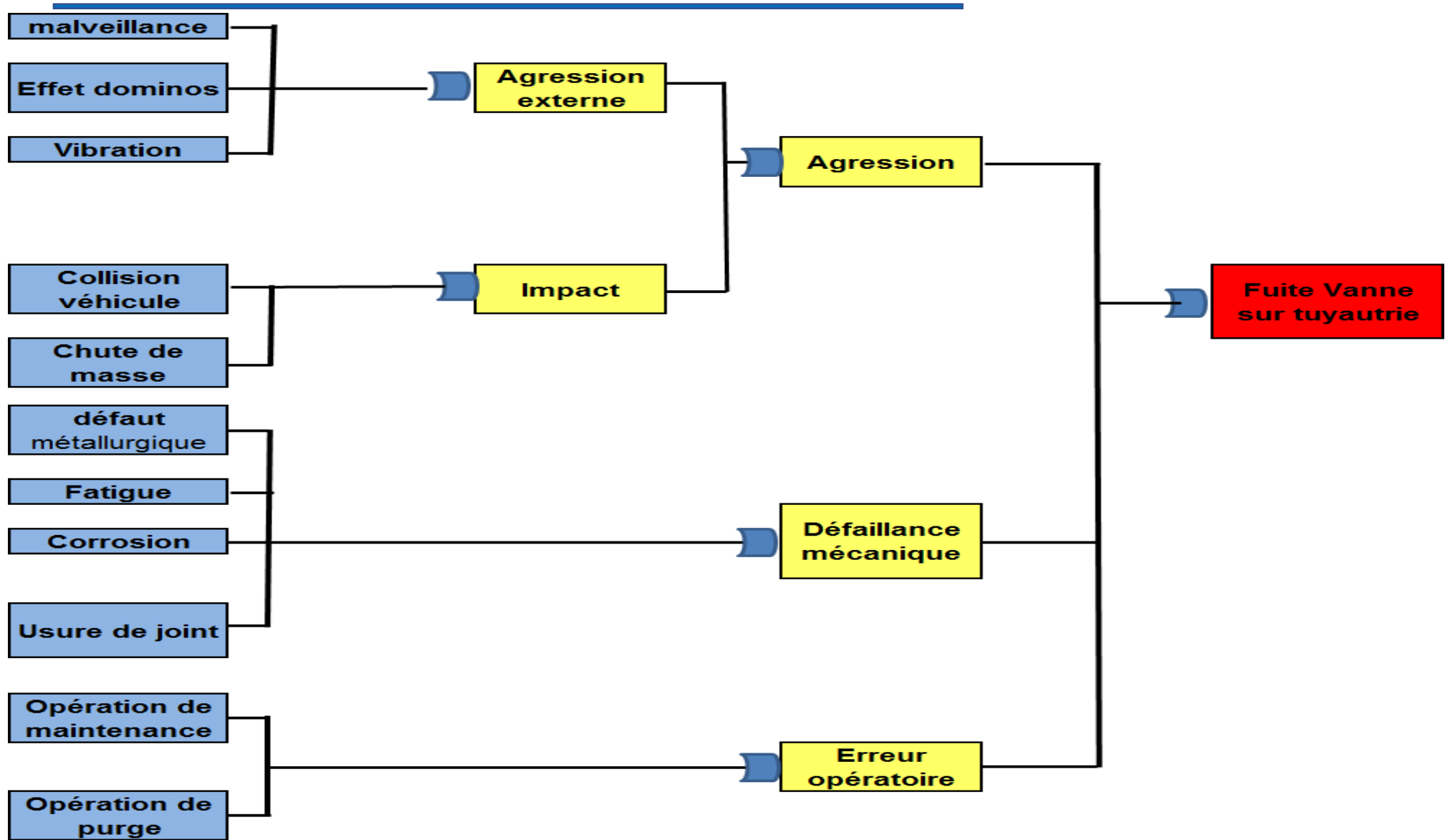


Figure II 7 : AdD Fuite sur vanne de tuyauterie

II.8.1.2. Arbre d'évènement (AdE):

Suite à un ERC choisis de type rejet de produit inflammable, plusieurs phénomènes Dangereux sont susceptibles de se produire :

- ✓ le jet enflammé ou le feu de nappe ;
- ✓ le BLEVE ;
- ✓ la dispersion atmosphérique ;
- ✓ le VCE ou l'UVCE ;
- ✓ le flash fire ;
- ✓ la boule de feu.

Pour pouvoir quantifier l'occurrence de certains de ces phénomènes, il est nécessaire de distinguer l'inflammation immédiate de l'inflammation retardée

L'inflammation de la fuite au près d'une source d'ignition, peut se produire:

Soit immédiatement: il y a alors création de feu de nappe.

Soit de manière retardée: dans ce cas, la fuite peut conduire à ;

- ✓ Un UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion)
- ✓ flash fire (feu éclair)
- ✓ Dans le cas où le nuage ne rencontre aucune source d'ignition, la fuite conduit au phénomène de dispersion atmosphérique.

Les principales causes d'une fuite

À l'aide des données obtenues dans les arbres de défaillances élaborés, on a tiré quatre causes qui se répètent à chaque fois et qui peuvent conduire à une fuite :

- ✓ Agression externe et interne tel que la corrosion et choc mécanique ;
- ✓ Défaillance mécanique ;
- ✓ Erreur Humaine et opératoire : puisque la majorité des activités se fait manuellement, le système n'est pas automatisé à la gestion de l'opération. On cite à titre d'exemple l'opérateur qui peut oublier facilement d'ouvrir ou de fermer une vanne lors des opérations de maintenance ou de purge ;
- ✓ Suppression due à un sur-emplissage ou effet dominos et défaillances des équipements de sécurité (soupape, détecteur de pressionetc.)

Dans ce schéma on représente un regroupement des phénomènes dangereux et leurs causes initiatrices

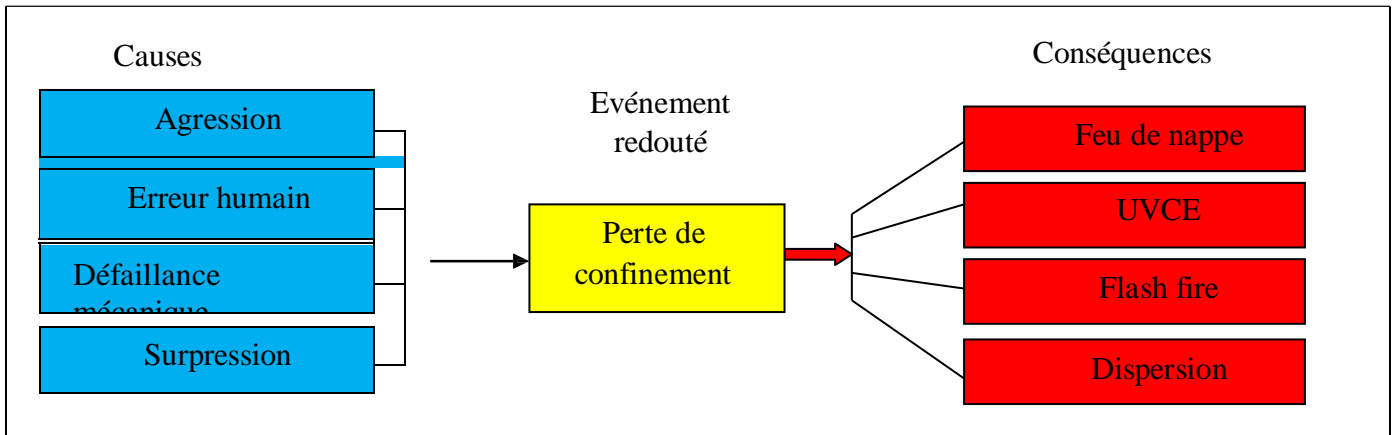


Figure II 8: Phénomène dangereux et leurs causes

L'AdE permet de montrer la succession d'événements secondaires qui peuvent mener à un phénomène dangereux. Cette méthode permet de calculer la probabilité d'apparition des phénomènes dangereux.

Probabilité d'inflammation

Toute inflammation qui n'est pas immédiate (au sens propre) est dite retardée. Il faut cependant faire attention lors de l'utilisation de la probabilité d'inflammation retardée lors de la quantification. En effet, inflammation immédiate et retardée ne sont pas des événements indépendants mais consécutifs, l'inflammation retardée ne pouvant se produire que si l'inflammation immédiate n'a pas eu lieu.

L'inflammation immédiate, l'inflammation retardée est essentiellement gouvernée par les caractéristiques de l'environnement du rejet, en particulier le nombre et le type de sources d'inflammation présentes dans la zone d'inflammabilité du rejet, et par l'efficacité de ces sources d'inflammation. Les caractéristiques du produit sont bien sûr, comme pour l'inflammation immédiate, des paramètres à prendre en compte.

Le tableau suivant représente des probabilités d'inflammation instantané recommandée par Le « purple book » :

Tableau 6 : Probabilité d'ignition instantané

source		Probabilité selon la substances		
Continué	Instantané	Liquide	Gaz(faible réactivité)	Gaz (moyenne/forte réactivité)
< 10 kg/s	<1000 kg	0,065	0,02	0,2
10-100 kg/s	1000-10000 kg/s	0,065	0,04	0,5
> 100 kg/s	> 10000 kg/s	0,065	0,09	0,7

On remarque que pour les liquides quelques soit la quantité de rejet la probabilité d'inflammation instantané est la même 0,065

Pour le rejet en phase gazeux la probabilité varie selon la quantité et réactivité du gaz , pour notre cas le butane est considéré comme un gaz moyenne réactivité , et on va choisir pour notre calcul la probabilité qui correspond a une quantité inférieure a 10 kg /s pour un rejet continue ou <1000 kg pour un rejet instantané

Probabilité d'ignition retardé

Le tableau (7) suivant représente les probabilités d'ignition en une minute cité dans (Purple book) avec un ajustement relative aux sources qui existent dans le site et son environnement

Analyse des accidents et les avis d'experts a montré que la **négligence humain** dans l'application des mesures de sécurité est la source principale des ignitions d'inflammabilité dans un site industriel et qu' une zone « classée ATEX » signifie qu'une étude spécifique a été réalisée et que du matériel adapté a été mis en place ; pour cela on l'a pris comme choix pour notre calcul de probabilité d'apparition des phénomènes dangereux.

Source	Probabilité d'ignition
Source Ponctuelle	
Véhicule	0,3
Compresseur à l'extérieur	0,4
Pompe à l'extérieur	0,4
Source Linéaire	
Route	0,06
Chemin de fer	0,011
Source de population	
Résidentiel	0,01 par personne
Force (employées)	0,01 par personne

Le personnel existe dans l'entreprise avec les différentes catégories est environ 40 personne

Tableau 7 : Source de probabilité d'ignition retardé (temps estimé 1 minute)

Application de l'arbre d'événement pour la perte de confinement

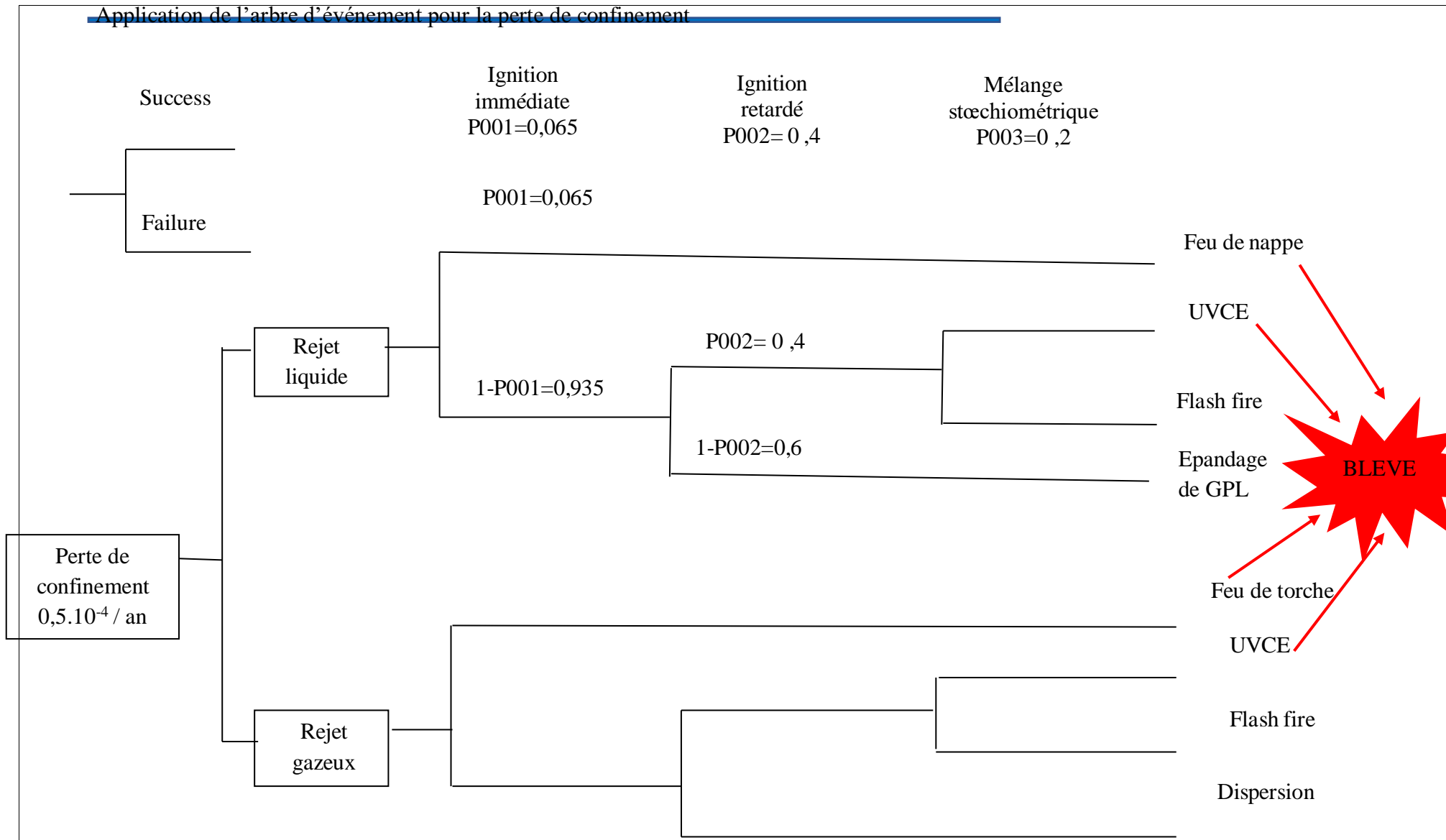


Figure II 9: l'arbre d'événement pour la perte de confinement

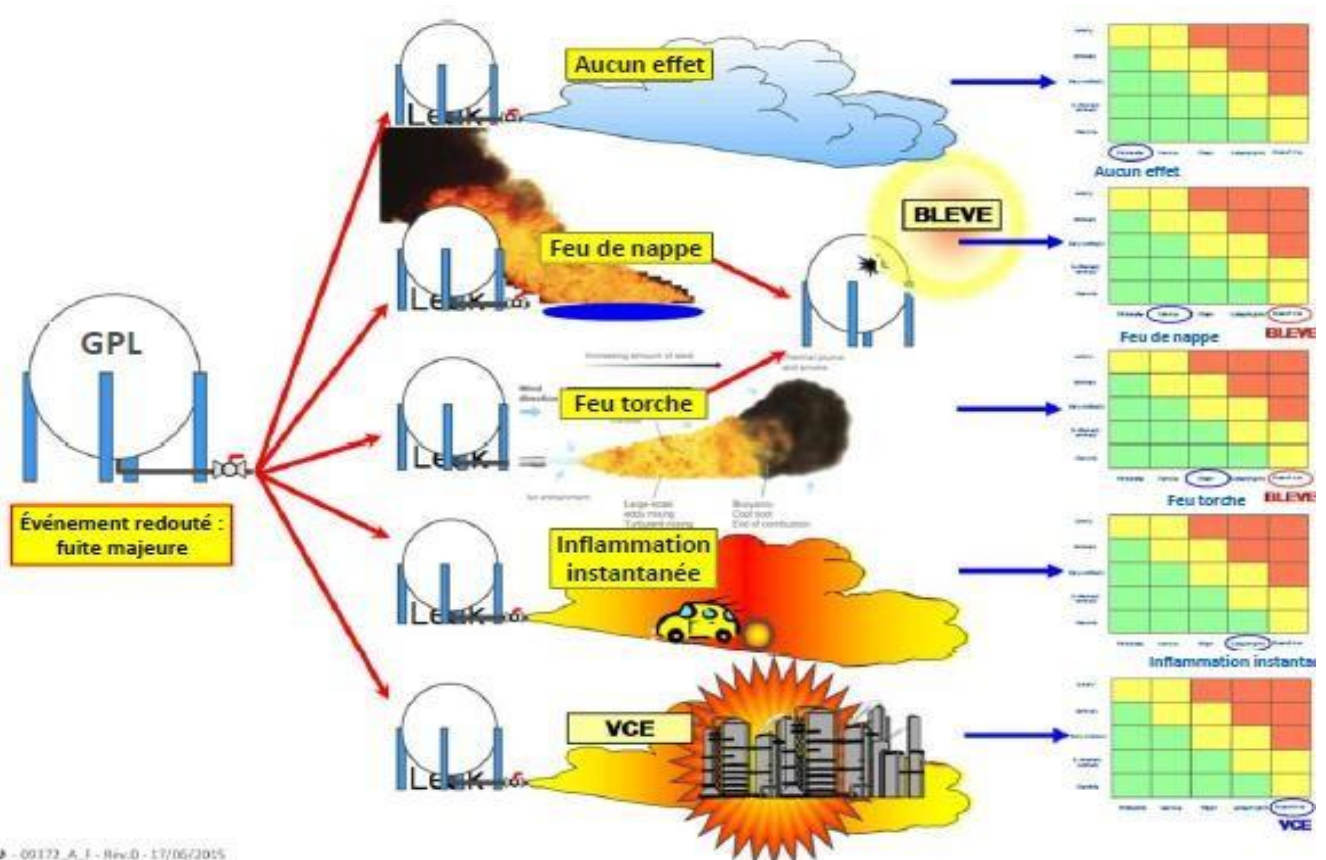
Le calcul de la probabilité d'apparition des phénomènes dangereux pour la perte de confinement :

✓ **Rejet liquide**

$$\begin{aligned}
 P(\text{Feu de nappe}) &= (0,5 \times 10^{-4}) \times P001 = 0,032 \times 10^{-4} \\
 P(\text{UVCE}) &= (0,5 \times 10^{-4}) \times (1-P001) \times P002 \times P003 = 0,935 \times 0,4 \times 0,2 = 0,038 \times 10^{-4} \\
 P(\text{Flash fire}) &= (0,5 \times 10^{-4}) \times (1-P001) \times P002 \times (1-P003) = 0,935 \times 0,6 \times 0,8 = 0,224 \times 10^{-4} \\
 P(\text{Epanchage du GPL}) &= (0,5 \times 10^{-4}) \times (1-P001) \times (1-P002) = 0,935 \times 0,6 = 0,28 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

✓ **Rejet gazeux**

$$\begin{aligned}
 P(\text{Feu de torche}) &= 0,1 \times 10^{-4} \\
 P(\text{UVCE}) &= 0,032 \times 10^{-4} \\
 P(\text{flash fire}) &= 0,128 \times 10^{-4} \\
 P(\text{dispersion}) &= 0,24 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$



09172_A_1 - Rev.0 - 17/06/2015

Figure II 10: Les différents phénomènes dangereux

Interprétation des résultats

Après calcul des probabilités d'apparition des phénomènes dangereux de l'évènement non souhaité retenu pour la méthode ADE, nous avons obtenu deux phénomènes les plus probable est qui sont épandage du GPL et la dispersion atmosphérique du gaz , alors que les phénomènes dangereux et qui présentent une gravité majeure c'est UVCE (explosion) , feu de nappe et feu de torche et qui sont la cause d'un BLEVE , car ils sont considérés des effets dominos provoquant un excès de pression interne ou une agression externe de l'enveloppe du réservoir .

II.8.1.3 Définition des scénarios plausibles générés d'une perte de confinement (fuite) :

Chaque chemin du nœud – papillon a partir d'un événement déclencheur particulier (ou cause) jusqu'à l'évènement redouté central et de cet événement jusqu'à sa conséquence particulière représente un scénario d'accident.

À l'aide de la méthode nœud papillon, nous schématisons les scénarios relatifs aux évènements non souhaités sur lesquels un arbre de défaillance et un arbre d'évènement sont établis

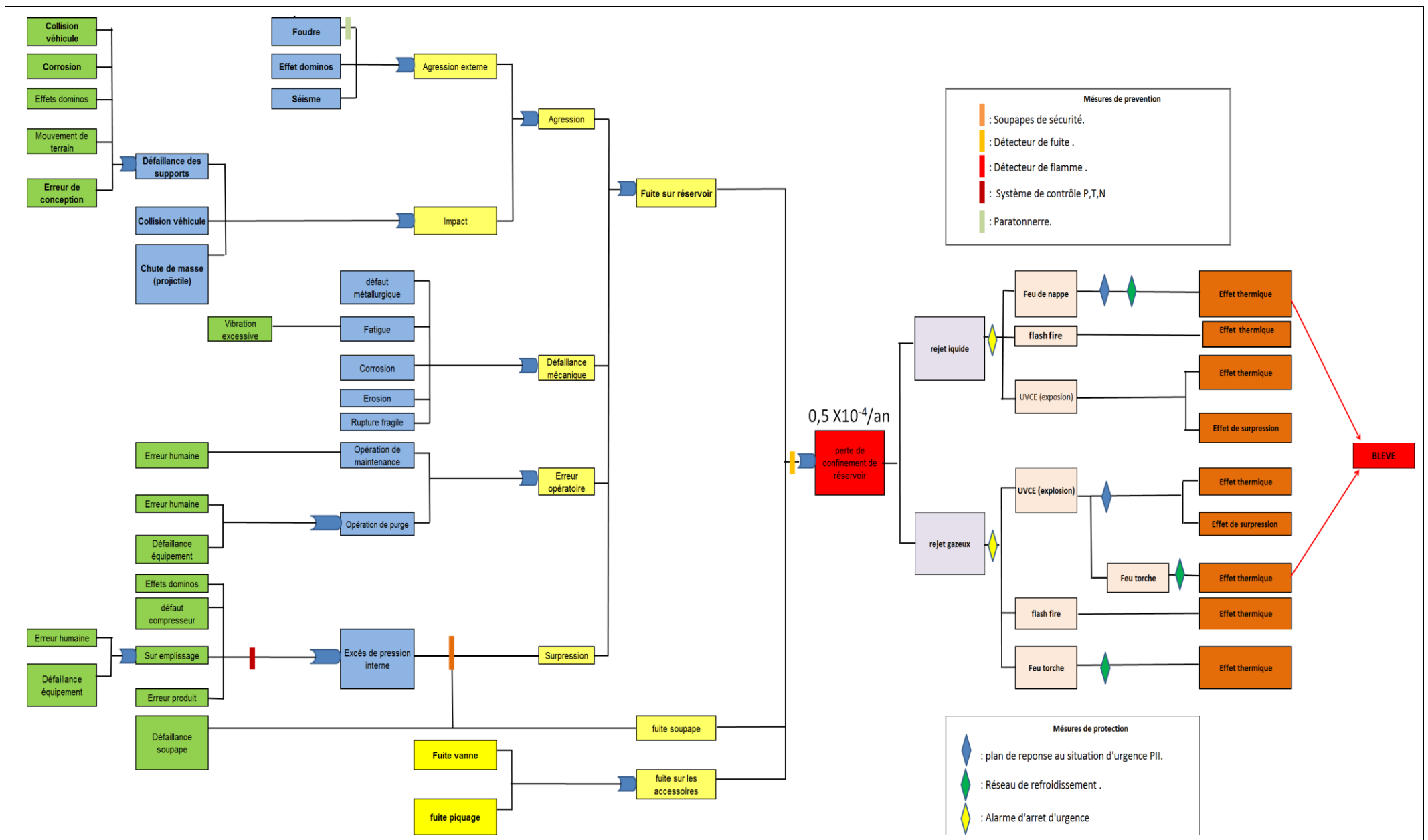


Figure 11 :Nœud papillon pour l'évènement perte de confinement du réservoir

Nous remarquons que le nœud papillons nous a permis de visualiser clairement l'enchaînement possible d'apparition des phénomènes dangereux à partir de l'événement redouté (Fuite) et de leur causes avec les mesures de sécurité (prévention et protection) existantes et de schématisé 12 scénarios par la logique arborescente) en présence d'une surpression et une source d'inflammation sont enregistré dans le tableau 8

CHAPITRE II : Application Étude de Danger (EDD) - Site de Stockage GPL Sonatrach Hassi R'mel

N° Scénarios	Cause	ERC	Conséquence
01	Surpression et blocage ou faible débits des soupapes	Perte de confinement	Feu de torche ou UVCE → BLEVE
02	Surpression avec corrosion ou usure de la canalisation	Rupture de la canalisation et perte de confinement	Formation d'un nuage UVCE → BLEVE
03	Surpression avec corrosion ou usure de la vanne d'alimentation	Rupture de la vanne et Fuite	Feu de gaz → BLEVE
04	Surpression a cause de la fermeture intempestive de la vanne	Rupture de la vanne et Fuite	Formation nuage gazeux UVCE → BLEVE
05	Surpression a cause de la fermeture intempestive de la vanne	Rupture de la vanne	feu de torche
06	Usure d'un joint sur bride	Fuite	Feu de gaz → BLEVE
07	Sur emplissage a Cause de la défaillance de la pompe provoquant une surpression	Perte de confinement	Formation nuage gazeux UVCE → BLEVE
08	Surpression a cause d'inversion du produit	Perte de confinement	Formation nuage gazeux UVCE → BLEVE
09	Erreur humain, niveau du liquide très bas	Rupture de la pompe	Feu de gaz
10	Flux thermique , faible débit ou blocage des soupapes	Surpression dans la sphère	Eclatement de la sphère → BLEVE
11	Effondrement due a la Corrosion /usure des pieds de la sphère	Epandage du GPL	Feu de nappe
12	Mauvaise formation des opérateurs	Négligence	Accidents et la panique

Tableau 8 : Scénarios des accidents

Les principaux résultats obtenus dans ce chapitre sont :

- ✓ L'évènement non souhaité le plus probable : perte de confinement du réservoir , ou la fuite
- ✓ Le phénomène dangereux: UVCE et Feu de torche ;
- ✓ La visualisation de 12 scénarios par la logique arborescente ;

Ce résultat est insuffisant pour estimer notre risque car il nous fournit seulement les fréquences sans aucune information sur les gravités. Le prochain chapitre sera consacré à l'étude de la gravité du phénomène le plus probable et sera dédié à la modélisation et à la simulation des effets de l'explosion .

II.9.Modélisation des effets de surpression par logiciel PHAST, cas de Hassi R'mel (d'une rupture catastrophique du ballon D108):

II.9.1.Présentation du champ de Hassi R'mel :

II.9.1.1.Situation géographique:

Hassi R'mel porte de désert, se trouve à 550 km au sud d'Alger, cette région est relativement plate du Sahara septentrional, l'altitude moyenne est d'environ 750 m. le climat est caractérisé par une faible pluviométrie (140 mm/an) et une humidité moyenne de 19 % en été et de 34 % en hiver. Les amplitudes thermiques sont importantes et les températures varient entre -5 °C en hiver, et +45 °C en été.

Les vents dominants sont de direction Nord avec une vitesse moyenne de 6 m/s[13].

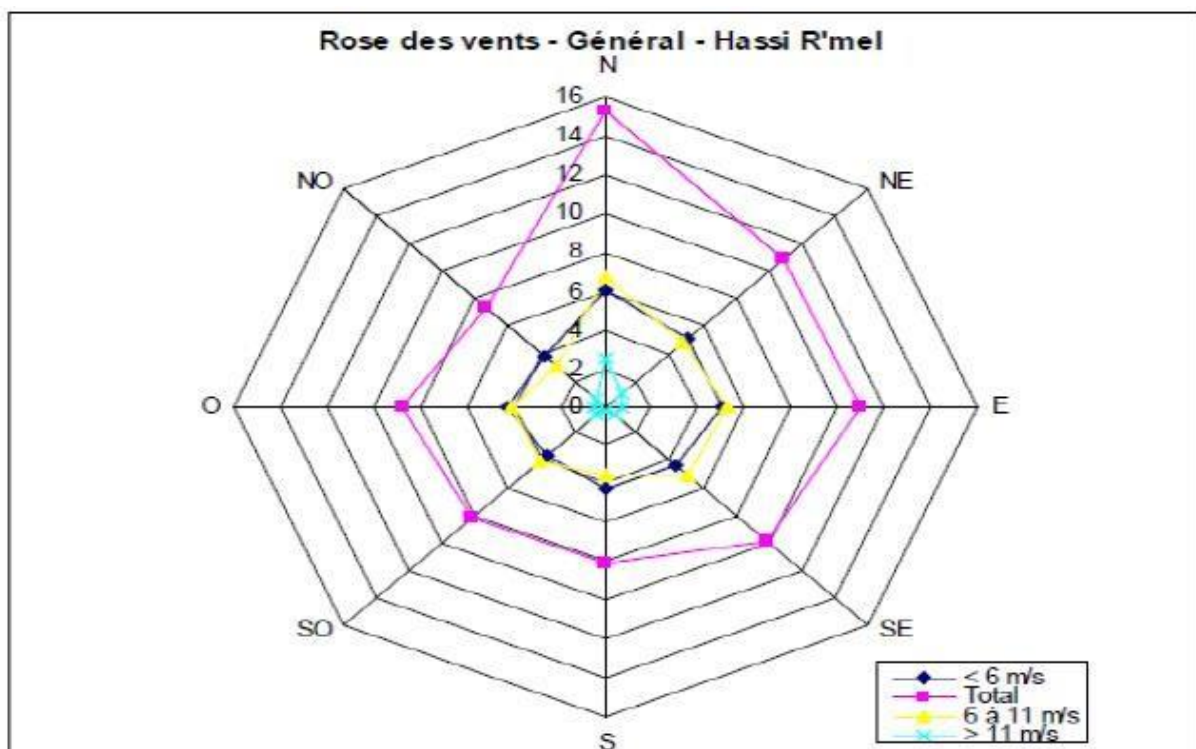


Figure II 12: Rose de vent de Hassi R'mel

II.9.1.2.Organisation du champ:

Il comporte trois zones d'exploitation (nord, centre, sud) entre lesquelles ont été intercalées deux zones de réinjection.

Zone nord est constituée du Module 3 (MPP 3) et station de compression nord.

Zone centrale est constituée des Module 0 (MPP0), 1 (MPP1) et 4 (MPP4), le Centre de Stockage et de Transfert des Fluides (CSTF), Station de Récupération des Gaz Associés (SRGA) et Centre Nationale de Distribution de Gaz (CNDG).

Zone sud est constituée du Module 2 (MPP2), station de compression sud et module HRSUD.

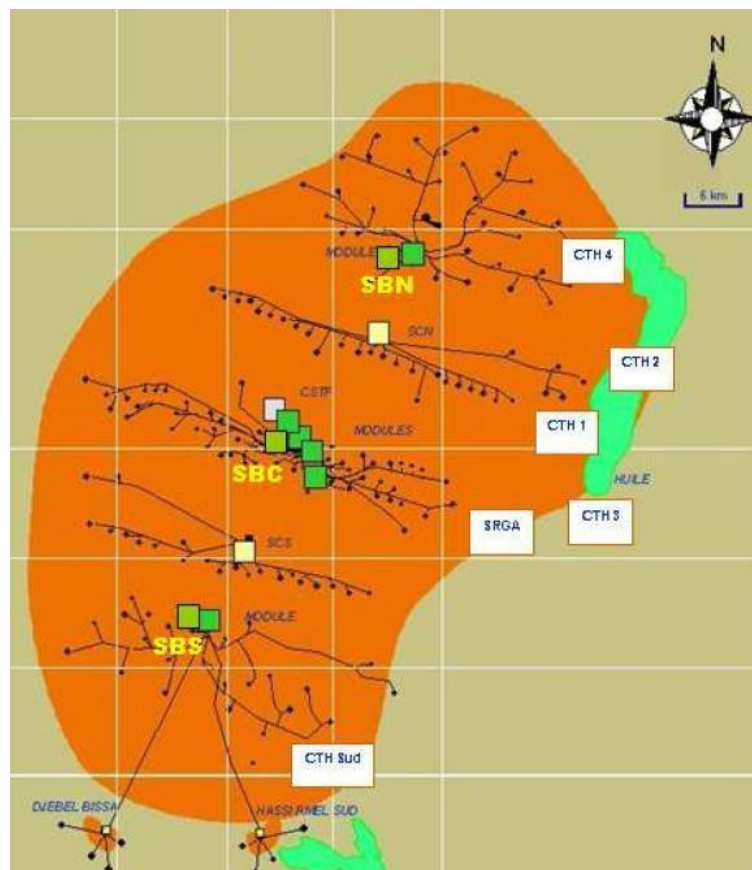


Figure II 13: La carte de champ de Hassi R'mel

III.9.1.3.Module MPP4:

L'usine MPP4 (Module Processing Plant 4) est un ensemble d'installations qui permettent de récupérer les hydrocarbures lourds (condensat et GPL) à partir du gaz brut, et de produire des gaz traités (gaz de vente ou de réinjection).

Au niveau de MPP4, on utilise le procédé HUDSON, le gaz brut en provenance des puits passe dans cinq collecteurs est réparti sur trois lignes (trains), chacune d'elle comporte les mêmes appareillages de processus avec même capacité de production.

La production est de :

60 millions m³/jour de gaz

2700 tonnes/jour de GPL

11800 tonnes/jour de condensat

III.9.1.4. Description du process :

Le gaz brut venant des puits à 107 et 60°C arrive du manifold des collecteurs est réparti en trois lignes de même capacité 20.10⁶ m³/J de gaz traité au niveau du diffuseur **D001** (chaque ligne se dirige vers un train).

Le gaz brut de chaque train est refroidit dans l'aéro-réfrigérant **E101** à 40°C puis se dirige vers le séparateur d'admission **D101** où l'eau et les hydrocarbures liquides sont séparés du gaz par gravité, l'eau séparé se dirige vers le séparateur d'huile (SPI). L'eau vers le bassin d'évaporation et le condensât vers bourbier

D'autre part les hydrocarbures liquides (condensât) du **D101** se dirigent vers le séparateur riche au condensât **D105**.

Le gaz du **D101** passe à travers les échangeurs (gaz / gaz) **E 102 / E 103** où il est refroidit jusqu'à -70°C, ce gaz passe a travers une vanne de "JOULE THOMSON" **PRCV 108** ou il est détendu jusqu'à 100 bars pour arriver au niveau du séparateur final à haute pression **D 102** à -17 C⁰ (détente isentropique).

Remarque :

Pour éviter la formation d'hydrate dans les échangeurs (gaz / gaz) **E 102 / E 103** on injecte une solution de glycol dans les échangeurs de chaleur cote tube.

Ayant absorbé de l'eau contenue dans le gaz brut, la solution de glycol se sépare du gaz dans le **D102**, le glycol hydraté est sortir et envoyer vers l'unité de régénération.

Le gaz de **D102** subit une détente isentropique dans le turbo-expander **K101** jusqu'à 64bars à -37°C vers le séparateur a moyenne pression **D103**, le gaz froid de **D103** va refroidir le gaz brut entrant au niveau des échangeurs **E 102**.

Il est comprimé par le compresseur entraîné par l'expander **K101** à 72 bars pour être envoyé dans le pipeline de gaz de vente.

Les hydrocarbures liquides (condensats) de **D101** ou s'évaporent les constituants légers, ces hydrocarbures chauds alimentent la partie inférieur du dé-ethaniseur **C101** au niveau du 21^{ème} plateau.

Les hydrocarbures liquides de **D102** et **D103** brut réunis et passent dans le séparateur **D104** (séparateur à basse pression), ou est récupéré le glycol non séparé dans le **D102** et **D103**.

La charge froide de **D104** va alimenter la partie supérieure de dé-ethaniseur **C101**. Ces gaz s'écoulent vers la section de recombposition avec le gaz provenant du séparateur riche en condensateur **D105** (au niveau de la recombposition à **K01** à 72 bars et rejoignent la ligne du gaz de vente).

La charge froide de **D104** alimente la partie supérieur du **C101** en 5^{ème} plateau passent à travers l'échangeur de reflux **E106** afin de condenser les gaz de tête **C101** partiellement. Les liquides de **D105** sont préchauffés dans l'échangeur d'alimentation **E104** par le condensât son tiré de fond du débutaniseur.

Une solution de glycol est injecté à l'entrée du **E106** et est récupéré dans l'appendice de **D107**: on injecte aussi une solution de glycol dans la canalisation de reflux du **C101**, sa récupération s'effectue au niveau du **D106** (séparateur hydrocarbures / glycol), le chauffage des liquides de fond **C101** s'effectue à l'aide du rebouilleur **H101**.

Le condensât non stabilisé se dirige ensuite vers le débutaniseur **C102** au niveau du 21^{ème} plateau, ou il y à séparation de GPL. Ce dernier est stabilisé dans le ballon **D108**, une partie de GPL est utilisé pour assurer le reflux froid de débutaniseur, l'autre partie est envoyée vers la section d'expédition.

III.9.1.5.Présentation de CSTF:

Le CSTF (Centre de Stockage et de Transfert des Fluides) a pour but de stocker le GPL et le condensat en provenance des modules de traitement de gaz MPP 0, 1, 2, 3, 4 et le centre de traitement de gaz Djebel Bissa, et de transférer ces deux produits vers le terminal d'ARZEW.

Le CSTF a une capacité totale de stockage de 78000 m³ de GPL et de 285000 m³ de Condensât.

Le Centre de Stockage et de Transfert Facilité CSTF dispose 12 Sphères (7170 m³ pour chaque sphère) de stockage de GPL et 07 Bacs de stockage du Condensât (3 bacs avec capacité de 35000 m³ et 4 bacs avec capacité de 45000 m³).

III.9.1.6.Sphère de GPL:

Les caractéristiques des sphères sont reprises dans le tableau 9

Tableau 9: Caractéristiques de sphère de stockage de GPL

Caractéristiques	Valeurs
Type d'installation	Sphère de stockage
Substance	GPL
T service (°C)	20
T calcul (°C)	De -17 à 93.3
P service (bar)	5.34
P épreuve (bar)	9.6

Volume (m ³)	7170
Densité (kg/m ³)	536
Diamètre de la plus grande connexion (pouces)	14
Volume de la cuvette de rétention individuelle (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’’ et vidées par une ligne de vidange de 12’’ calorifugées.

III.9.1.7. Ballon D108:

Les caractéristiques du ballon sont reprises au tableau 10:

Tableau 10: Caractéristiques de ballon de reflux de GPL (D108)

Caractéristiques	Valeurs
Type d'installation	Ballon de reflux (D108)
Substance	GPL
T service (°C)	35
T calcul (°C)	-28/93.3
P service (bar)	14.5
P calcul (bar)	16.5
P épreuve (bar)	28.8
Volume total (m ³)	50

La fonction du ballon de reflux D108 est de stabiliser le GPL en état saturé, pour diriger une grande partie de GPL vers l'expédition, la deuxième fonction est d'alimenter la tête du débutaniseur pour maintenir et contrôler la température.

III.9.2. Description de logiciel PHAST :

PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) est un outil permettant de modéliser les conséquences et analyser les risques.

- ✓ PHAST est une collection des applications :
- ✓ PHAST.
- ✓ PHAST Financial.
- ✓ PHAST Risk.
- ✓ PHAST Risk Financial.

PHAST est un logiciel utilisé pour évaluer les situations présentant des risques potentiels pour le personnel, les installations et l'environnement, et pour mesurer la gravité de ses situations. PHAST appartient à une gamme de produits développés par DNV Software, reconnu comme le leader mondial dans le domaine de l'évaluation de risques et des accidents industriels majeurs. Tout naturellement, il a été adopté par de nombreuses entreprises internationales de premier plan et par des gouvernements comme un précieux outil d'aide à la décision en matière de risque industriel et de sécurité publique.

PHAST examine le progression d'un incident potentiel de la fuite initiale à la dispersion en champ lointain, incluant la modélisation de l'épandage et de l'évaporation des flaques, ainsi que les effets de l'inflammabilité, l'explosion et la toxicité.

Pour le thème de notre étude, PHAST emploie trois méthodes pour l'évaluation des effets de **surpression lors d'une explosion VCE :**

- Méthode Equivalent TNT.

Avantages : PHAST peut :

- Faciliter l'élaboration des études de danger.
- Faciliter les études pour la réduction des coûts en termes de pertes et d'assurances.
- Permettre l'optimisation de la conception du site et des procédés.
- Aider l'industrie à se conformer à la législation.

Pour la modélisation des conséquences:

- Il améliore la compréhension des dangers potentiels par les utilisateurs.
- Les mises à jour régulières du logiciel incorporent les expériences et les expertises les plus récentes dans l'industrie.

II.9.3. Résultats de la modélisation par logiciel PHAST :

La modélisation de phénomène de VCE est faite pour deux scénarios :

- une rupture catastrophique du ballon D108

La modélisation nécessite les paramètres suivants :

- Le volume ou la masse de GPL contenu dans l'équipement.
- La pression de rupture de l'équipement.
- Direction et vitesse de vent (on utilisera la direction et la vitesse du vent dominant à Hassi R'mel).
- Pour la méthode Multi-Energie, nous allons introduire le nombre des zones encombrées dans le nuage gazeux et leurs degrés d'encombrement).
- Pour la méthode de Baker-Strehlow, nous allons introduire le mode de propagation (nombre des plans), degré d'encombrement et la réactivité de gaz.

Le rendement retenu dans la méthode « Equivalent TNT » et 10%.

II.9.3.1.1. Modélisation par méthode Equivalent TNT

II.9.3.1.1.1. Modélisation de la rupture catastrophique

La courbe suivante représente la surpression lors d'une rupture catastrophique du ballon D108 :

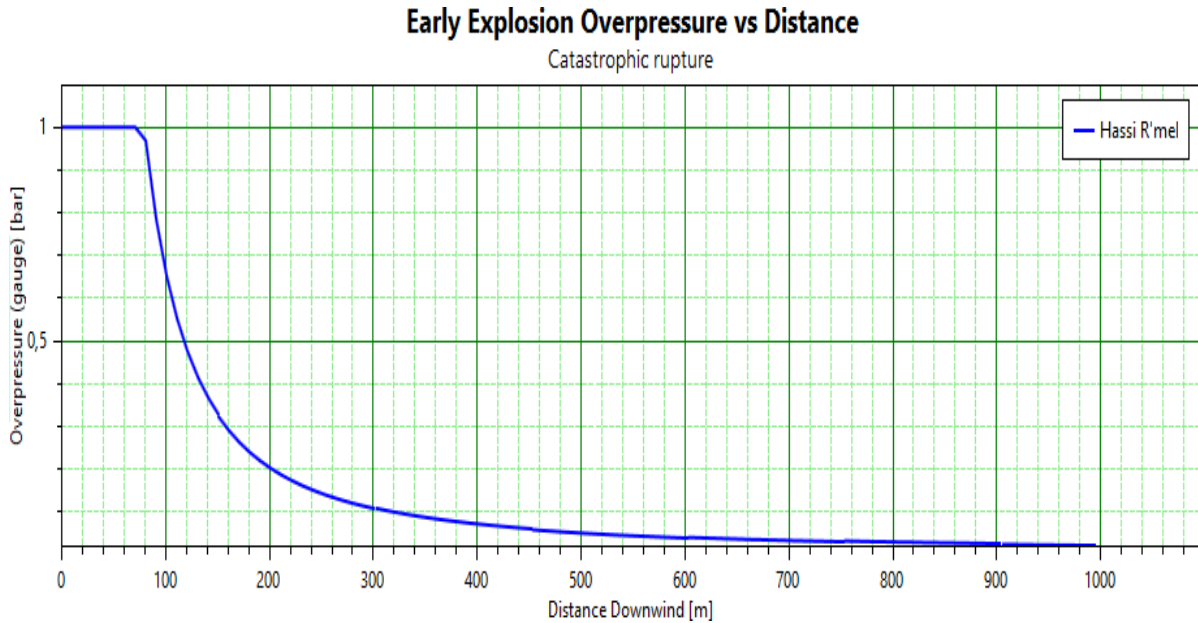


Figure II 14: La surpression en fonction de la distance (rupture catastrophique du ballon D108(TNT))

Pour la méthode Equivalent TNT, PHAST limite la surpression à 1 bar.

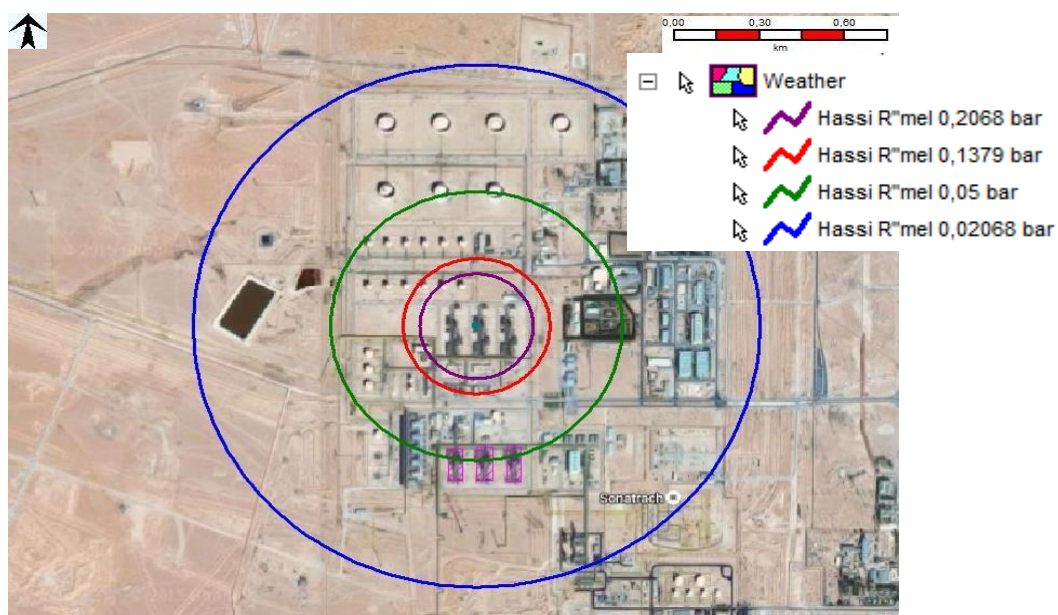


Figure II 15: Illustration de surpression (rupture catastrophique du ballon D108 (TNT))

Le tableau suivant reprend les distances d'effets de surpression associées au phénomène de VCE suite à une rupture catastrophique de ballon de reflux de GPL (D108).

Tableau 11: Distances d'effets de surpression (rupture catastrophique de ballon D108 (TNT))

Niveau de surpression (mbar)	Distance d'effet (m)
200	205
137	257
50	528
20	1067

Dans le cas d'une rupture catastrophique, le logiciel PHAST considère que le centre de l'explosion est la position de l'équipement.

II.10. Conclusion:

Bien que le site de Hassi R'mel bénéficie vraisemblablement de standards de sécurité élevés en tant qu'installation clé de Sonatrach, l'amélioration continue est essentielle pour la maîtrise des risques majeurs. Les recommandations suivantes sont formulées : Validation des Données Spécifiques : Confirmer les données techniques précises utilisées dans cette étude (capacités exactes des sphères, pressions de service, détails des systèmes de sécurité installés) par une vérification documentaire interne approfondie sur le site de Hassi R'mel. Modélisation Détaillée : Réaliser (ou mettre à jour) la modélisation quantitative des effets pour les scénarios majeurs identifiés (BLEVE, UVCE, Jet Fire) en utilisant les données spécifiques du site et des logiciels reconnus (PHAST, EFFECTS, etc.). Les résultats devront être utilisés pour affiner les zones de danger du POI et vérifier l'adéquation des distances de sécurité et des mesures de protection.

D'après les résultats précédents, on conclut que :

- la méthode TNT surestime la surpression au champ proche de centre de l'explosion, lors des petites quantités de gaz, après la surpression diminue avec une vitesse plus que les autres méthodes.
- Les résultats de la méthode TNT lors des grandes quantités de combustible ne sont pas surestimés.

II.11. Conclusion Générale de l'Étude de Dangers :

L'étude de dangers réalisée conformément aux exigences du cadre réglementaire algérien (décret exécutif n° 06-198 ansi Décret exécutif n° 21-319) vise à identifier, évaluer et maîtriser les risques technologiques majeurs associés à l'installation étudiée. Cette approche s'inscrit

dans une logique de prévention, de protection des personnes, des biens et de l'environnement, et de respect des principes de la maîtrise des risques à la source.

L'analyse systématique des substances dangereuses présentes, des scénarios accidentels potentiels (incendies, explosions, rejets toxiques), et des conséquences associées, a permis de caractériser les zones de dangers, les effets dominos potentiels ainsi que les mesures techniques, organisationnelles et humaines mises en œuvre pour en limiter la probabilité et les impacts.

Le Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL) est une source d'énergie polyvalente et largement utilisée, mais ses propriétés physico-chimiques inhérentes, telles que sa volatilité, sa densité de vapeur supérieure à celle de l'air, et son inflammabilité, le rendent intrinsèquement dangereux. Une compréhension approfondie de ces propriétés est fondamentale pour évaluer et maîtriser les risques associés à son utilisation.

L'analyse des scénarios d'accidents majeurs, incluant le **BLEVE**, les incendies (**flash fire, jet fire, pool fire**) et les explosions de nuages de vapeur non confinés (**UVCE**), met en évidence le potentiel dévastateur des incidents impliquant le GPL. Bien que ces événements soient rares, leurs conséquences sur les personnes (brûlures, traumatismes, asphyxie), l'environnement (pollution de l'air, du sol, de l'eau) et les biens (dommages matériels, pertes de production) peuvent être catastrophiques. L'étude des accidents passés a permis de tirer des leçons cruciales et d'améliorer les pratiques de sécurité.

Les risques spécifiques varient également en fonction de l'application du GPL, qu'il s'agisse du stockage et de la distribution industriels, de l'utilisation domestique et commerciale, ou du GPL carburant. Chaque contexte exige une approche adaptée en matière de gestion des risques.

Pour évaluer et maîtriser ces risques, diverses méthodes d'analyse, telles que **arbres de défaillances** et **arbres d'événements**, sont des outils essentiels. Elles permettent d'identifier les dangers, d'évaluer les probabilités et les conséquences, et de définir des mesures de maîtrise efficaces. Les données statistiques sur les incidents, bien que parfois limitées, fournissent des informations précieuses pour orienter ces analyses.

Références:

Décret exécutif n° 21-319 du 5 Moharram 1443 correspondant au 14 août 2021 relatif au régime d'autorisation d'exploitation spécifique aux installations et ouvrages des activités d'hydrocarbures. (Source: Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (JORADP), N° 66, 29 août 2021).

Loi n° 03-10 du 19 Jomada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. (Source: JORADP N° 43, 20 juillet 2003).

Décret exécutif n° 06-198 du 4 Jomada El Oula 1427 correspondant au 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement (ICPE). (Source: JORADP N° 37, 4 juin 2006). Textes d'application spécifiques aux ICPE et aux études de dangers (Arrêtés interministériels, circulaires, guides de l'ARH ou du Ministère de l'Environnement, si applicables et disponibles).

Rapport de stage Sonatrach Hassi R'Mel (Consulté via Scribd - Auteur et date non spécifiés précisément dans les résultats de recherche).

Mémoire Online : Benyamina N., Titre spécifique sur le complexe GP2/Z Arzew (Date non spécifiée). Thèse Université Ouargla : Miloud S., Titre spécifique sur le stockage GPL (Date non spécifiée, accès direct échoué).

Thèses Universités Ouargla, Oran 2 (mentionnées dans les résultats de recherche pour l'application HAZOP en Algérie - Auteurs et titres spécifiques à retrouver).

Autres Références Web

Site web Sonatrach : www.sonatrach.com (section liquéfaction-et-séparation).

Sites web des organismes de normalisation (API, NFPA, IEC, ISO).

Bases de données réglementaires (JORADP, FAOLEX, etc.).