

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SKIKDA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Hygiène et sécurité industrielle

Spécialité : Sécurité des procédés industriels et maîtrise des risques

**Application de l'approche ARAMIS au
niveau -GNL- Skikda : Section
Stockage et Expédition**

Soutenu le 24/06/2023

Réalisé par :

MOHAMED NADIR BENDJAMA

YASSER BAKOUCHE

ABD ERAHMAN BOUACHARI

Encadrer Par :

Madame : M. HALLASSI

Année Universitaire 2022- 2023



REMERCIEMENT :

Avant toute chose nous tenons à remercier dieu qui nous a donné courage, force et patience pour la réalisation de ce modeste travail.

*En second lieu nous remercions et nous exprimons nos sincères reconnaissances à madame **Hallaci Manel** qui a bien voulu nous encadré durant tout le processus d'élaboration de ce travail et dont la disponibilité, le savoir-faire et le soutien ne nous ont jamais fait défaut.*

*Nous adressons spécialement nos remerciements à monsieur **Staili Riad** et monsieur **Chenik Sofiane** pour le temps qu'ils nous ont accordé, leurs conseils ainsi que leur précieuse aide.*

Nous remercions aussi tous les membres du jury, le département de pétrochimie et génie de procédés ainsi que l'université du 20 aout 1955 – Skikda.

Et en dernier lieu nous tenant à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Aux être qui me sont les plus chères, qui m'ont toujours soutenu, et qui ont fait de moi ce que je suis, je leur dédie ce modeste travail en qui se de reconnaissance pour tous leurs sacrifices :

Ma mère et mon père ;

A mes très chers frères : Achraf, Hani, Nadir

A toute la famille : Bakouche, le grand scit-il ou petit ;

A mon collègue : Nadir et abd erahmen ;

*A mes amis : Linou, Wail, ikbel, Sheb, Ahmed, Aymen, Anis
, Mahedi....*

A tous les amis dans l'université de Skikda ;

A tout ce que j'ai oublié involontairement.

BAKOUCHE YASSER.

Dédicaces

*Premièrement je remercie Allah qui m'a donné la patience et la force pour
Accomplir ce travail*

*Je dédie cet effort
A la moitié de ma vie et la personne qui a été toujours là pour moi, ma chère
mère,*

Mon père,

Ma Sœurs,

Et a toutes ma famille

Et tous mes amis

Nadir

Dédicaces

Au meilleur des pères

A ma très chère maman

Qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté

A qui je dois tout

A ma sœur et mon frère

A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite

A mes Amis

A tous ceux qui me sont chers

ABD ERAHMAN BOUACHARI

ملخص

تعتبر الصناعة النشاط الأكثر خطرا على الانسان وخسائرها في الارواح والجرحى تفوق بدرجة كبيرة خسائر ما تخلفه الحروب وبالتالي فالوقاية و الامن الصناعي تهتم بتوفير ظروف العمل الامنة و الصحية المناسبة في اماكن العمل. لهذا الغرض قمنا بتطبيق طريقتين لتحديد المخاطر المتواجدة في صندوق التخزين والارسال. فالطريقة الاولى عبارة عن تحليل مخاطر العمليات كما سمحت بتحديد الاخطار اما الثانية فهي (ارميس) والتي تعد من الطرق المتكاملة و التي سمحت لنا بتحليل و توضيح جانبيين خطيرين و هما الاحتراق و الانفجار. وبعد دراسة الحادثين تمكنا من تحديد 3 مخاطر كبرى الا وهي الحريق الانفجار و تشكل شعلة نارية و التي قمنا بحساب احتمال حدوثها و وقوعها اعتمادا على تطبيق (غريف) مع اخذ الحواجز الامنية بعين الاعتبار مما ساعدنا على تقديم توصيات تسمح بتفادي هذه المخاطر.

كلمات المفاتيح : المخاطر الكبرى. طريقة اراميس. الحواجز الامنية. انفجار APR

Résumé

L'industrie est considérée comme l'activité la plus dangereuse pour les êtres humains et les pertes en vies humaines et les blessés sont beaucoup plus importantes que les pertes causées par les guerres. Par conséquent, la prévention et la sécurité industrielle visent à assurer des conditions de travail sûres et saines. À cette fin, nous avons appliqué deux méthodes pour identifier les risques dans le complexe GL1K de STOKAGE et EXPEDITION. La première méthode est l'analyse des risques d'exploitation qui permet de déterminer les dangers, le second est l'ARMIS, qui est l'une des méthodes permettant d'analyser et de clarifier deux aspects dangereux, à savoir la combustion et les fuites de gaz. Après avoir étudié les incidents, nous avons pu identifier trois dangers majeurs, le feu, l'explosion et le flashfire, calculés sur la base de l'application de Greif, tout en tenant compte des barrières de sécurité, ce qui nous a permis de faire des recommandations pour éviter ce genre de risques.

Mot clé : Risque majeur, Méthode ARAMIS, Barrière de sécurité, Explosion, APR.

Abstract

Industry is considered the most dangerous activity for human beings and the loss of life and injury is far greater than the losses caused by war. Therefore, prevention and industrial safety are aimed at ensuring safe and healthy working conditions. To this end, we applied two methods to identify risks in the STORAGE & DISPATCH. The first method is the analysis of the risks of exploitation and makes it possible to determine the dangers, the second is the ARMIS, which is one of the methods allowing to analyze and to clarify two dangerous aspects, namely the combustion and the gas leaks. After studying the incidents, we were able to identify three major hazards, fire, explosion and flashfire, calculated on the basis of Greif's application, while taking into account the safety barriers, which allowed us to make recommendations to avoid such risks.

Key words: Major risk, ARAMIS method, Safty barrier, Explosion, APR.

Table de matières

Remerciement	
Dédicaces	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I : Généralités sur l'analyse des risques

Introduction	3
I.1. Concepts et définitions.....	3
I.1.1. Danger	3
I.1.2. Risque	3
I.1.3. Différence entre Risque et danger.....	3
I. 1.4. Situation dangereuse	3
I.1.5. Prévention	4
I.1.6. Protection	4
I.1.7. Intervention	4
I.1.8. Incident.....	4
I.1.9. Accident	4
I.1.10. Incendie.....	4
I.1.11. La combustion.....	4
I.1.12. Différence entre l'incendie et le feu.....	5
I.1.13. L'accident industriel majeur	5
I.1.13.1. Causes communes des accidents industriels	5
I.1.13.2. Conséquences communes des accidents industriels majeurs	7
I.2. Principaux phénomènes dangereux liés aux risques industriels.....	7
I.2.1. Le BLEVE.....	7
I.2.2. Une UVCE	8
I.2.3. Le BOIL OVER	8
I.2.4. Le feu de nappe.....	9
I.3. Typologie des risques majeurs	9
1.3.1. Les risques naturels	9
1.3.2. Les risques technologiques.....	9
1.3.3. Les risques biologiques	9
1.3.4. Les risques sociaux.....	10

I.4. Inventaire des risques.....	10
I.4.1. Risques généraux	10
I.4.2. Risques liés au travail dans des espaces confinés.....	12
I.4.2.1. Les espaces confinés courants.....	12
I.4.2.2. Pénétration dans une capacité	12
I.4.2.3. Les risques en cours du travail dans une capacité.....	13
I.4.2.4. Travaux à l'extérieur ou à l'intérieur des capacités	14
I.5. Approches d'analyse de risques	14
I.5.1. Approche déterministe	14
I.5.2. Approche probabiliste	14
I.6. Méthodes d'analyse de risques.....	15
I.6.1. Méthodes quantitatives.....	16
I.6.2. Méthodes qualitatives	17
I.6.2.1. Méthodes inductives.....	17
I.6.2.2. Méthodes déductives.....	18
I.7. Panorama des méthodes d'analyse de risque	18
I.7.1. Analyse préliminaire des risques / dangers (APR/APD)	19
I.7.2. Arbre des défaillances	20
I.7.3. Analyse par Arbre d'Evènements (Event Tree Analysis - ETA).....	22
I.7.4. Nœud papillon.....	23
I.7.5. Accidentals risk assessment methodology for industries (ARAMIS).....	25
Conclusion.....	26

Chapitre II : Présentation du complexe

Introduction	27
II.1. Situation géographique	27
II.2. Caractéristiques de production	27
II.3. Procédé de liquéfaction	29
II.4. Présentation générale des installations	29
II.4.1. Les utilités	29
II.4.1.1. L'énergie électrique.....	30
II.4.1.2. La production d'air instrument et d'air service	30
II.4.1.3. La production d'eau potable.....	30
II.4.1.4. Le système torche et brûlot	31
II.4.1.5. Eaux huileuses et eaux pluviales	31

II.4.1.6. L'unité de stockage et de chauffage d'huile pour les échangeurs	31
II.4.2. Train de liquéfaction et de fractionnement	32
II.4.2.1. Unité de comptage du gaz naturel (unité 01)	32
II.4.2.2. Unité de compression du gaz naturel (unité 01).....	32
II.4.2.3. Unité de décarbonatation du gaz naturel (unité 12)	32
II.4.2.4. Unité de déshydratation du gaz naturel (unité 13)	33
II.4.2.5. Unité de démercurisation du gaz naturel (unité 14)	33
II.4.2.6. Unité de liquéfaction du gaz naturel et d'extraction de la charge de gaz riche en Hélium (unité 15).....	33
II.4.2.7. Unité de fractionnement des sous-produits (unité 07)	34
II.4.2.8. Réfrigération pour la liquéfaction du gaz naturel (unité 16 et 20)	34
II.4.2.9. Le stockage des produits finis comprenant (unité 80).....	35
II.5. Les propriétés physiques et chimiques du GNL	35
Conclusion	36

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Introduction	37
III.1. Unités80P et 80 : Stockage et expéditions du GNL	37
III.1.1. Matières premières : GNL	37
III.1.2. Les propriétés physiques et chimiques du GNL.....	38
III .2. Description des installations.....	38
III .3. Stockage du GNL	40
III .4. Chargement et Expéditions du GNL	40
III .5. Les causes des accidents liées aux stockages et chargement GNL	41
III .6. Les conséquences des accidents liées aux stockages et chargement GNL.....	41
III .7. Evaluation préliminaire des risques.....	41
III.7.1. Caractérisation des niveaux de risque	41
III.8. Analyse des risques sur chargement et expédition GNL.....	43
III.8.1. Application de la méthode APR	43
III.8.2. Discussion de la méthode APR	50
III.8.2.1. Stockage GNL.....	50
III.8.2.2. Chargement GNL.....	51
III.8.3. Récapitulatif des mesures d'amélioration identifiées suite à l'APR	51
III.9. Application de la méthode ARAMIS [accidentls risk assessment methodology for industries].....	52

III.9.1. Opération A : Identification des scénarios d'accidents majeurs.....	52
III.9.2. Opération A1 : Méthode MIMAH (Méthodologie for the Identification of Major Accident Hazard).....	59
III.9.3. Opération B: MIRAS (Method for the Identification of Reference Accident Scenarios)	70
III.9.4. Opération C-D : indice de sévérité et la vulnérabilité	93
III.9.4.1. Indice de sévérité.....	93
III.9.4.2. Calcul de l'indice de sévérité	95
III.10. Modélisation et simulation par le logiciel ALOHA	96
III.11. Simulation des effets thermiques et des effets surpression des phénomènes dangereux au niveau du stockage GNL	98
III.11.1. Discussion des résultats du logiciel ALOHA	102
Conclusion.....	103
Conclusion générale.....	104

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur l'analyse des risques

Figure I.1 : Triangle de feu.....	4
Figure I.2 : Principales causes des accidents industriels majeurs.....	6
Figure I.3: Le phénomène du BLEVE.....	7
Figure I.4: Le phénomène d'UVCE.....	8
Figure I.5 : Le phénomène de BOIL OVER.....	8
Figure I.6 : Le phénomène de feu de nappe.....	9
Figure I.7 : Approches d'analyse de risque.....	15
Figure I.8: Typologie des méthodes d'analyse de risque.....	16
Figure I.9: Classification des principales méthodes d'analyse de risque qualitatives	18
Figure I.10: Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances	22
Figure I.11: Représentation de scénarios d'accident selon le modèle du nœud papillon	24
Figure I.12 : Les opérations d'ARAMIS.....	26

Chapitre II : Présentation du complexe

Figure II.1 : Situation du complexe GL1K dans la Zone Industrielle de Skikda.....	27
Figure II.2 : Schéma des différentes sections des utilités	30
Figure II.3 : schéma synoptique du processus du méga train	32

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Figure III.1: Historique d'un GNL entre sa production et sa regazéification	38
Figure III.2: Chargement et expédition GNL	40
Figure III.3: Les opérations d'ARAMIS	49
Figure III.4: les étapes de la méthode MIMAH	56
Figure III.5: résume les principales étapes de la méthode MIRAS	67
Figure III.6: Exemple d'identification des fonctions	71
Figure III.7: Exemple de calcul de probabilité d'un événement en prenant en compte la barrière prévenir	79
Figure III.8: représentation simplifiée des barrières sur les arbres	80
Figure III.9: effet d'une barrière EVITER sur le calcul des fréquences d'occurrence	81
Figure III.10: effet d'une barrière CONTROLER ou DETECTER sur le calcul des fréquences	81

Figure III.11: exemple de prise en compte des barrières	82
Figure III.12: règles de calcul des probabilités de l'arbre des évènements	85
Figure III.13: fenêtre des seuils des effets thermiques	99
Figure III.14: fenêtre des zones menacer.....	99
Figure III.15: cartographie des zones menacées par les effets thermiques d'une explosion.....	100
Figure III.16: Fenêtre des seuils des effets sur pression	100
Figure III.17: Zone suite à la dispersion du nuage inflammable.....	101
Figure III.18: cartographie des zones menacées par les effets sur pressions zones nuages de vapeur inflammable.....	101
Figure III.19: Fenêtre des seuils des zones toxiques suite à la dispersion du nuage de vapeur.....	102
Figure III.20: Fenêtre des seuils des zones toxiques suite à la dispersion du nuage de vapeur.....	102
Figure III.21: Cartographie des zones toxiques suite à la dispersion du nuage de vapeur.....	103

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur l'analyse des risques

Tableau I.1 : Risques liés aux phases de travail	10
Tableau I.2 : Exemple de tableau de type « APR »	19
Tableau I.3 : Exemple de tableau pour l'HAZOP	25

Chapitre II : Présentation du complexe

Tableau II.1 : produits présents au complexe	28
Tableau II.2 : Spécifications du GNL	28
Tableau II.3 : Composition du MR	29
Tableau II.4 : les propriétés physiques et chimiques du GNL	35

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.1 : Composition du Gaz liquéfié	37
Tableau III.2 : Propriétés physiques et chimiques du GNL	38
Tableau III. 3 : Les caractéristiques du parc de stockage	39
Tableau III.4 : échelle de gravité	42
Tableau III.5 : échelle de probabilité	42
Tableau III.6 : feuilles de la présentation de la méthode APR	44
Tableau III.7 : Feuilles de la présentation de la méthode APR.....	47
Tableau III.8 : Equipements potentiellement dangereux.....	50
Tableau III.9 : Masse de référence selon la nature des substances	52
Tableau III.10 : Résultat des calculs de l'étape A0.....	55
Tableau III.11 : Partie de la matrice croisant le type d'équipement avec les 12 événements Critiques potentiels	57
Tableau III.12 : Partie de la matrice croisant les événements critiques avec l'état physique des Substances	57
Tableau III.13 : Valeurs types de brèches et de diamètres de fuite d'ARAMIS	58
Tableau III.14 : Définition des éléments de l'arbre des causes de l'ERC7 et ERC8 stockage GNL	60
Tableau III.15 : Définition des éléments de l'arbre des causes de l'ERC7 et ERC8 expédition GNL	61
Tableau III.16 : Arbres des défaillances pour ERC7-8 stockage GNL	62

Tableau III.17: Arbres des défaillances pour ERC7-8 chargement GNL	63
Tableau III.18: Définition des éléments de l'arbre des évènements de l'ERC7 et ERC8	64
Tableau III.19: Arbres des événements pour ERC7 – 8 stockage GNL	65
Tableau III.20: Arbres des événements pour ERC7-8 expédition GNL	66
Tableau III.21: Estimation qualitatif des fréquences d'occurrence par année	68
Tableau III.22: Identification des barrières de sécurité par branche des arbres des défaillances et des évènements identifiés dans l'opération MIIMA	71
Tableau III.23 : Niveau de confiance de la conception de la barrière liée à la sureté de fonctionnement	75
Tableau III.24 : Type des barrières de sécurité	76
Tableau III.25: Les règles de calcul des probabilités dans un arbre des défaillances	80
Tableau III.26: Définition des classes de gravité de PD	88
Tableau III.27: Estimation grossière des classes de gravité par phénomène dangereux.....	89
Tableau III.28: Placement des DP de l'unité de stockage GNL et expédition GNL dans la matrice de risque de ARAMIS.....	92
Tableau III.29: Les Niveaux de l'indice de sévérité d'une installation.....	95
Tableau III.30: Relation entre la valeur Set la distance ou cette valeur est atteinte.....	95
Tableau III.31 : Equations linéaires SDP.....	96
Tableau III.32 : des effets thermiques d'une explosion sur l'homme.....	103
Tableau III.33 : Résultat de calcul des distances de sévérité du feu de nappe selon ARAMIS.....	104

Liste des abréviations

APR : Analyse préliminaire des risques

AMDEC : Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité

ADD : Arbre des défaillances

ADE : Arbre des événements

ARAMIS: Accidental risk assessment methodology for industries

ALOHA : Amplacement regionaux des astmospheres dangereuses

BLEVE: Boiling liquid expanding vapor explosion

CO2 : Dioxyde de Carbone

Ert : Evènement redouté tertiaire

EM : Evènement majeur

ERS : Evènement redouté secondaire

ETA : Event tree analysis

ERC : Evènement redouté central

FDS fiche de donné de sécurité

GL1K : Gaz liquéfié Skikda

GL3Z : Gaz liquéfié Oran

GNL : Gaz naturel liquefier

GN : Gaz naturel

GPL: Gaz propane liquéfié

HAZOP: Hazard and operability study

MR : Mayeur Réfrigérant

MCHE : Echangeur cryogénique principal

MCR: Circuit mélange refrigerant

Mimah: Methodologies for identification of major accident hazard

Miras: Method for the identification of reference accident scenario

Pd : Phénomène dangereux

PDI : Indicateurs de pression différentielle

Pfd: Probability of failure on demand

Phd : Phénomène dangereux

UVCE : Unconfined vapor cloud explosion

Introduction Générale

Introduction générale

Aujourd'hui, le monde industriel est devenu plus sensible à la maîtrise des accidents majeurs à cause des conséquences graves et des catastrophiques : matérielles, humaines et environnementales.

Ces accidents majeurs comme l'explosion, l'incendie...etc. peuvent être causés par des risques de différentes natures tels que les risques mécaniques, électriques et aussi naturels. Le secteur le plus touché par ces accident majeurs, c'est le secteur où l'indentification, l'analyse, l'évaluation et la maitrise des risque sont indispensables afin de prévenir ces accidents et protéger les installations, les personnes les biens et l'environnement. Pour cela, des efforts considérables sont fournis pour atteindre ces objectifs.

Ces accidents mettent en évidence l'importance d'analyser les facteurs en cause techniques, humaines et organisationnelles sources de tel évènement redouté, leurs effets sur le milieu professionnel concerné ou sur le public d'une part, et l'évaluation du niveau de risque et chercher comment le ramener à un niveau acceptable d'autre part.

Pour évaluer ces risques et rechercher des solutions, il faut associer la connaissance du personnel et les compétences des services fonctionnels. C'est pourquoi, on est amené à proposer des actions d'amélioration lors de l'identification des situations dangereuses et Pour une évaluation objective, il faut prévoir des méthodes d'évaluation bien définies.

L'objectif de notre travail est de réévaluer les risques majeurs de l'unité de stockage et expédition GNL du complexe GNL Skikda en prenant compte les mesures de sécurité organisationnelles et techniques mises en place pour la prévention et la protection.

Afin de répondre à cet objectif, nous allons entreprendre une analyse préliminaire des risques pour toutes les zones de cette unité pour cibler la zone à risques majeurs. Ensuite nous appliquerons la méthode intégrée ARAMIS pour une analyse approfondie des scénarios d'accidents majeurs.

Et enfin nous proposons de modéliser par le logiciel ALOHA les effets des phénomènes dangereux déterminés par la méthode ARAMIS.

Pour atteindre notre objectif, notre étude a été faite selon un travail qui comprend trois chapitres :

Introduction générale

Partie théorique :

➤ **Chapitre 1** : «Généralités sur l'analyse des risques»

A pour objectif de présenter les phénomènes dangereux et les notions, les concepts fondamentaux liés à la démarche d'analyse des risques puis discuter leurs différents outils utilisés ;

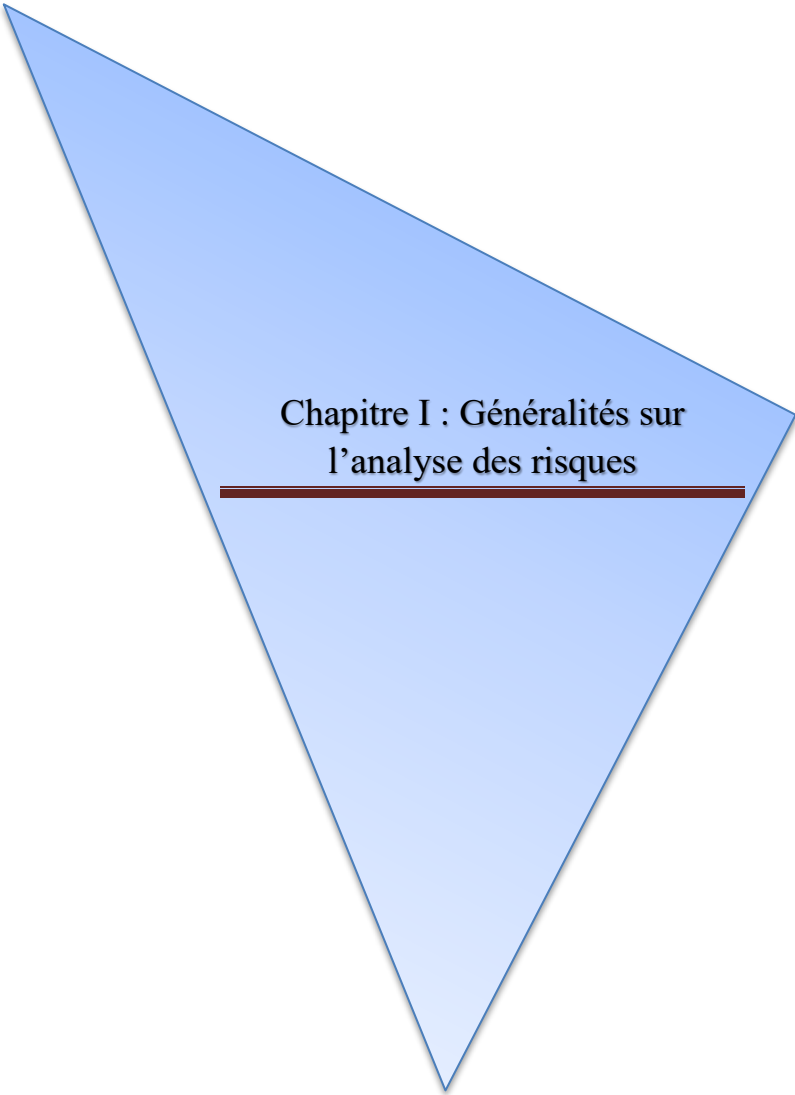
➤ **Chapitre 2** : «présentation du complexe GNL»

Traite d'une façon générale une description du complexe GNL ou nous avons fait notre stage pratique

Partie pratique :

➤ **Chapitre 3** : «Application de la méthode ARAMIS»

Prévention des accidents majeurs selon la méthode ARAMIS unité de stockage et expédition GNL Ce mémoire est clôturée par une conclusion générale décrivant le travail réalisé et les perspectives envisagées.



**Chapitre I : Généralités sur
l'analyse des risques**

Introduction

Pour pronostiquer les défaillances et les défauts futurs, nous allons nous appuyer sur une analyse des risques du système. Une telle analyse permet de mettre en évidence les dangers d'une installation et bien souvent leurs causes et leurs conséquences, ces conséquences pouvant servir de base à un éventuel "pronostic".

Dans cette partie seront détaillées les méthodes les plus usuelles et les plus pertinentes en matière d'analyse de risques pour mettre en avant leurs besoins et leurs finalités.

De nombreuses méthodes d'analyse des risques sont disponibles dans la littérature, méthodes que l'on peut classer dans deux grandes familles : les méthodes inductives et déductives [1].

I.1. Concepts et définitions

I.1.1. Danger

Un état, une situation, un phénomène ou une activité humaine qui peut causer le dommage de la vie et des propriétés, perturbation social et économique, atteinte à l'environnement [2].

I.1.2. Risque

La combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité [2].

I.1.3. Différence entre Risque et danger

Le risque et la mesure de danger, en combinant par multiplication les deux dimensions du danger : sa probabilité et sa gravité, le risque donne une mesure synthétique du danger. En terme de probabilités, le risque est donc une structure « d'espérance, de crainte, mathématique » [2].

I. 1.4. Situation dangereuse

Situation dans laquelle des personnes, des biens ou l'environnement sont exposés à un ou plusieurs risques [2].

I.1.5. Prévention

Action visant à diminuer la fréquence de risque (probabilité) [2].

I.1.6. Protection

Action visant à diminuer la gravité du risque [2].

I.1.7. Intervention

Action visant à diminuer la gravité d'un accident. Aussi c'est un moyen de protection [2].

I.1.8. Incident

Événement non souhaité qui aurait pu dans des circonstances différentes entraîner des pertes. « Succession d'événement ou action » [2].

I.1.9. Accident

Événement non souhaité qui entraîne des pertes corporelles ou matérielles [2].

I.1.10. Incendie

Est une combustion qui se développe d'une manière incontrôlée dans le temps et l'espace [2].



Figure I.1 : Triangle de feu [2].

I.1.11. La combustion

Est une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant en présence d'une source de chaleur [2].

I.1.12. Différence entre l'incendie et le feu

L'incendie c'est une combustion non maîtrisée par contre, le feu c'est une combustion contrôlée [2].

I.1.13. L'accident industriel majeur

Un accident industriel est un événement accidentel se produisant sur un site industriel et entraînant des conséquences immédiates graves pour la personne, les populations avoisinantes, les biens ou l'environnement [2].

La directive SEVESO III définit l'accident majeur comme : « un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement couvert par la présente directive, entraînant pour la santé humaine ou pour l'environnement un danger grave, immédiate ou différé, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, et faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses » [2].

I.1.13.1. Causes communes des accidents industriels

Les causes potentielles de défaillance des industries et spécialement chimiques et pétrolières est origines des risques professionnels sont très souvent identiques à celles des risques industriels majeurs, et les mesures de prévention sont assez voisines. Cependant, il existe des différences notables entre les deux types de risques, ce qui conduit à la nécessité de mettre au point des mesures spécifiques pour chaque type. Parmi ces causes :

➤ **Les causes liées à une mauvaise gestion de la sécurité**

On peut répertorier dans cette catégorie toutes les défaillances mécaniques liées à un mauvais entretien de l'outil de production (rupture d'une canalisation rouillée suite à un manque de surveillance et à son non remplacement, par exemple). Dans cette catégorie, il est aussi possible de classer toutes les défaillances humaines (autrement appelées « le facteur humain »), liées à une méconnaissance des risques ou à une erreur de manipulation [3].

➤ **Les causes liées à la malveillance**

La malveillance est prise en compte de manière spécifique : elle oblige les industriels à mettre en œuvre des moyens de protection élaborés, car c'est un risque imprévisible [3].

Chapitre I : Généralités sur l'analyse des risques

➤ Les causes « externe »

Les causes de danger sont trop nombreuses pour que l'on puisse en établir une liste exhaustive. À titre d'exemple, cette catégorie comprend toutes les explosions externes qui pourraient engendrer une fuite ou une autre explosion sur le site (camion à proximité d'un site par exemple). Les catastrophes naturelles peuvent également être une source de danger (avalanche, chute de blocs, inondation, etc.), tout comme des risques plus exceptionnels, tels que les chutes d'aéronefs, les ruptures de barrage en amont d'un site, etc.

L'existence de risques industriels qui conduisent aux accidents industriels majeurs, quelle que soit leur importance, s'explique par la présence (figure I) :

1. De produits chimiques ou agroalimentaires dangereux, susceptibles de porter atteinte à l'environnement ;
2. De processus physico-chimiques qui sont principalement des réactions chimiques dites dangereuses.

Le plus souvent, c'est la présence simultanée de ces deux causes qui engendrent l'accident, autrement dit qui matérialise le risque potentiel existant en donnant naissance au phénomène accidentel [3].

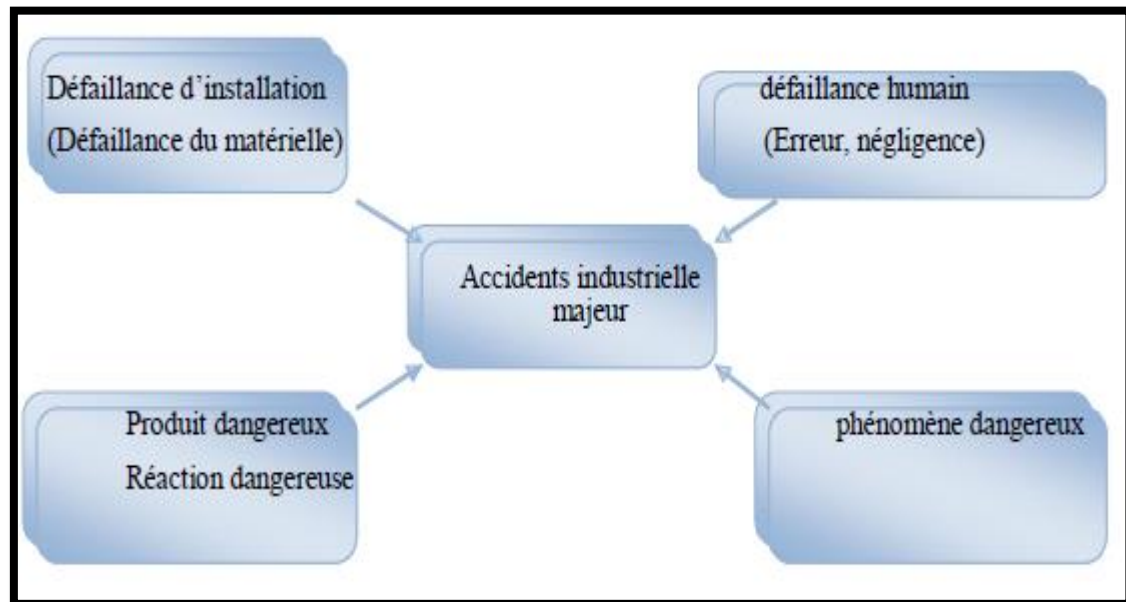


Figure I.2 : Principales causes des accidents industriels majeurs [3].

I.1.13.2. Conséquences communes des accidents industriels majeurs

Les accidents industriels majeurs peuvent avoir des conséquences importantes qui les distinguent également des nombreux accidents et incidents habituels, connus dans les milieux industriels. Parmi ces conséquences :

1. Les effets thermiques, liés à une combustion d'un produit inflammable ou à une explosion ;
2. Les effets mécaniques, liés à une surpression, résultant d'une onde de choc (déflagration ou détonation), provoquée par une explosion ;
3. Les effets toxiques résultant de l'inhalation d'une substance chimique toxique (chlore, ammoniac, phosgène, etc.) [3].

I.2. Principaux phénomènes dangereux liés aux risques industriels

I.2.1. Le BLEVE

Le BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) ; c'est-à-dire éclatement d'une capacité (sphère...) contenant un liquide surchauffé au-dessus de son point d'ébullition à température atmosphérique. Il peut provoquer l'explosion d'un nuage de gaz et la formation d'une boule de feu (effet de souffle et effet thermique) parfois un effet « missiles » voire un nuage toxique [4].

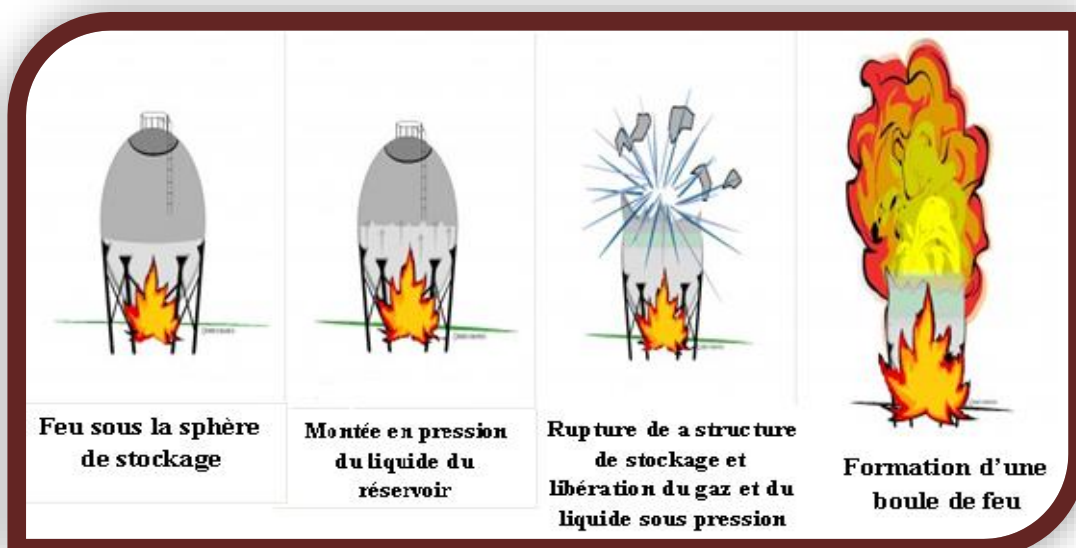


Figure I.3: Le phénomène du BLEVE [5].

I.2.2. Une UVCE

UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion) ; c'est-à-dire explosion d'un nuage de gaz en milieu non confiné. Suite à une fuite de gaz inflammable, le mélange du gaz et de l'air forme un nuage qui en rencontrant une source d'inflammation peut exploser. Les effets sont essentiellement des effets de pression [4].

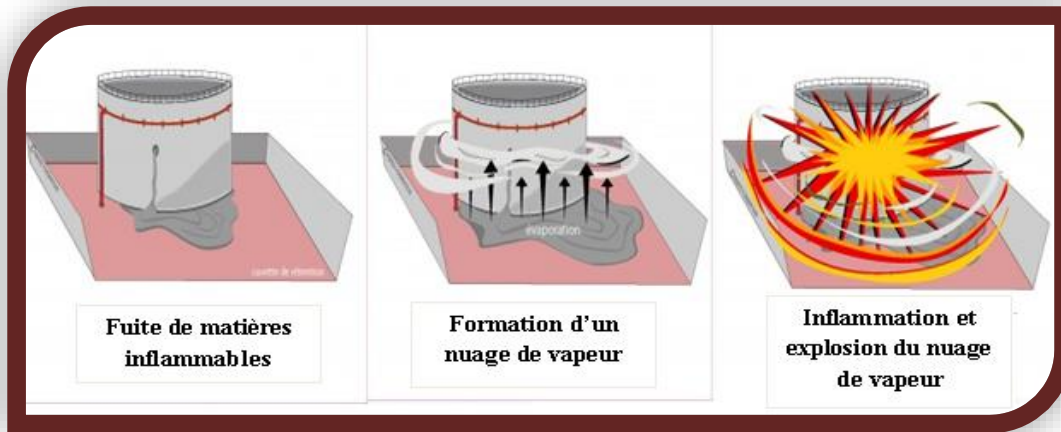


Figure I.4 : Le phénomène d'UVCE [5].

I.2.3. Le BOIL OVER

Mécanisme complexe, à cinétique lente, résultant de l'effet « piston » d'une masse d'eau surchauffée dans une capacité contenant des hydrocarbures lourds (gaz oil...) sur ceux-ci et provoquant perte de confinement et formation d'une boule de feu [4].

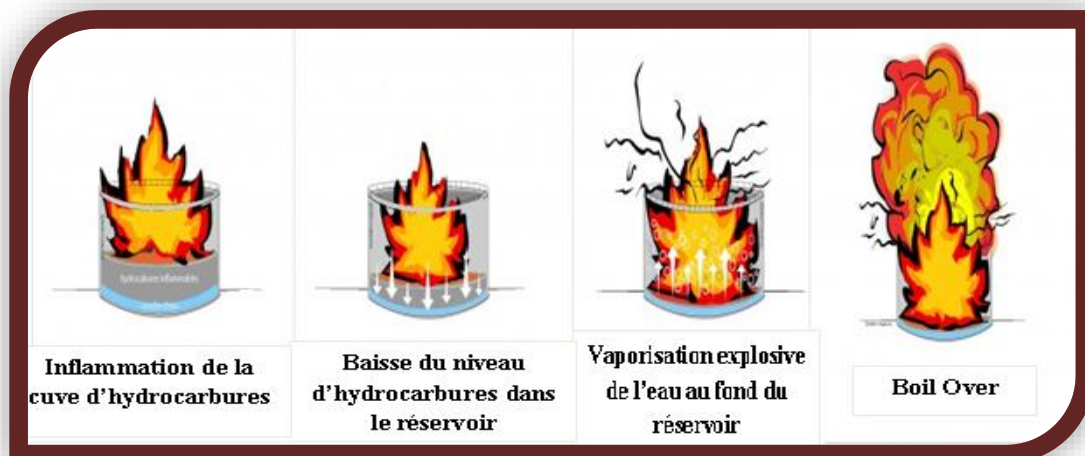


Figure I.5 : Le phénomène de BOIL OVER [5].

I.2.4. Le feu de nappe

Lorsqu'une nappe de liquide inflammable, produite à la suite de la perte de confinement d'un réservoir, prend feu. Celui-ci peut générer des effets thermiques importants [4].

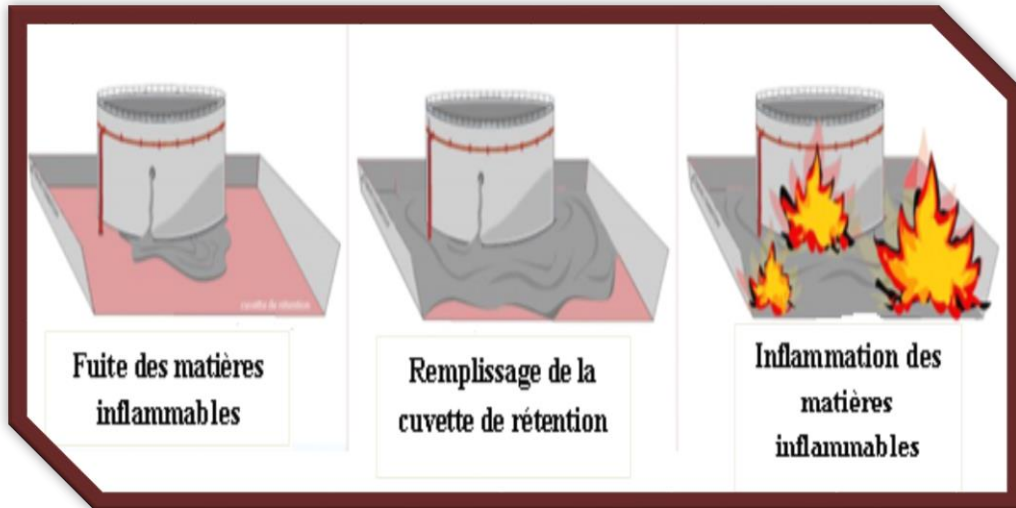


Figure I.6 : Le phénomène de feu de nappe [5].

I.3. Typologie des risques majeurs

Nous pouvons classer ces risques selon leur nature, en quatre (04) principales familles :

1.3.1. Les risques naturels

- Les séismes et les risques géologiques ;
- Les inondations ;
- Les risques climatiques ;
- les feux de forêt [6].

1.3.2. Les risques technologiques

- Les risques industriels et énergétiques ;
- Les risques radiologiques et nucléaires ;
- Les pollutions atmosphériques, telluriques, marines ou hydriques [6].

1.3.3. Les risques biologiques

- Les risques portant sur la santé humaine ;
- Les risques portant sur la santé animale et végétale [6].

1.3.4. Les risques sociaux

- Les catastrophes dues à des regroupements humains important [6].

I.4. Inventaire des risques

I.4.1. Risques généraux

Les travaux de construction ou de maintenance présentent différents risques qui concernent [7] :

I.4.1.1. L'environnement, l'ambiance de travail

- Les risques liés aux produits potentiellement présents dans l'environnement de travail et au fonctionnement des équipements de travail environnants ;
- L'ambiance de travail, bruyante, chaude ou froide, appauvrie en oxygène [7].

❖ L'équipement

- ✓ Risques liés à l'équipement et à son fonctionnement (Pression, température, débit,...) ;
- ✓ Risques liés aux produits contenus dans l'équipement [7].

❖ L'intervention

- ✓ Risques liés aux phases ;
- ✓ Risques liés aux moyens mis en œuvre et à la façon de les utiliser [7].

Chapitre I : Généralités sur l'analyse des risques

Tableau I.1 : Risques liés aux phases de travail [8].

Phase de travail	Risque encouru
Circulation véhicule	Collision Détérioration des installations Incendie
Déplacement des personnes	Chute de personnes (plan de circulation glissant, encombré, mal éclairé).
Levage manutention	Chute des pièces Renversement de charges Enfoncement du sole Détérioration des installations Electrocution- incendie
Travaux en chaleur	Chute de personnes Chute d'objets
Travaux superposés	Chute d'objet, de liquide,..., sur le personnel.
Travaux sur machines tournantes	Mise en route machines
(dé) jointage	Agression du cops (effets de la pression et de la température).
Meulage, soudage, sablage, brossage	Projection particules Eclatement meule Brulures Agression des yeux Electrocution Intoxication Etincelles
Travaux a chaud	Feu
Travaux dans capacités	Asphyxie – anoxie Intoxication Contusions Chute de personnes. Chute de personnes Chute d'objet

Chapitre I : Généralités sur l'analyse des risques

	Électrocution Rayons ionisants
Travaux de fouilles	Détérioration conduites (produite, câbles, électriques) Ensevelissement Chute dans les tranches Asphyxie – noyade Gaz ou liquides inflammables
Peinture	Projections Perforation Intoxication Incendie
Nettoyage HP	Projection Perforation Brulures Eclatement flexibles Electrocution
Travaux électriques, utilisation d'outillage électrique portatif	Electrocution/électrisation Brulures incendie
Travaux de calorifuge	brulures
Contrôles non destructifs	Irradiation Contamination intoxication
Manutention manuelle	Lésion corporelles (contusions, coupures, lombalgies, écrasement,..) Dégradation de l'objet
Epreuve- investigation sur tuyauterie et équipements	Arrivé de produits Rupture mécanique Rupture joints

I.4.2. Risques liés au travail dans des espaces confinés

I.4.2.1. Les espaces confinés courants

On appelle espace confiné, un équipement habituellement clos, dans lequel il est nécessaire de pénétrer pour visite ou travaux. **Il peut s'agir [7] :**

- **De capacités** : ballons, colonnes, réacteurs, silos, échangeurs, tuyauteries de grand diamètre, corps ou carter de grosses machines, sphères, réservoirs de stockage, cuves de camions/wagons/navires, fours, chaudières, ...
- **D'enceintes** : fosses fermées ou ouvertes à l'air libre, puisards d'égouts, tranchées de plus de 1,3 m de profondeur, toits flottants de bac, "jupes" d'équipement statique, ...

I.4.2.2. Pénétration dans une capacité

La capacité étant vidangée, platinée et dégazée, elle peut être ouverte après l'obtention d'un permis d'ouverture (qui ne donne pas autorisation de pénétrer).

Si nécessaire, une lance à eau prête à fonctionner est placée devant chaque trou d'homme pour arroser l'intérieur de la capacité en cas de présence de composés pyrophoriques (même s'il y a eu lavage chimique) [7].

Elle restera en place durant toute la durée des travaux.

Après ouverture d'un trou d'homme, refroidissement éventuel de la capacité et ventilation, l'autorisation de pénétrer n'est délivrée qu'après une série de contrôles effectués par un personnel agréé :

- ✓ contrôle d'oxygène ;
- ✓ contrôle d'explosivité ;
- ✓ contrôle de toxicité.

I.4.2.3. Les risques en cours du travail dans une capacité

L'atmosphère d'une capacité peut évoluer au fur et à mesure que les travaux exécutés à l'intérieur sont effectués. On peut constater [7] :

- **Une diminution de la teneur en oxygène** (consommé par combustion lors des travaux et par la respiration des personnes ou par apport de gaz inerte (argon) lors de soudage) [7] ;
- **Une pollution de l'atmosphère** par les fumées et gaz dégagés lors des travaux de soudage (oxydes d'azote, oxyde de carbone éventuellement) ou lors de combustion de

composés pyrophoriques (sulfures de fer par exemple avec dégagement d'anhydride sulfureux) [7] ;

- **Une désorption dans le temps de produits inflammables ou toxiques** par exemple, si il y a présence de boues ou de dépôts solides. Ce phénomène peut se développer par élévation de température, diminution de pression ou déplacement (boues remuées).

Par ailleurs, si l'atmosphère environnant la capacité est polluée par des émanations provenant de purges, d'égouts, d'autres travaux, ces gaz peuvent pénétrer par tirage naturel ou par la ventilation installée, dans la capacité et modifier l'atmosphère intérieure [10].

Ceci va donc nécessiter de faire des prises de gaz et de renouveler les autorisations autant qu'il sera jugé nécessaire (à chaque reprise de quart au minimum) et de toute façon chaque fois que les conditions environnantes peuvent évoluer [7].

I.4.2.4. Travaux à l'extérieur ou à l'intérieur des capacités

Les interventions les plus contraignantes sont les travaux à chaud qui vont nécessiter des dispositions particulières, suivant qu'ils aient lieu à l'extérieur ou à l'intérieur des capacités [7].

❖ Travaux à l'extérieur d'une capacité

Il est indispensable de [7] :

1. **vérifier l'environnement** : présence de gaz, purges d'HC, dégazage d'appareils ou équipements ;
2. **vérifier la propreté du sol** : flaque d'HC, ...
3. **vérifier le bouchage des égouts (recommandé dans un rayon de 25 ou 30 m)** (regards d'égouts et entonnoirs pompes) ;
4. **vérifier qu'il n'y a pas de fuites** : de joints, de presse-étoupe de vannes, de tuyaux d'oxygène ou d'acétylène ;
5. **vérifier la direction du vent** : une nappe gazeuse suite à une fuite ou à un incident peut être poussée par le vent.

Les étincelles produites par soudage, découpage ou meulage peuvent être portées par le vent hors zone des travaux si ceux-ci sont exécutés en hauteur [7].

I.5. Approches d'analyse de risques

I.5.1. Approche déterministe

L'approche déterministe a généralement été adoptée dans les domaines à haut risque tels que nucléaire, militaire, transports guidés, où le moindre risque significatifs est traqué et réduit à la source. Elle consiste à recenser les événements pouvant conduire à un scénario d'accident en recherchant le pire cas possible (*The Worst Case*) et en affectant une gravité extrême à ses conséquences potentielles. Par conséquent, les sous-systèmes critiques (systèmes de sauvegarde, de protection et de prévention) sont dimensionnés pour éviter toute défaillance dangereuse et organisée rigoureusement selon une stratégie de défense en profondeur [1].

I.5.2. Approche probabiliste

L'approche probabiliste fait intervenir le calcul de probabilités relatives à l'occurrence d'événements faisant partie du processus de matérialisation d'un scénario d'accident donné. Il s'agit d'une approche complémentaire qui permet d'analyser le dispositif de défense en profondeur décidé à l'issue d'une approche purement déterministe, ceci a été le cas dans le domaine nucléaire ou les techniques probabilistes viennent appuyer l'approche déterministe [1].



Figure I.7 : Approches d'analyse de risque [1].

I.6. Méthodes d'analyse de risques

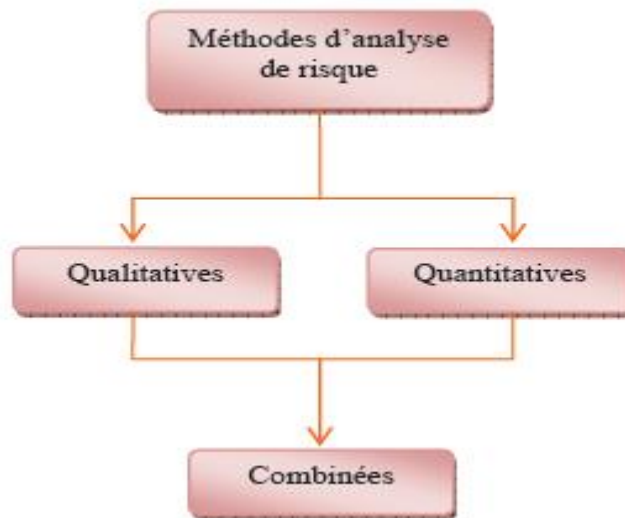


Figure I.8 : Typologie des méthodes d'analyse de risque [1].

I.6.1. Méthodes quantitatives

Les analyses quantitatives sont supportées par des outils mathématiques ayant pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et entre autres la sécurité. Cette évaluation peut se faire par des calculs de probabilités (par exemple lors de l'estimation quantitative de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté) ou bien par recours aux modèles différentiels probabilistes tels que les Chaînes de Markov, les réseaux de pétri, les automates d'états finis, etc.

Les analyses quantitatives ont de nombreux avantages car elles permettent:

- D'évaluer la probabilité des composantes de la sûreté de fonctionnement ;
- De fixer des objectifs de sécurité ;
- De juger de l'acceptabilité des risques en intégrant les notions de périodicité des contrôles, la durée des situations dangereuses, la nature d'exposition, etc ;
- D'apporter une aide précieuse pour mieux juger du besoin d'améliorer la sécurité ;
- De hiérarchiser les risques ;
- De comparer et ensuite ordonner les actions à entreprendre en engageant d'abord celles permettant de réduire significativement les risques ;
- De chercher de meilleures coordination et concertation en matière de sécurité entre différents opérateurs (sous système interagissant) ou équipes (exploitation, maintenance, etc.).

Quoique l'utilité des méthodes quantitatives soit indiscutable, ces dernières présentent tout de même un certain investissement en temps, en efforts et également en moyens (logiciels, matériels, financiers, etc.). Il peut s'avérer que cet investissement soit disproportionné par rapport à l'utilité des résultats attendus, le cas échéant.

L'analyse quantitative est court-circuitée pour laisser la place aux approximations qualitatives (statistiques, retour d'expérience, jugement d'expert, etc.).

Un point très important mérite d'être clarifié, c'est que les résultats de l'analyse quantitative ne sont pas des mesures absolues, mais plutôt des moyens indispensables d'aide au choix des actions pour la maîtrise des risques. Nous citons par exemple l'évaluation par des techniques floues/possibilistes de la subjectivité des experts humains, ou la prioritariste de certaines actions de maîtrise par rapport à d'autres par une analyse de type coût/bénéfices [1].

I.6.2. Méthodes qualitatives

L'application des méthodes d'analyse de risque qualitatives fait systématiquement appel aux raisonnements par induction et par déduction.

La plupart des méthodes revêtent un caractère inductif dans une optique de recherche allant des causes aux conséquences éventuelles.

En contrepartie, il existe quelques méthodes déductives qui ont pour but de chercher les combinaisons de causes conduisant à des événements redoutés.

L'APR, l'AMDEC, l'Arbre de Défaillances ou l'Arbre d'Evénements restent des méthodes qualitatives même si certaines mènent parfois aux estimations de fréquences d'occurrence avant la classification des risques [1].

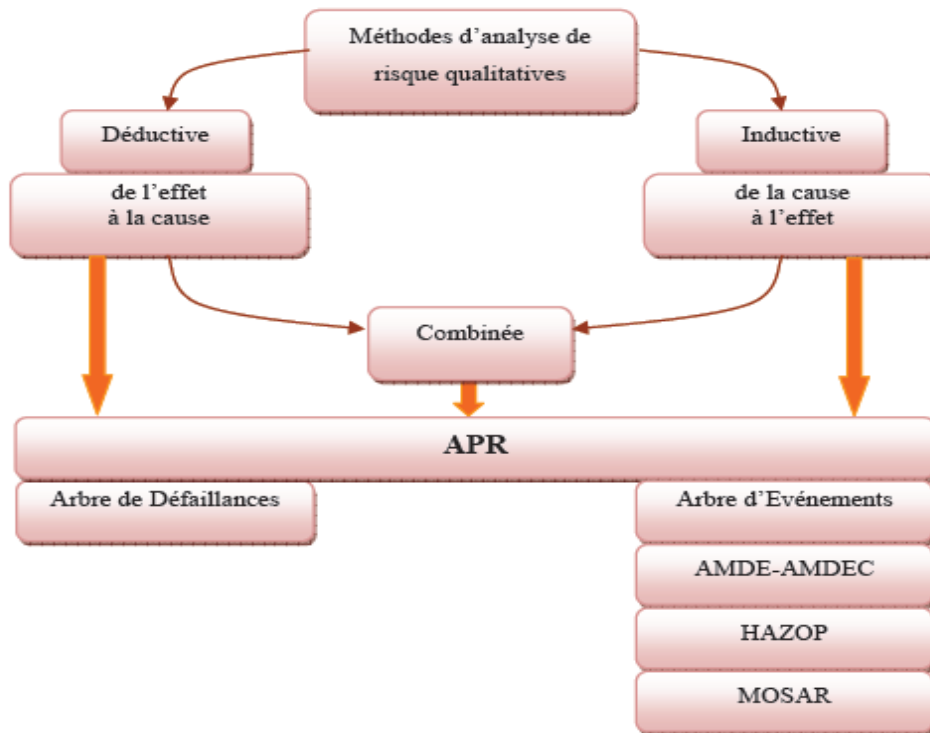


Figure I.9 : Classification des principales méthodes d'analyse de risque qualitatives [1].

I.6.2.1. Méthodes inductives

Le principe de ces méthodes consiste à partir d'une cause d'anomalie (défaillance, erreur humaine, agression externe, etc.) et à déterminer les scénarios d'évènements qui en résultent et/ou l'ensemble de ses conséquences possibles.

La démarche inductive suppose la connaissance des causes et l'investigation des effets qu'elles sont susceptibles de provoquer [9].

I.6.2.2. Méthodes déductives

Dans la démarche déductive, on se base plutôt sur la connaissance préalable des effets et on cherche justement à remonter causalement jusqu'aux origines de leur occurrence. Généralement, on part des évènements redoutés, et on essaye de trouver leurs causes principales [9].

I.7. Panorama des méthodes d'analyse de risque

Nous allons présenter dans cette section un échantillonnage de l'ensemble des méthodes d'analyse de risque. Chacune d'entre elle sera présentée brièvement [9].

I.7.1. Analyse préliminaire des risques / dangers (APR/APD)

L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) est une méthode d'usage très général couramment utilisée pour l'identification des risques au stade préliminaire de la conception d'une installation ou d'un projet. En conséquence, cette méthode ne nécessite généralement pas une connaissance approfondie et détaillée de l'installation étudiée [10].

❖ L'objectif de cette technique :

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

En ce sens, elle est particulièrement utile dans les situations suivantes :

- Au stade de la conception d'une installation, lorsque la définition précise du procédé n'a pas encore été effectuée ;
- Dans le cas d'une installation complexe existante, au niveau d'une démarche d'analyse des risques ;
- Dans le cas d'une installation dont le niveau de complexité ne nécessite pas d'analyses plus poussées au regard des objectifs fixés au départ de l'analyse des risques.

❖ Principe

L'Analyse Préliminaire des Risques nécessite dans un premier temps d'identifier les éléments dangereux de l'installation. Ces éléments dangereux désignent le plus souvent [10] :

- Des substances ou préparations dangereuses, que ce soit sous forme de matières premières, de produits finis, d'utilités... ;
- Des équipements dangereux comme, par exemple, des stockages, zones de réception-expédition, réacteurs, fournitures d'utilités (chaudière...);
- Des opérations dangereuses associées au procédé.

Chapitre I : Généralités sur l'analyse des risques

❖ Déroulement

L'utilisation d'un tableau de synthèse constitue un support pratique pour mener la réflexion et résumer les résultats de l'analyse. Pour autant, l'analyse des risques ne se limite pas à remplir coûte que coûte un tableau [10].

Tableau I.2 : Exemple de tableau de type « APR » [10].

Fonction ou système :						Date :	
1	2	3	4	5	6	7	8
N°	Produit ou équipement	Situation de danger	Causes	Conséquences	Sécurité instantanée	Propositions d'amélioration	Observations

I.7.2. Arbre des défaillances

Visant à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'événements pouvant conduire à un événement redouté pris comme référence, l'analyse par arbre des défaillances est appliquée dans de nombreux domaines tels que l'aéronautique, le nucléaire, l'industrie chimique,...

Elle est également utilisée pour analyser a posteriori les causes d'accidents qui se sont produits. Dans ces cas, l'événement redouté final est généralement connu car observé. On parle alors d'analyse par arbre des causes, l'objectif principal étant de déterminer les causes réelles qui ont conduit à l'accident [10].

❖ Principe

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux événements de base susceptibles d'être à l'origine de l'événement redouté [10].

Les événements de base correspondent généralement à des :

- événements élémentaires qui sont généralement suffisamment connus et décrits par ailleurs pour qu'il ne soit pas utile d'en rechercher les causes. Certains de ces événements élémentaires peuvent être suffisamment fréquents pour qu'il soit possible

Chapitre I : Généralités sur l'analyse des risques

d'en estimer une probabilité future sur la base d'une analyse statistique. Ce n'est cependant pas toujours le cas et la probabilité des événements élémentaire demeure une donnée difficile à établir ;

- événements ne pouvant être considérés comme élémentaires mais dont les causes ne seront pas développées faute d'intérêt;
- événements dont les causes seront développées ultérieurement au gré d'une nouvelle analyse par exemple;
- événements survenant normalement et de manière récurrente dans le fonctionnement du procédé ou de l'installation.

Quelle que soit la nature des éléments de base identifiés, l'analyse par arbre des défaillances est fondée sur les principes suivants :

- ces événements sont indépendants ;
- ils ne seront pas décomposés en éléments plus simples ;
- faute de renseignements, d'intérêt ou bien parce que cela est impossible;
- leur fréquence ou leur probabilité d'occurrence peut être estimée.

L'analyse par arbre des défaillances d'un événement redouté peut se décomposer en trois étapes successives :

- définition de l'événement redouté étudié ;
- élaboration de l'arbre ;
- exploitation de l'arbre.

Il convient d'ajouter à ces étapes, une étape préliminaire de connaissance du système.

❖ **Elaboration de l'arbre**

La construction de l'arbre des défaillances vise à déterminer les enchaînements d'événements pouvant conduire à l'événement final retenu. Cette analyse se termine lorsque toutes les causes potentielles correspondent à des événements élémentaires [10].

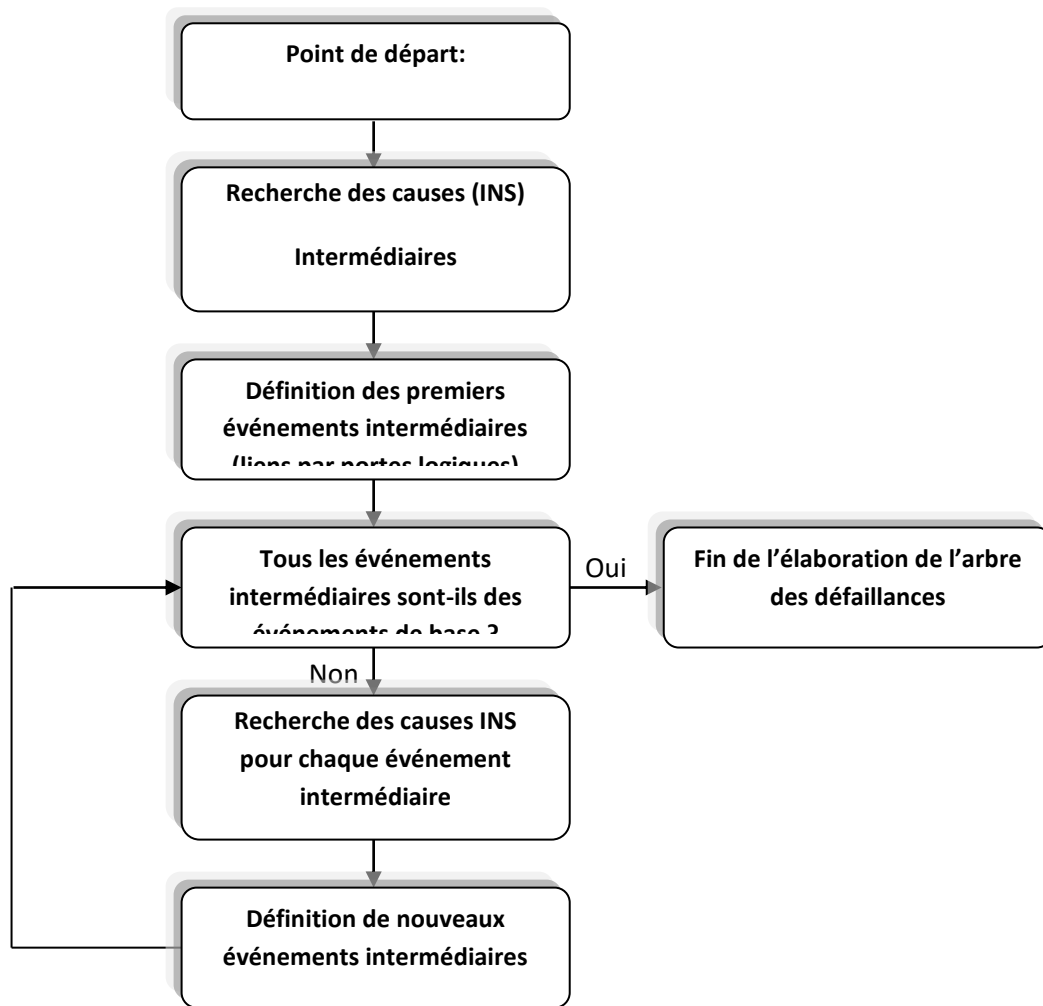


Figure I.10 : Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances [10].

I.7.3. Analyse par Arbre d'Evènements (Event Tree Analysis - ETA)

L'analyse par Arbre d'Evènements a été développée au début des années 1970 pour l'évaluation du risque lié aux centrales nucléaires.

C'est une technique d'identification et d'analyse de la fréquence des dangers moyennant un raisonnement inductif pour convertir différents événements initiateurs en conséquences éventuelles relatives au fonctionnement ou à la défaillance des dispositifs techniques/humains/organisationnels de sécurité.

À l'inverse de l'analyse par Arbre de Défaillances, l'analyse par Arbre d'Evènements suppose la défaillance d'un composant ou d'une partie du système et s'attache à déterminer les évènements qui en découlent.

L'analyse par Arbre d'Evènements se déroule en plusieurs étapes préliminaires

- Considération d'un événement initiateur ;
- Identification des fonctions de sécurité prévues pour contrôler son évolution ;
- Construction de l'arbre;
- Description et exploitation des séquences d'évènements identifiées.

Il serait plus pertinent d'élaborer un Arbre d'Evènements à l'issue d'une première analyse identifiant les accidents potentiels à l'image de l'APR. Les fonctions de sécurité doivent être assurées par des barrières ayant pour objectif d'empêcher le processus de matérialisation d'un accident provoqué par un événement initiateur.

La construction de l'arbre consiste à envisager soit le bon fonctionnement soit le dysfonctionnement de la première fonction de sécurité en partant de l'événement initiateur. La suite de la méthode consiste à examiner le développement de chaque branche en considérant systématiquement le fonctionnement ou la défaillance de la fonction de sécurité jusqu'à l'atteinte d'un accident potentiel.

La propagation des probabilités d'occurrence des évènements initiateurs permet de calculer la probabilité de l'évènement redouté [11].

I.7.4. Nœud papillon

Le « Nœud Papillon » est une approche de type arborescente largement utilisée dans les pays européens comme les Pays-Bas qui possèdent une approche probabiliste de la gestion des risques [12].

❖ Principe

Le nœud papillon est un outil qui combine un arbre de défaillances et un arbre d'événements. La Figure en donne une représentation schématique sous la forme suivante où les barrières sont figurées par des barres verticales [12].

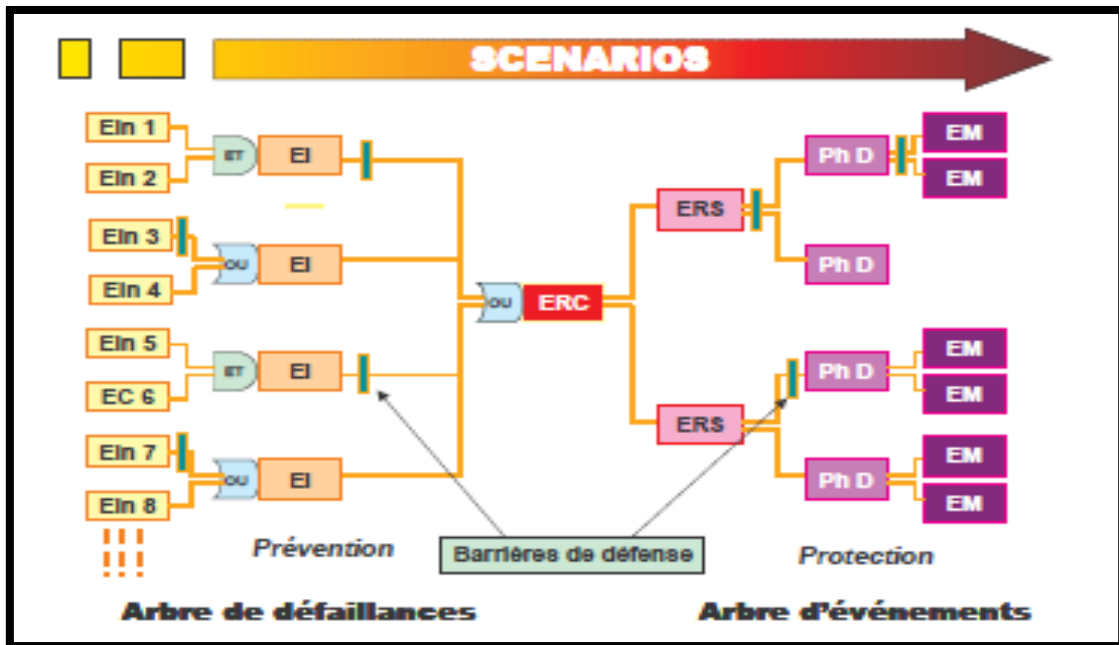


Figure I.11 : Représentation de scénarios d'accident selon le modèle du nœud papillon [12].

Le point central du Nœud Papillon, appelé ici Evènement Redouté Central, désigne généralement une perte de confinement ou une perte d'intégrité physique (décomposition) [11].

La partie gauche du Nœud Papillon s'apparente alors à un arbre des défaillances s'attachant à identifier les causes de cette perte de confinement.

La partie droite du Nœud Papillon s'attache quant à elle à déterminer les conséquences de cet évènement redouté central tout comme le ferait un arbre d'évènements [12].

Cet outil permet d'apporter une démonstration renforcée de la bonne maîtrise des risques en présentant clairement l'action de barrières de sécurité sur le déroulement d'un accident.

❖ Déroulement

Le Nœud Papillon, s'inspirant directement des arbres des défaillances et d'évènements, doit être élaboré avec les mêmes précautions.

S'agissant d'un outil relativement lourd à mettre en place, son utilisation est généralement réservée à des évènements jugés particulièrement critiques.

En règle générale, un Nœud Papillon est construit à la suite d'une première analyse des risques menée à l'aide de méthodes plus simples comme l'APR ou l'HAZOP par exemple [11].

I.7.5. Accidentls risk assessment methodology for industries (ARAMIS)

ARAMIS a pour objectif de développer une nouvelle méthode d'évaluation des risques majeurs qui sache intégrer les forces des différentes approches existantes au niveau européen – de culture déterministe ou probabiliste. Le projet s'inscrit dans le cadre de la directive européenne Seveso II. En cela, la méthode développée doit aussi servir d'outil de promotion dans l'industrie chimique et auprès des autorités compétentes, pour contribuer à l'harmonisation des pratiques européennes et faciliter l'application des grands principes de la réglementation ICPE2 dans les établissements français.

Pour une démonstration plus explicite de la maîtrise des risques, ARAMIS a choisi de s'orienter vers une approche par barrières. Il s'agit d'identifier tous les scénarios d'accidents majeurs envisageables puis de recenser les dispositions de sécurité ou barrières s'opposant au développement de l'accident. L'acceptabilité des risques réside ensuite dans le choix du nombre et de la performance des barrières à installer pour considérer les risques maîtrisés. L'organisation humaine assure le maintien dans le temps de la qualité des barrières. A cet égard, cette dernière doit aussi être évaluée à travers un indice M qui reflète le degré de confiance fait au système humain pour garantir la fiabilité et la disponibilité des barrières.

ARAMIS c'est une méthode intégrée car elle est composée de quatre opérations principales, et chaque opération est composée de sous étapes. Dans notre étude nous avons traité deux opérations d'ARAMIS [22].

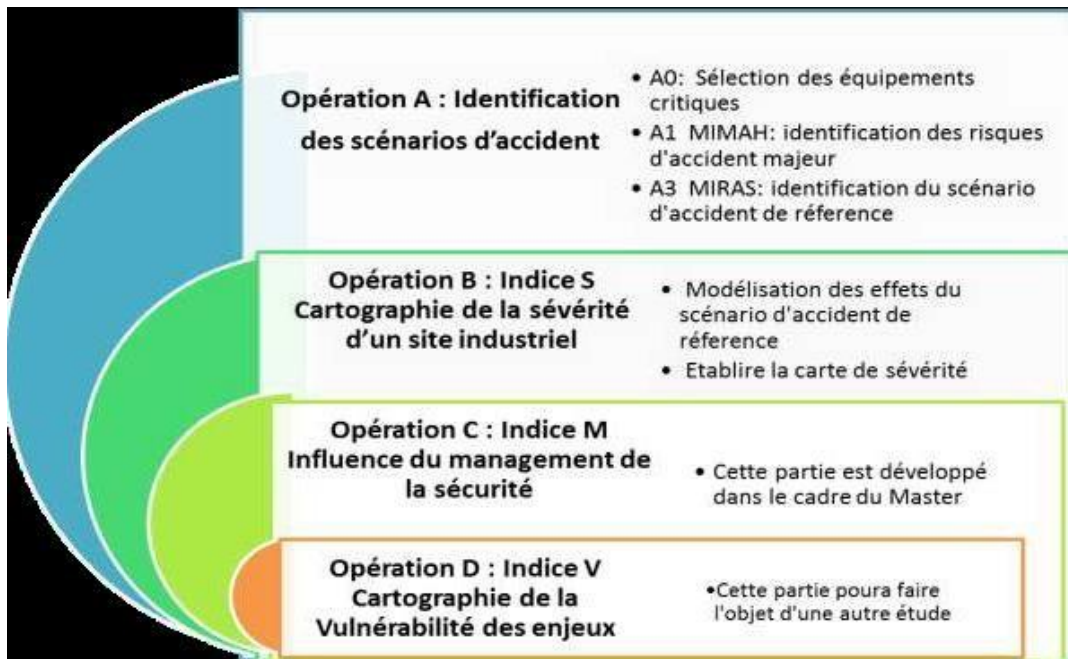


Figure I.12 : Les opérations d'ARAMIS [20].

Conclusion

Les méthodes d'analyse des risques décrites dans ce chapitre sont fréquemment utilisées dans le domaine de la prévention des risques. Procurant un caractère systématique à l'analyse, elles permettent :

- ✓ d'identifier les causes et les conséquences potentielles d'évènements liés à l'exploitation d'installations industrielles ;
- ✓ de mettre en lumière les barrières de sécurité existantes ou pouvant être envisagées au regard du risque.

An orange triangle pointing downwards, containing the chapter title. The triangle has a dark orange border and a lighter orange fill. The text is centered within the upper portion of the triangle.

**Chapitre II : Présentation du
complexe**

Introduction

La Société nationale pour la recherche, la production, le transport et la commercialisation des hydrocarbures (Sonatrach) a prévu la construction d'un nouveau train GNL dans les limites géographiques de l'actuel complexe Skikda GL1.K. Le nouveau train GNL remplace les trois trains de liquéfaction, détruits en 2004 par un incendie et une explosion, dont la capacité de production pouvant atteindre 4.5 million de tonnes métriques par an.

II.1. Situation géographique

Le nouveau train de GNL est situé à l'intérieur de l'enceinte du complexe GL-1/K, au Nord-Ouest des trains de liquéfaction existants [13].

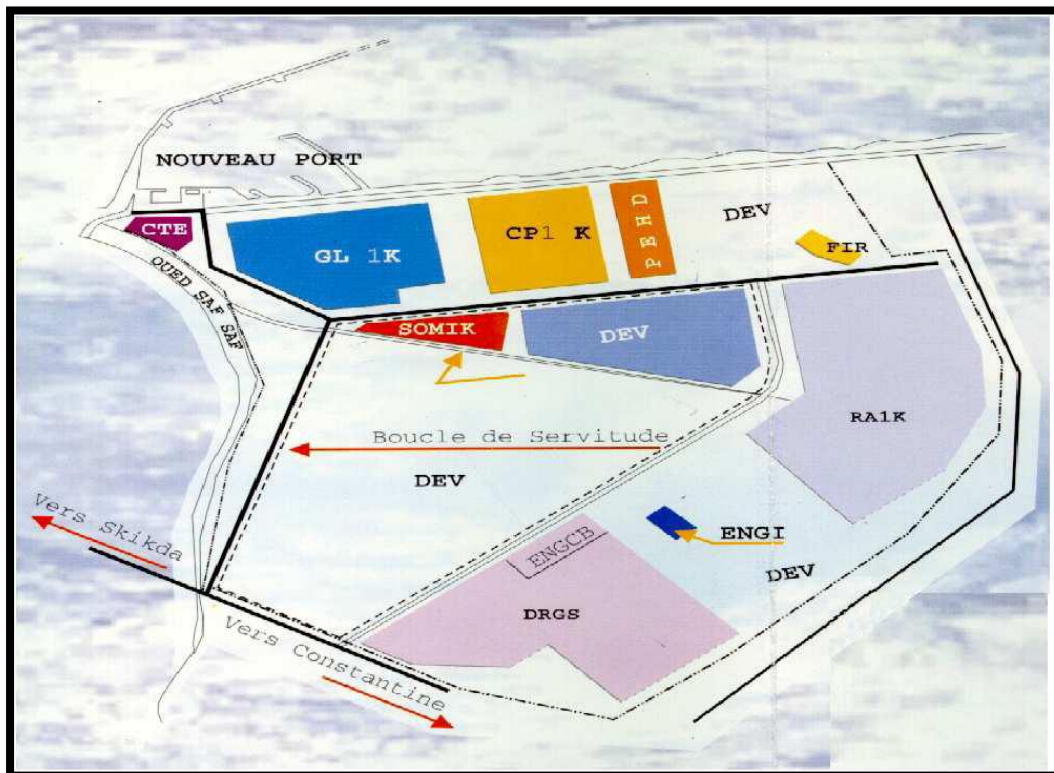


Figure II.1 : Situation du complexe GL1K dans la Zone Industrielle de Skikda [13].

II.2. Caractéristiques de production

Le nouveau train de GNL a été conçu pour une capacité de production annuelle de 4,5 Millions de tonnes de GNL, et peut fonctionner avec ou sans extraction des sous-produits (éthane, propane, butane et gazoline) [13].

Chapitre II : Présentation du complexe

Ainsi que la production des sous-produits :

Tableau II.1 : produits présents au complexe [13].

Produits	Production
Hélium gazeux enrichi	163 100 000 Nm ³ /an
Ethane	164 700 tonne/an
Propane	207 600 tonne/an
Butane	171 400 tonne/an
Gazoline naturelle	108 700 tonne/an

Une charge de gaz enrichi en Hélium est également produite pour alimenter l'usine de production d'Hélium (HELISON). En retour, Helison renvoie de l'azote gazeux et du fuel gaz (48 % azote et 52 % méthane).

Etant donné que l'usine Helison est aussi alimentée en gaz enrichi en hélium par les unités existantes de GL-1/K, l'azote et le fuel gaz retournés sont aussi utilisés par ces unités.

Le nouveau train de GNL est conçu pour un fonctionnement en marche continu garanti pendant 330 jours / an [16].

Tableau II.2 : Spécifications du GNL [13].

Constituants	Composition (% mole)	
	Min	Max
N ₂	0,20	1,35
C1	85,65	95,50
C2	3,80	8,50
C3	0,00	3,20
iC4	0,00	0,55
nC4	0,00	0,78
C5+	0,00	0,23
PCS (MJ/Sm ³)	36,90	42,30
Indice de Wobbe (MJ/Sm ³)	48,14	51,61

Sm³ : standard mètre cube, mesuré dans les conditions standards (P=1,01325 bar, T=15°C).

II.3. Procédé de liquéfaction

Le procédé utilisé est celui d'APCI (Air Product and Chemicals Incorporation) qui utilise trois boucles de réfrigération, deux à propane et la troisième au réfrigérant mixte (MR).

Chacune des boucles est contenue : un compresseur entraîné par une turbine à gaz, une batterie d'évaporateurs et une autre d'aéro-réfrigérants.

Le rôle de la boucle MR est de refroidir et liquéfier le gaz naturel dans l'échangeur principal cryogénique [14].

La composition du MR est la suivante :

Tableau II.3 : Composition du MR [14].

Constituants	Composition en % molaire
Azote	5,22
Méthane	48,90
Ethane	37,15
Propane	8,73

Les boucles de propane ont pour but de préréfrigérer le gaz naturel, le MR et d'assurer le refroidissement dans la section de fractionnement.

Un échangeur principal de type bobiné est utilisé pour la liquéfaction du gaz naturel. Cet échangeur est constitué d'une calandre en aluminium et de plusieurs faisceaux de tubes en aluminium enroulés autour d'un noyau central [14].

II.4. Présentation générale des installations

Les installations du nouveau train de GNL sont essentiellement constituées des unités suivantes :

II.4.1. Les utilités

Ces installations fournissent les utilités nécessaires au fonctionnement du Nouveau Train de GNL.

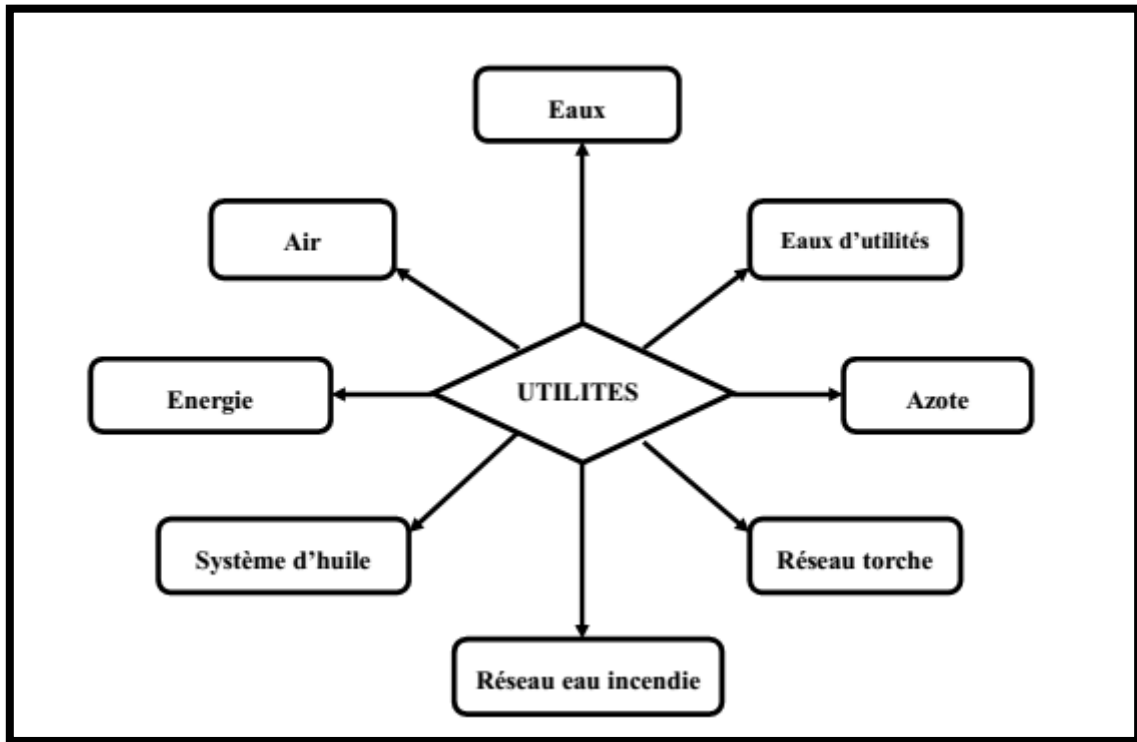


Figure II.2 : Schéma des différentes sections des utilités [13].

II.4.1.1. L'énergie électrique

- ❖ Elle comprend :
 - 5 Générateurs Diesel d'une puissance unitaire de 1,8 MW, servant à fournir l'énergie électrique nécessaire pour le démarrage et l'arrêt sécurisé des installations
 - 5 turbogénérateurs (turbines à gaz entraînant des alternateurs) d'une puissance unitaire de 25 MW assurant une autonomie en énergie électrique.

II.4.1.2. La production d'air instrument et d'air service

Cette unité produit de l'air instrument sec pour les besoins de l'instrumentation (vannes, positionneurs, etc.) et de l'air service non séché pour les besoins utilitaires des installations (nettoyage et autre).

II.4.1.3. La production d'eau potable

A partir du réseau d'eau industrielle (de barrage) fournie par le complexe GL-1/K, Cette eau est traitée dans un package spécial pour être amenée aux conditions sanitaires exigées avant sa mise à la consommation.

II.4.1.4. Le système torche et brûlot

Une torche reçoit les effluents gazeux des unités du nouveau train de GNL et du complexe existant, une torche basse pression (torche confinée) reçoit le boiloff du nouveau train de GNL et du complexe GL-1/K existant.

Un brûlot reçoit les liquides torchés à partir du nouveau train de GNL et du complexe existant.

II.4.1.5. Eaux huileuses et eaux pluviales

Ce système sert à récupérer et traiter les eaux contaminées et celles de pluie à partir de l'ensemble de l'usine.

II.4.1.6. L'unité de stockage et de chauffage d'huile pour les échangeurs

Ce système a pour but de stocker, chauffer et fournir l'huile chaude nécessaire pour le réchauffage des rebouilleurs et des réchauffeurs de l'ensemble du train. Ce système est composé de 3 unités

- Unité 08 pour le stockage d'huile et la compensation des pertes par appoint aux unités 18 et 58.
- Unité 18 assure le chauffage d'huile des échangeurs du traitement du gaz et pour le réchauffeur de fuel gaz.
- Unité 58 : Chauffage d'huile pour les échangeurs du fractionnement et pour le réchauffeur de gaz naturel [15].

II.4.2. Train de liquéfaction et de fractionnement

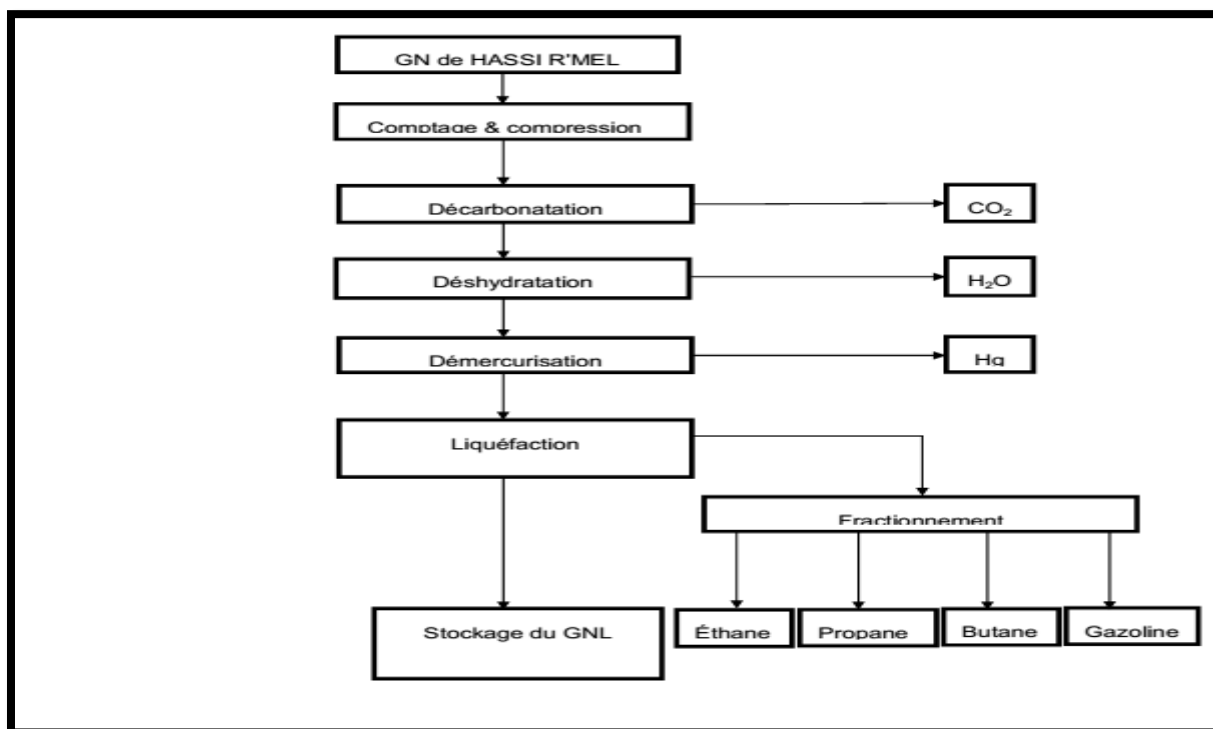


Figure II.3 : Schéma synoptique du processus du méga train [16].

Le schéma synoptique (Figure II.3) montre les unités suivantes :

II.4.2.1. Unité de comptage du gaz naturel (unité 01)

Le comptage sert à fournir les éléments nécessaires pour le calcul des bilans massique de l'usine, de l'autoconsommation et des quantités consommées pour les besoins de facturation.

II.4.2.2. Unité de compression du gaz naturel (unité 01)

A la sortie du système de comptage (42 bar eff et 25° C), le GN est comprimé jusqu'à 66 bar eff pour faciliter sa liquéfaction.

II.4.2.3. Unité de décarbonatation du gaz naturel (unité 12)

Durant le processus de liquéfaction, le gaz naturel est refroidi progressivement de + 35°C à -162° C. L'élimination du CO₂ contenu dans le gaz naturel est nécessaire, pour éviter la solidification et le bouchage de l'échangeur principal.

II.4.2.4. Unité de déshydratation du gaz naturel (unité 13)

Le gaz décarbonaté venant de l'unité de décarbonatation (unité12) à 65 bar et 40°C et allant vers le pré-refroidisseur du sécheur 13-MC01 du système de déshydratation (unité13) est saturé en eau.

Le gaz est séché dans les sécheurs à tamis moléculaire jusqu'à obtenir une teneur en eau résiduelle de moins de 01 ppm, afin d'empêcher la formation d'hydrates dans les lignes et les équipements fonctionnant à basse température.

II.4.2.5. Unité de démercurisation du gaz naturel (unité 14)

Le système de démercurisation est situé en aval du système de déshydratation et en amont de la colonne d'extraction 15-MD01. Ce système de démercurisation est conçu pour éliminer le mercure du gaz d'alimentation et empêcher la corrosion des sections cryogéniques de l'usine.

Le système de démercurisation est situé en amont du système de la tour de lavage et reçoit du gaz d'alimentation du système de déshydratation.

Le gaz d'alimentation descend à travers l'adsorbeur de mercure, qui contient un lit de charbon actif imprégné de soufre qui réduit le niveau de mercure dans le gaz à moins de 5ng/Nm³. Si les niveaux de mercure ne sont pas réduits, les unités en aval et les équipements en aluminium risquent une défaillance mécanique due à la corrosion par le mercure. Le lit de l'adsorbeur de mercure a une durée de vie garantie d'au moins 9 ans.

Le gaz passe alors à travers le filtre à gaz traité qui enlève 99,5% des particules entraînées de 10 microns et plus. Il est rare d'avoir à changer les éléments du filtre. Une vanne de bypass est installée autour du filtre à gaz traité pour faciliter le remplacement des éléments du filtre.

II.4.2.6. Unité de liquéfaction du gaz naturel et d'extraction de la charge de gaz riche en Hélium (unité 15)

La liquéfaction consiste à combiner entre l'abaissement de la température du gaz et l'augmentation de sa pression, c'est-à-dire on comprime le gaz puis on enlève sa chaleur en utilisant un fluide frigorigène (MR), dans l'échangeur principal. Ce fluide à son tour sera auto refroidit à contre-courant dans le même échangeur cryogénique, ensuite par échange de chaleur dans des condenseurs dont le fluide frigorigène est le propane. Le GNL est obtenu à une température de -162°C sous la pression atmosphérique et stocké dans un bac de 150 000 m^3 .

II.4.2.7. Unité de fractionnement des sous-produits (unité 07)

Elle a pour but de séparer les constituants lourds du gaz naturel, ceci afin de respecter les spécifications commerciales du GNL. Ces constituants sont : l'éthane, le propane, le butane et la gazoline (C5+).

II.4.2.8. Réfrigération pour la liquéfaction du gaz naturel (unité 16 et 20)

Elle est constituée de trois boucles :

- ❖ Boucle de réfrigération au MR, pour la liquéfaction du gaz naturel, l'échange thermique entre le gaz et le MR se fait au niveau de l'échangeur principal cryogénique ;
- ❖ Boucle principale de réfrigération au propane, le rôle de cette boucle est :
 1. Pré refroidir les 2/3 du réfrigérant principal (MR) de $+ 40^{\circ}\text{C}$ à $- 36^{\circ}\text{C}$, avant son utilisation dans l'échangeur principal où il va refroidir le gaz (1/3 du MR est pré refroidis par le propane de la boucle externe) ;
 2. Pré refroidir le gaz naturel décarbonaté sec de $+ 22^{\circ}\text{C}$ à $- 35^{\circ}\text{C}$ avant son entrée dans l'échangeur cryogénique.
- ❖ Boucle externe de réfrigération au propane: sert à refroidir 1/3 du MR et à alimenter les échangeurs (ou condenseurs) de section fractionnement.

Le combustible (fuel gaz), qui alimente les turbines à gaz des générateurs électriques et des compresseurs ainsi que les fours et les torches (pilotes et gaz de balayage de torche) du train de liquéfaction, a pour origine :

- Le ballon de flash du GNL en fin de liquéfaction (déazoteur).
- Un appoint de gaz naturel.
- Le retour de fuel gaz de l'usine Helison mitoyenne.
- Une quantité de boil off du GNL provenant du bac de stockage et du retour de chargement.

II.4.2.9. Le stockage des produits finis comprenant (unité 80)

Un bac de stockage de GNL de 150 000 m³. Il est du type confinement intégral avec une structure extérieure en béton armé précontraint à toit suspendu et une cuve interne en acier à 9 % de nickel. Les gaz d'évaporation des bacs (boil off) et de retour des méthaniers durant le chargement sont repris par des compresseurs et envoyés dans le réseau Fuel Gaz et/ou recyclés à l'entrée de l'unité de liquéfaction du Nouveau Train de GNL. Un bac de stockage de propane de capacité totale de 66 000 m³ (type confinement intégral). Un bac de stockage de butane de capacité totale de 66 000 m³ (type confinement intégral).

Une unité de réfrigération de GPL (propane et butane).

Cette unité de GPL reçoit :

- Les gaz d'évaporation des bacs de propane et de butane du Nouveau Train. Ce boil off est liquéfié puis est renvoyé au stockage au Nouveau Train.
- Le retour gaz des navires GPL durant les chargements. Ce boilloff est liquéfié puis est renvoyé au stockage au Nouveau Train.
- Le butane et le propane chauds venant de la Raffinerie de Skikda (RA-1/K).

Ces produits sont sous-refroidis puis renvoyés au stockage dans les bacs du nouveau train de GNL.

Une sphère de stockage de gazoline de capacité totale de 3 760 m³ [15].

II.5. Les propriétés physiques et chimiques du GNL

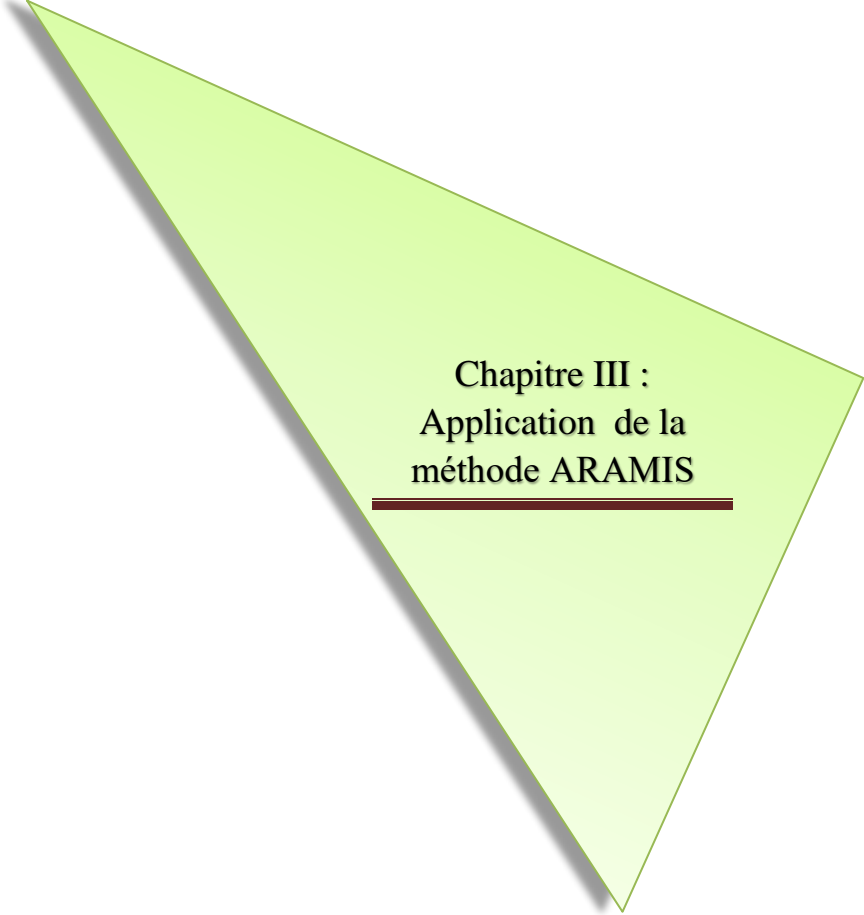
Les propriétés du gaz naturel liquéfié sont énumérées dans le tableau ci-dessous [13].

Tableau II.4 : les propriétés physiques et chimiques du GNL.

Propriétés physiques et chimiques	GN
Point d'ébullition	-161
Température d'auto-inflammation	595
Domaine d'inflammabilité	5 à 15
Point de fusion	-182
Solubilité eau	26 mg/l
Masse moléculaire	16 g/mol
Masse volumique	430 kg/cm ³ à 470 kg/cm ³

Conclusion

Cette partie nous a permis de connaître l'état du complexe GNL ainsi que la description générale des différentes installations.



**Chapitre III :
Application de la
méthode ARAMIS**

Introduction

L'analyse des risques en présence de l'industriel. A défaut de fournir un inventaire exhaustif des barrières de sécurité existantes, ARAMIS, propose une méthode pour une identification systématique de ces mesures de sécurité.

La méthode d'identification des barrières est fondée sur la définition de fonctions de sécurité génériques. Ces fonctions de sécurité sont traduites par un verbe d'action suivi d'une intention à accomplir et c'est ce que nous verrons en détails dans ce 3eme chapitre.

III.1. Unités80P et 80 : Stockage et expéditions du GNL

III.1.1. Matières premières : GNL

➤ Composition du GNL

Le gaz naturel liquéfié GNL est un gaz naturel composé essentiellement de méthane condensé à l'état liquide inodore, incolore [16].

Tableau III.1 : Composition du Gaz liquéfié.

Constituant	Valeur moyenne
N ₂	0.47%
CH ₄	91.49%
C ₂ H ₆	7.09%
C ₃ H ₈	0.84%
i-C ₄ H ₁₀	0.05%
n-C ₄ H ₁₀	0.06%

III.1.2. Les propriétés physiques et chimiques du GNL

Les propriétés du gaz naturel liquéfié sont énumérées dans le tableau ci-dessous

Tableau III.2 : Propriétés physiques et chimiques du GNL.

Propriétés physiques et chimiques	GN
Point d'ébullition[c°]	-161 °C
Température d'auto inflammation[c°]	595°C
Domaine d'inflammabilité	5à 15%.
Point de fusion [c°]	-182
Solubilité eau	26mg/l
Masse moléculaire	16g/mole
Masse Volumique	430Kg/Cm ³ à470g/m ³

III .2. Description des installations

La fonction détecté unité est d'assurée stockage du GNL produit pour ensuite l'expédier vers les postes de chargement. Les installations des unités 80P et 80 permettent:

- Les transferts d'un bac à un autre;
- Les transferts vers les 2 postes de chargement M1et M2 [17].



Figure III.1 : Historique d'un GNL entre sa production et sa regazéification.



Figure III.1 : Historique d'un GNL entre sa production et sa regazéification.

III .3. Stockage du GNL

Le parc de stockage de GNL est constitué de 3 bacs à double paroi et à toit suspendu en aluminium. Leurs caractéristiques sont les suivantes:

Tableau III.3 : Les caractéristiques du parc de stockage.

Bac	Capacité (en m ³)	Température (en °C)	Pression (en bar abs.)	Matériaux
81TK102	56000	-161,4	1,068	Acier inox9%Ni
81TK103	70000	-161,4	1,068	Acier inox9%Ni
81TK104	70000	-161,4	1,068	Acier inox9%Ni

Le GNL est ainsi stocké à une température de -161,4°C et à une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique [18].

Le maintien de pression dans les bacs de stockage est assuré par :

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

- ✓ Une mise à la torche des évaporations (« boil-off gas » - BOG), en commun avec la vapeur produite pendant des opérations de chargement des navires;
- ✓ L'injection de gaz de couverture dans les bacs de stockage.

En l'absence de chargement une circulation de GNL par l'intermédiaire des pompes P213A/B (de type «carter») est assurée pour maintenir en froid les lignes de chargement [18].

III.4. Chargement et Expéditions du GNL

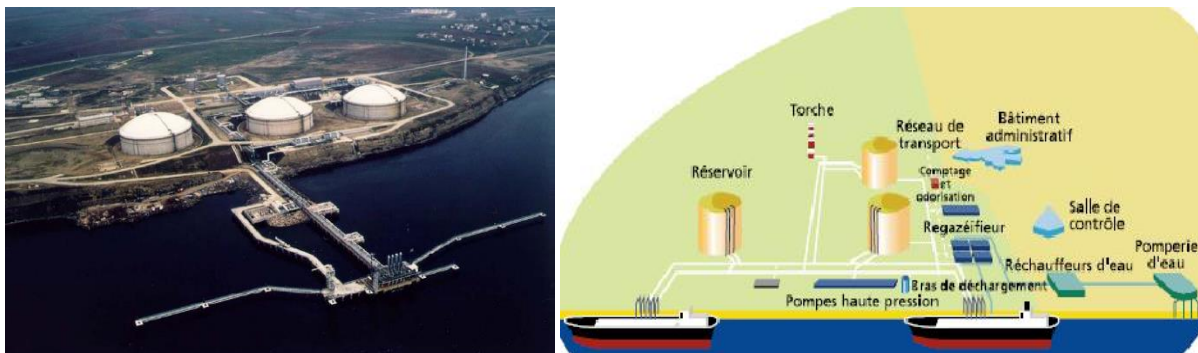


Figure III.2 : Chargement et expédition GNL.

A partir des bacs de stockage, le GNL est acheminé dans deux lignes de coulée par des pompes de transfert aux deux postes de chargement M1 et M2.

Cette section est principalement composée des équipements suivants:

- le séparateur d'évent D201;
- Les pompes de chargement P212C/D, de type «guinard»;
- Les pompes de chargement P212E/F, immergées et de type «carter»; le poste de chargement M1 comprenant:
 - ✓ Les 3 bras LA-1, LA-2 et LA-3 de chargement du GNL ;
 - ✓ Le bras LA-4 de retour vapeur de puis les navires ;
 - ✓ le ballon B-01 de purge des bras de chargement;
- le poste de chargement M2 comprenant:
 - ✓ Les 3 bras Y-03A/B/C de chargement du GNL ;
 - ✓ Le bras Y-04 de retour vapeur de puis les navires ;
 - ✓ Le ballon B-02 de purge des bras de chargement [18].

III .5. Les causes des accidents liées aux stockages et chargement GNL

Les accidents liés au stockage et chargement GNL consistent nécessairement en une perte de confinement qui peut avoir comme cause :

- ✚ L'agression physique de l'ouvrage ;
- ✚ Des risques particuliers locaux (glissement, vides souterrains, séisme, etc) ;
- ✚ Corrosion, défaut de construction.

III .6. Les conséquences des accidents liées aux stockages et chargement GNL

Les conséquences envisageables de telles atteintes aux ouvrages sont la rupture complète de l'ouvrage ou la formation de brèches de divers diamètres. En fonction des dommages causés à l'ouvrage, de la nature du produit transféré, mais aussi des caractéristiques techniques, doivent être envisagés :

- ✓ Une inflammation du rejet, provoquant un dégagement de chaleur suffisant pour compromettre la vie humaine à proximité. On parle d'effets thermiques ;
- ✓ L'explosion du rejet entraînant la propagation d'un front de surpression (variation très brutale) pouvant avoir des conséquences sur les biens et les personnes. On parle d'effet de surpression.

III .7. Evaluation préliminaire des risques

III.7.1. Caractérisation des niveaux de risque

Pour apprécier les risques, il convient d'évaluer, pour chaque scénario susceptible d'impacter l'environnement :

- **Un niveau de gravité**, qui représente l'étendue des conséquences du scénario en cas d'occurrence;
- **Un niveau de fréquence**, qui correspond à la probabilité pour que le scénario identifié se réalise avec les conséquences déterminées.

Le couple gravité – fréquence donne le niveau de criticité du scénario considéré [18].

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

➤ Echelle de gravité

Les risques peuvent être cotés de la manière ci-après en utilisant 5 niveaux pour la gravité réalisée dans ce tableau.

Tableau III.4 : Echelle de gravité.

Niveau de gravité	du nombre de personnes potentiellement impactées par les effets létaux
5. Désastreux	Plus de 100 personnes exposées ⁽¹⁾
4. Catastrophique	Entre 10 et 100 personnes exposées
3. Important	Entre 1 et 10 personnes exposées
2. Sérieux	Au plus 1 personne exposée
1. Modéré	Aucune personne exposée

(1) Personnes exposées : personnes exposées, en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation des effets le permettent.

➤ Echelle de probabilité ou de fréquence

Les risques peuvent être cotés de la manière ci-après en utilisant 5 niveaux pour la probabilité ou de fréquence réalisée dans ce tableau.

Tableau III.5 : Echelle de probabilité.

Echelle	1	2	3	4	5
	Possible mais extrêmement peu probable	Très improbable	Improbable	Probable	Courant
Qualitative	N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très	S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de	S'est déjà produit dans secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les	S'est déjà produit et/ou peut se reproduire	S'est produit sur site considéré et/ou peut se produire à plusieurs

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

	grand nombre d'années d'installations	mesures correctives réduisant significativement sa probabilité	éventuels les corrections sinter venues de puis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité	pendant la durée de vie de l'installation	reprises pendant la durée de vie de l'installation malgré d'éventuelles mesures correctrices
--	---	--	---	---	--

III.8. Analyse des risques sur chargement et expédition GNL

III.8.1. Application de la méthode APR

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

➤ Unité 80P / 80 section 01 : stockage GNL

Tableau III.6 : Feuilles de la présentation de la méthode APR.

Maille	Événement redouté	N°	Détail	Causes	Conséquences	Mesures de prévention	Mesures de limitation des conséquences	F	G	Actions/Remarques	
Réservoirs de stockage du GNL (TK102/TK103/TK104)	Perte d'étanchéité externe	1	Sur pression								
		2	Hausse de température								
		3	Corrosion interne	Sans objet					5	2	
		4	Corrosion externe	Atmosphère saline	Corrosion de la paroi externe, pas de perte de confinement de GNL						Cuve interne protégée par laine de verre et perlite
		5		Arrosage du Réservoir par l'eau De mer	Corrosion de la paroi externe, pas de perte de confinement de GNL					Procédure d'arrosage des réservoirs: eau de mer, puiser au douce	
		6	Erosion	Sans objet							
		7	Agression externe	Choc (mécanique, thermique)	-Dispersion d'un Nuage inflammable; explosion/ flashfire; feu torche ; feu de nappe -Brûlures par le froid	Plan de prévention, plan de le vage.	-DéTECTEURS de flamme, de gaz et de température Froide -Cuvette de rétention équipée d'injecteurs de mousse -Transfert du contenu vers un autre bac, isolement du bac		1	5	

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

		8	Fuite de joint (lignes bacs)	Vieillessement, mauvais serrage, défaillance qualité joint	-Dispersion d'un nuage inflammable; Explosion /flashfire; Feu torche ; feu de nappe -Brûlures par le froid	Maintenance	-DéTECTEUR de gaz et de Température froide -isolement de la ligne	4	2	
		9	Fatigue	Contractions, dilatations thermiques	-Dispersion d'un Nuage inflammable; Explosion /flashfire; Feu torche; feu de Nappe -Brûlures par le froid	Maintien en froid en permanence des bacs de stockage (recirculation, brassage)	-DéTECTEURS de flamme, de gaz et de température Froide -Cuvette de rétention Equipée d'injecteurs de Mousse -Transfert du contenu	2	2	Formation de Givre en cas de Fuite de GNL
							Vers un autre bac,			

		10	Débordement du bac	Erreur humaine :sur-remplissage			isolement du bac	1	5	
						<p>TK102 -Déclenchement sur niveau très très haut qui entraine la fermeture automatique de la vanne d'admission depuis les unités de liquéfaction et de la vanne de transfert vers le bac -PSV8102/PSV8103, qui dirige le GNL vers la cuvette de rétention</p> <p>TK 103 -Déclenchement sur niveau très très haut qui entraine la fermeture automatique de la vanne d'admission depuis les unités de liquéfaction et de la vanne de transfert vers le bac -PSV8115/PSV8117, qui dirige le GNL vers la cuvette de rétention</p> <p>TK 104 -Déclenchement sur niveau très très haut qui entraine la fermeture</p>	-DéTECTEURS de flamme, de gaz et de température froide -Cuvette de rétention équipée d'injecteurs de mousse -Transfert du contenu vers un autre bac, isolement du bac			

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

						automatique de la vanne d'admission depuis les unités de liquéfaction et de la vanne de transfert vers le bac -PSV8116/PSV8118, qui dirige le GNL vers la cuvette de rétention			
Risque chimique		11	GNL	Sans objet					
Pertes d'utilités		12	Electricité	Sans objet					
		13	Air instrument	Défaillance alimentation					

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Unité 80P / 80 section 02 : Chargement GNL

Tableau III.7 : Feuilles de la présentation de la méthode APR.

Maille	Événement redouté	N°	Détail	Causes	Conséquences	Mesures de prévention	Mesures de limitation des conséquences	F	G	Actions/Remarques	
Pompe de chargement du GNL P212 C/D (pompe guinard)	Perte d'étanchéité externe	1	Agression externe	Choc (mécanique ou thermique)	-Dispersion d'un nuage inflammable ; explosion/flashfire; feu torche; feu de nappe -Brûlures par le froid	Plan de prévention plan de levage	Isolement des pompes par fermeture des vannes UV en sortie des bacs de stockage	2	3	Présence de personnes à proximité des pompes seulement lors de travaux	
		2	Fuite de joint ou de garniture	Vieillessement, défaillance qualité joint ou garniture	-Dispersion d'un nuage inflammable ; explosion/flash fire; feu torche; feu de nappe -Brûlures par le froid	Maintenance	Isolement des pompes par fermeture des vannes UV en sortie des bacs de stockage	5	2	Intervention manuelle par isolement manuel de la pompe	
	Bris du corps de pompe	3	Rupture d'élément tournant	Vibrations	Projection de missile et perforation possible de la tuyauterie sur plombant la fosse ou se trouvent les pompes	-Inspection périodique -Maintenance -Mesure sur intensité		2	2	Mesures de vibrations effectuées par la maintenance suite à la demande de l'exploitant (une situation anormale ayant été préalablement détectée)	
	Perte d'utilités	4	Electricité	Défaillance alimentation	Arrêt de la pompe en service						
		5	Air instrument	Sans objet							
Pompe de chargement du GNL P212 E/F (pompe Carter)	Perte d'étanchéité externe	6	Agression externe	Choc (mécanique ou thermique)	-Dispersion d'un nuage inflammable ; explosion / flashfire; feu torche; feu de nappe -Brûlures par le froid	Plan de prévention plan de levage	Isolement des pompes par fermeture des vannes UV en sortie des bacs de stockage	2	3	Présence de personnes à proximité des pompes seulement lors de travaux	

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

immergée)		7	Fuite de joint ou de	Sans objet					
-----------	--	---	----------------------	------------	--	--	--	--	--

			garniture								
	Bris du corps de pompe	8	Rupture d'élément tournant	Vibrations	Projection de missile et perforation possible de la tuyauterie sur plombant la fosse ou se trouvent les pompes	-Inspection périodique -Maintenance -Mesure surintensité		2	2	Mesures de vibrations effectuées par la maintenance suite à la demande de l'exploitant (une situation anormale ayant été préalablement détectée)	
	Perte d'utilités	9	Electricité	Défaillance alimentation	Arrêt de la pompe en service						
		10	Air instrument	Sans objet							
		11	Azote	Défaillance alimentation	Perte de l'injection d'azote en dommage ment de la boîte de jonction, éjection de la boîte de jonction	Bouteille d'azote de secours Ouverture manuelle	Sécurité entraînant l'arrêt automatique des pompes Carter sur pression très basse PSL : en sortie de la source d'azote ou en amont des boîtes de jonction	4	2	Remettre en état les PSL Empêcher le démarrage des pompes Carter par la sécuritéPSL8206	
Séparateur d'éventD201	Perte d'étanchéité externe	12	Surpression								
		13	Hausse de température								
		14	Corrosion interne	Sans objet							
		15	Corrosion externe	-Condensation dans le calorifuge - Atmosphères a line	-Dispersion d'un nuage inflammable ; explosion / flash fire; feu torche; feu de nappe -Brûlures par le froid	Choix du matériau (ballon en inox)	Arrêt volontaire de l'unité	2	2		
		16	Erosion	Sans objet							

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

		17	Agression externe	Choc mécanique ou thermique	-Dispersion d'un nuage inflammable ; explosion /flash fire; feu torche; feu de nappe -Brûlures par le froid	Plan de prévention, plan de levage	Arrêt volontaire de l'unité	2	4	
		18	Fuite de joint		-Brûlures par le froid	Maintenance	Arrêt volontaire de l'unité	4	2	

	Risque chimique	19	GNL	Sans objet						
	Perte d'utilités	20	Electricité	Sans objet						
		21	Air instrument	Sans objet						
	Perte d'étanchéité externe	23	Surpression							
		24	Hausse de température							
		25	Corrosion interne	Sans objet						
		26	Corrosion externe	Atmosphère saline	-Dispersion d'un nuage inflammable ; explosion/flash fire;feu torche; feu de nappe -Brûlures par le froid -Dommages sur les structures environnantes, dus à la température cryogénique du GNL	Choix du matériau	-Détecteur de gaz et de flamme -Surveillance permanente du chargement par le personnel de l'appontement et du méthanier -Boutons poussoirs d'arrêt d'urgence pouvant être actionné par le personnel de puis l'appontement et par les membres de l'équipage de puis le méthanier -Système d'arrêt d'urgence : arrêt des pompes de chargement du GNL et fermeture des vannes des bras de chargement	1	3	
		27	Erosion	Sans objet						

III.8.2. Discussion de la méthode APR

III.8.2.1. Stockage GNL

Gravité	Probabilité				
	1 (E)	2 (D)	3 (C)	4 (B)	5 (A)
5. Désastreuse	Yellow	Red	Red	Red	Red
4. Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
3. Importante	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
2. Sérieuse	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
1. Modérée	Green	Green	Green	Green	Yellow

L'analyse effectuée par la méthode APR liées au stockage du GNL nous a permis de conclure que les conséquences des déviations sont le plus souvent des fuites du GNL et les autre conséquences sont: feu de nappe, flache fire, explosion.

Les risques sont classés dans les zones rouge, jaune et verte avec une gravité et une probabilité.

Les risques courants ou probables doivent être évités par des barrières de sécurité de prévention et les risques qui ont une gravité catastrophique ou importante doivent être limités par des barrières de protection.

III.8.2.2. Chargement GNL

Gravité	Probabilité				
	1 (E)	2 (D)	3 (C)	4 (B)	5 (A)
5. Désastreuse	Yellow	Red	Red	Red	Red
4. Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
3. Importante	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
2. Sérieuse	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
1. Modérée	Green	Green	Green	Green	Yellow

L'analyse effectuée par la méthode APR liés au chargement GNL nous a permis de découper le système en 3 mailles : pompes de chargement du GNL P212C/D , pompes de chargement du GNL P121 E/F et le séparateur d'évent D201 .ces 3 maille sont un événement redouté commun qui est la perte d'étanchéité externe causées par une agression externe ou par une fuite de joint ou de garniture.

En ce qui concerne les pompes guinard, cette dernière cause est classée dans la zone rouge avec une gravité sérieuse et une probabilité courante .Les autre risques sont classée dans les zones jaune et vertes.

Les risques courants ou probables doivent être évités par des barrières de sécurité de prévention et les risques qui ont une gravité catastrophique ou importante doivent être limités par des barrières de protection.

III.8.3. Récapitulatif des mesures d'amélioration identifiées suite à l'APR

Remettre en état les PSL sur les pompes de chargement de GNL Empêcher le démarrage des pompes carter par la sécurité PSL8206Mise en place d'un système de surveillance de tension des amarres Remise en service du système de déconnexion d'urgence (PERC) [19].

III.9. Application de la méthode ARAMIS [accident risk assessment methodology for industries]

ARAMIS c'est une méthode intégrée car elle est composée de quatre opérations principales, et chaque opération est composée de sous étapes. Dans notre étude nous avons traité deux opérations d'ARAMIS [22].

Le schéma suivant résume la méthode :

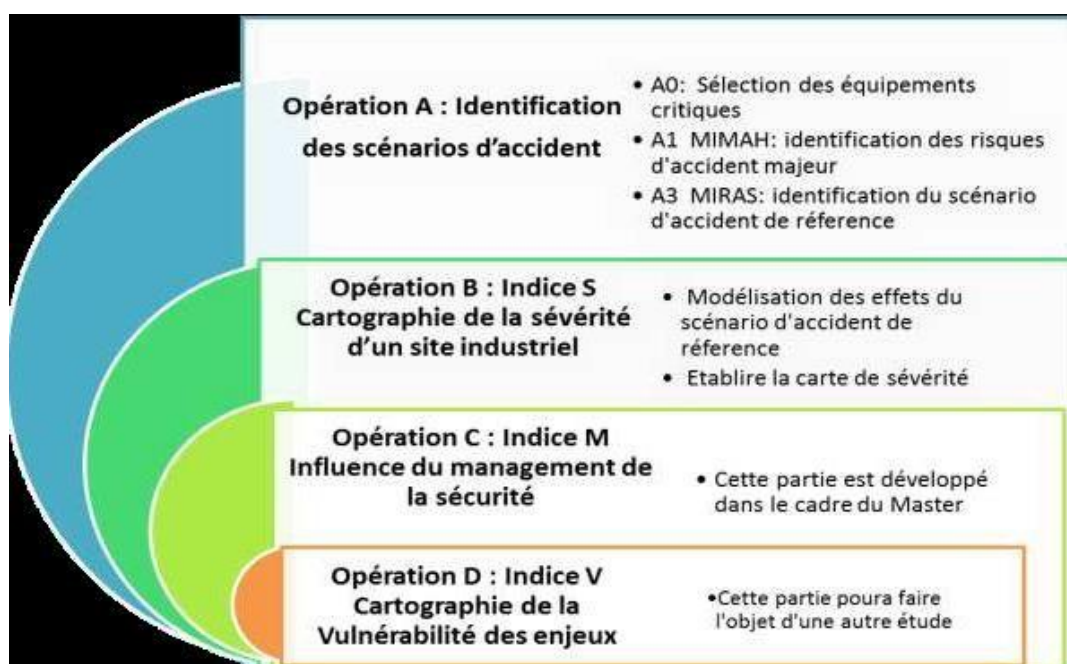


Figure III.3 : Les opérations d'ARAMIS [20].

III.9.1. Opération A : Identification des scénarios d'accidents majeurs

Cette opération déroule en 3 étapes. La première étape A0 consiste à sélectionner l'équipement critique de notre unité de stockage et expédition du GNL. La deuxième étape A1 a pour but d'identifier les risques majeurs de notre équipement critique appelé MIMAH [22].

❖ Etape A0 : Sélection des équipements

Notre sélection des équipements critiques de l'unité de stockage et expédition du GNL est passée par une première sous-étape de collecte d'informations concernant le procédé, les équipements, les conditions opératoires, la nature et la quantité des substances mises en jeu.

Les équipements présélectionnés sont seulement ceux contenant des substances

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

dangereuses ; ils sont classés selon 16 catégories conformément à la directive Seveso 2. Ils passent ensuite par la sélection suivante proposée par ARAMIS [22].

- S'ils contiennent une quantité suffisante définie dans le tableau (**annexe2**) en fonction des phrases de risque et la phase de produits dangereux.

➤ Identification des équipements potentiellement dangereux

Nous avons fait un inventaire sur les produits dangereux existants sur l'unité de stockage et expédition du GNL. Dans le but de sélectionner les équipements potentiellement critiques, et cela dépend de la phrase de risque de la substance associée. Et nous avons classifié les équipements selon ARAMIS (voir annexe 2).

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant:

Tableau III.8 : Equipements potentiellement dangereux.

Substance dangereuse	Phrase de risque	Équipement potentiellement critiques	Type de l'équipement	Phase de la substance
GNL	R16	Les bacs de stockages	EQ4	liquide
		Les pompes de chargement	EQ16	
		Les postes de chargement	EQ8	

✓ Identification des R (voir annexe 1) ; EQ 4 EQ 16 et EQ 8 (voir annexe 2)

Il y a plusieurs identifications des risques selon le tableau mentionné dans l'annexe 1 en choisir **R16**.

R16 : Danger d'explosion sous l'action de la chaleur.

➤ Identification des équipements critiques

Le principe de la sélection des équipements critiques est le suivant :

- ✚ un équipement qui contient une substance dangereuse va être sélectionné

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

comme un équipement critique i la quantité de la matière dangereuse dans ce dernier est supérieure ou égale à la masse de référence M_a [21] ;

- ✚ La valeur seuil dépend des propriétés dangereuses de la substance, la phase, la tendance de sa vapeur et éventuellement sa position par rapport à un autre équipement critique (effet domino).

Pour définir la valeur du seuil qui sert de comparaison avec la quantité de référence, une première quantité M_a est définie en fonction des caractéristiques des produits. Celle-ci est corrigée pour les liquides dont l'évaporation conduit à une aggravation des risques. Cela nécessite la définition de la quantité seuil M_b , la masse M_a précédemment définie doit être divisée par un facteur correctif S (Eq3-1) [23].

Ou $M_b = M_a / S$ (III.1)

Tableau III.9 : Masse de référence selon la nature des substances [23].

Propriété des substances	MASSE DE REFERENCE MA		
	Solide	Liquide	Gaz
1. Très toxique	10000	1000	100
2. Toxique	100000	10000	1000
3. Oxydant	10000	10000	10000
4. Explosive (définition 2a annexe 1 Directive Seveso I)	10000	10000	-
5. Explosive (définition 2b annexe 1 Directive Seveso II)	1000	1000	-
6. Inflammable	-	10000	-
7. Très inflammable	-	10000	-
8. Extrêmement inflammable	-	10000	1000
9. Dangereux pour l'environnement	10000	10000	1000
10. Autres classification que celle ci-dessus impliquant des phrases de risques R14, R14/15,	10000	10000	-

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Le coefficient S est la somme de deux coefficients S1 et S2 [22].

Ou $S = S_1 + S_2$

S remplit les conditions suivantes:

$$\text{Si } S < 0.1 \text{ alors } S = 0.1 \text{ Si } \left\{ \begin{array}{l} 0.1 < S < 10 \\ S > 10 \text{ alors } S = 10 \end{array} \right.$$

Les coefficients S1 et S2 se calculent ainsi:

Le coefficient S1 est lié à la différence entre la température de service Tp (°C) et la température d'ébullition à pression atmosphérique T_{eb} (°C):

$$S_1 = 10^{(T_p - T_{eb})/100} \dots\dots\dots (III.2)$$

Le coefficient S2 ne s'applique que lorsque la température de service est inférieure à 0°:

$$S_2 = \frac{T_{eb}}{-50} \dots\dots\dots (III.3)$$

En cas de température de service positive : S₂=0

Une première sélection d'équipements est alors réalisée: les équipements dont la masse de produit dangereux est supérieure à la masse seuil Ma ou Mb sont sélectionnés.

➤ **Application numérique**

Le tableau **III.9** résume les résultats des calculs pour tous les équipements potentiellement critiques.

Pour les canalisations on calcule le volume (VO2) pour une période de t ou t=1 h

Données: un débit de 3000 m³/h et la masse volumique de GNL=4.3Kg/m³

$$V = 3000 * 1 = 3000$$

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Pour convertir le volume en masse nous multiplie le volume par la masse volumique ζ v donc la masse du GNL dans cet équipement est:

$$3000 \cdot 4.3 = 12900 \text{ Kg}$$

Résultat : La masse dans les bras de chargements m est supérieur à la masse de référence M_a ($m = 12900 \text{ Kg} > M_a = 10000 \text{ Kg}$) donc il faut sélectionner comme un équipement critique.

➤ **Bacs de stockage:**

$$T_{\text{service}} = T_{\text{ambiante}} = 25 \text{ C}^\circ$$

Il faut calculer le facteur S Ou

$$S = S_1 + S_2 \dots \dots \dots (III.4)$$

Et comme la température de service est supérieur à 0°c donc $S_2 = 0$

$$\text{Alors } S = S_1 = 10^{(t_v - t_a)/100} = 10^{(25 + 161)/100} = 72.44$$

$$S = 72.44$$

Selon les conditions de S, si $10 < S$ alors $S = 10$

$$\text{Donc } M_b = M_a / S = 1000 / 10 = 1000 \text{ Kg}$$

$$M_b = 1000 \text{ Kg}$$

Résultat : La masse dans les bacs de stockage est= 70000kg m est supérieur à la masse seuil ($M_b = 70000 \text{ Kg} > M_a = 1000 \text{ Kg}$) donc il faut sélectionner comme un équipement critique.

➤ **Les pompes de chargement**

Données: un débit de 3000 m³/h et la masse volumique de GNL=4.3 Kg/m³

Pour convertir le volume en masse nous multiplions le volume par= la masse volumique ζ v donc la masse du GNL dans cet équipement est : $2000 \cdot 4.3 = 8600 \text{ Kg}$

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Résultat : La masse dans les pompes de chargement m est inférieure à la masse de référence M_a ($M_a=10000 \text{ Kg} > M_b= 8600 \text{ Kg}$) donc il n'est pas sélectionné comme un équipement critique.

➤ **Résultat set interprétation**

L'équipement critique de l'unité qui peut engendrer un accident majeur selon l'étape A0 de l'opération A d' ARAMIS est les bacs de stockage pour stockage GNL et le bras du chargement pour l'expédition du GNL .Ces résultats sont Obtenus quantitativement, et les compatible avec les résultats de la méthode qualitative utilisée précédemment (APR).

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.10 : Résultat des calculs de l'étape A0.

Équipement	Type	Substance	Phase	Tp (°c)	Teb (°c)	P bar	Quantité (kg)	Ma (Kg)	S1	S2	S	Mb(Kg)	1 ^{ère} sélection
Bacs de stockage	EQ04	Gaz naturel liquéfié	liquide	25	-161	0,068	70000	10000	10	0	0	/	oui
Pompes de chargement	EQ16	Gaz naturel liquéfié	Liquide	T ambiante	-161	5.24	8600	0	0	0	0	/	non
Bras de chargement	EQ08	Gaz naturel liquéfié	liquide	T ambiante	-161	3.5	12900	10000	0	0	0	/	oui

III.9.2. Opération A1 : Méthode MIMAH (Méthodologie for the Identification of Major Accident Hazard)

La méthode MIMAH a pour objectif d'aider à une identification la plus exhaustive possible des accidents qui pourraient survenir sur un site. Pour ce faire, elle considère de façon systématique, pour chacun des équipements critiques identifiés dans l'étape A0, l'ensemble des événements physiquement envisageables en négligeant l'action d'éventuelles barrières de sécurité.

L'objectif est d'abord de définir un ensemble complet de scénarios parmi lesquels les plus catastrophiques. ARAMIS adopte une liste de 12 événements redoutés centraux ERC.

MIMAH est fondée sur l'élaboration de diagramme en nœud papillon. Pour chaque équipement est associé un ensemble (ERC). Pour chaque ERC, un arbre des défaillances est élaboré, puis un arbre des événements [23].

MIMAH est composée de 3 étapes principales (A1a, A1b, A1c) illustré sur la figure.

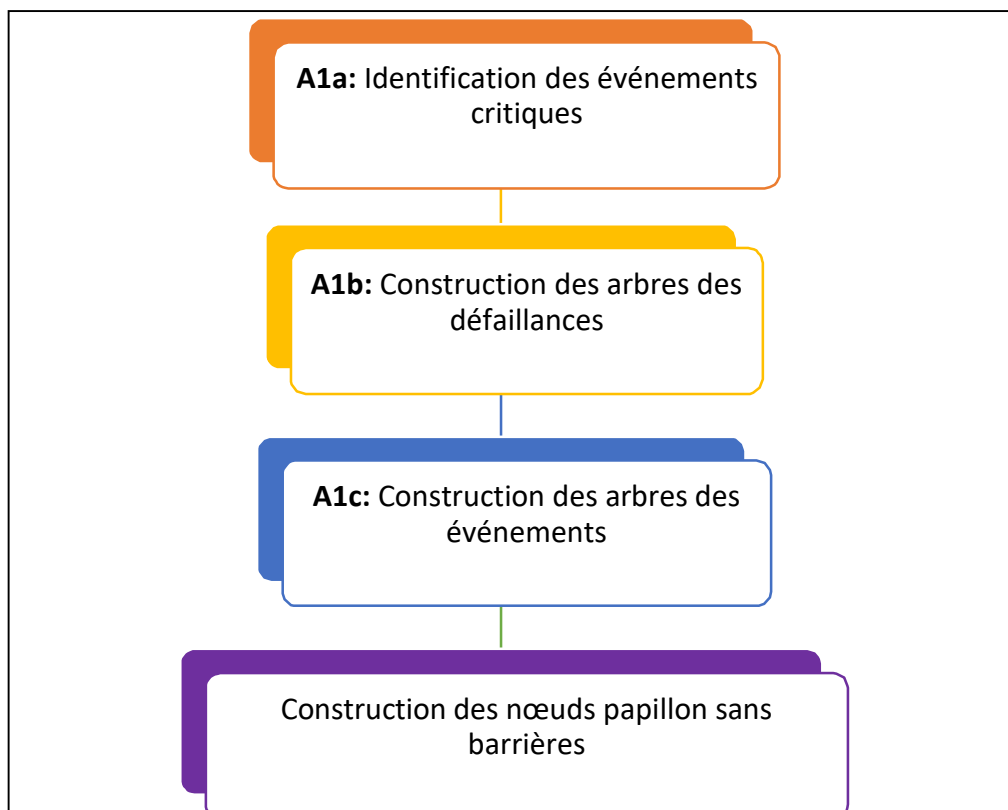


Figure III.4 : Les étapes de la méthode MIMAH.

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

❖ Etape A1a : Identification par équipement les évènements Redouté Centraux

A partir de la typologie de l'équipement déjà spécifiée dans l'étape A0 tableau voir annexe 2, et selon la phase de la substance dans cet équipement sont identifiés les évènements redoutés centraux ERC

Cette étape s'appuie sur l'expertise des exploitants et l'utilisation des deux matrices suivantes:

- Une matrice croisant le type d'équipement avec les 12 évènements critiques Potentiels (tableau 10) ;
- Une matrice croisant les évènements critiques avec l'état physique des substances (tableau 11) [22].

Tableau III.11 : Partie de la matrice croisant le type d'équipement avec les 12 évènements Critiques potentiels [23].

Type d'équipement	ERC1:Décomposition	ERC2:Explosion	ERC3 : Mise en mouvement (en trainement par l'air)	ERC4 : Mise en mouvement (en trainement par un)	ERC5 : Inflammation – départ de feu	ERC6;Brèche en phase gaz	ERC7 : Brèche en phase liquide	ERC8 : Fuite sur canalisation en phase	ERC9:Fuite sur canalisation en phase gaz	ERC10:Rupture catastrophique	ERC11 : Effondrement de réservoir	ERC12 : Effondrement du toit de réservoir
EQ4					X	X	X	X	X	X		

Tableau III.12 : Partie de la matrice croisant les évènements critiques avec l'état physique des Substances [23].

Phase de la substance	ERC1:Décomposition	ERC2:Explosion	ERC3 : Mise en mouvement (entraînement par l'air)	ERC4 : Mise en mouvement (entraînement par un)	ERC5:Inflammation— départ de feu	ERC6;Brèche en phase gaz	ERC7 : Brèche en phase liquide	ERC8 : Fuite sur canalisation en phase liquide	ERC9:Fuite sur canalisation en phase	ERC10:Rupture catastrophique	ERC11: Effondrement de réservoir	ERC12: Effondrement du toit de réservoir
2 phase Gaz - liquide					X	X	X	X	X	X		

Type d'équipement	ERC1: Décomposition	ERC2: Explosion	ERC3 : Mise en mouvement (en trainement par l'air)	ERC4 : Mise en mouvement (en trainement par un mouvement)	ERC5 : Inflammation –départ de feu	ERC6; Brèche en phase gaz	ERC7 : Brèche en phase liquide	ERC8 : Fuite sur canalisation en phase	ERC9: Fuite sur canalisation en phase gaz	ERC10 : Rupture catastrophique	ERC11 : Effondrement de réservoir	ERC12 : Effondrement du toit de réservoir
EQ8					X	X	X	X	X	X		

Donc les ERC retenues à partir des matrices d'ARAMIS et selon l'expertise du service exploitation de l'unité sont:

- ERC7: Brèche en phase liquide ;
- ERC8: Fuite sur canalisation en phase liquide.

❖ Etape A1b : Elaboration des arbres de défaillances pour chaque ERC

MIMAH propose des arbres de défaillances génériques (voir annexe 2. du D1C [13]) pour chaque évènement redouté centrale (ERC) définis précédemment. Pour ERC 7 et 8 nous avons identifié pour L'unité, 2 arbres de défaillance basée sur les arbres générique et le retour d'expérience de l'unité.

1-Définition des causes :

Nous pouvons maintenant définir les cause des ERC 7-8. ARAMIS propose deux arbres de défaillance selon des valeurs type de diamètre de brèche et de fuites [23].

Tableau III.13 : Valeurs types de brèches et de diamètres de fuite d'ARAMIS [23].

Type de brèche ou fuite	ERC6 et ERC7 : diamètres de brèches	ERC8 et ERC9 : diamètres de fuite
Large	100 mm	Rupture guillotine
Moyenne	35 à 50 mm Ou diamètre de l'équipement (vannes..)	22 à 44% du diamètre de canalisation
Petite	10 mm	10% du diamètre de canalisation

Les causes identifiées dans MIMAH sont des causes génériques nous avons pu les

complétées sur l'installation de l'unité, au cours de notre démarche d'analyse des risques.

Les arbres génériques sont conçus comme des supports pour assurer un maximum d'exhaustivité dans la recherche des causes. Six niveaux des causes sont définis, qui sont à adapter à la complexité de l'analyse des risques [25].

Dans notre cas, nous avons envisagé des branches spécifiques sur l'arbre à certaines phases de l'installation le stockage et l'expédition du GNL.

L'identification des arbres génériques a été faite en identifiant successivement :

1. Les conditions nécessaires et suffisantes pouvant conduire aux pertes de confinement ou d'intégrité physique envisagées. Ces conditions sont généralement physiques. Par exemple, dans le cas d'un incendie, il est nécessaire d'avoir à la fois un produit combustible, une source d'inflammation et un produit comburant.
2. Les causes directes dont découlent les conditions nécessaires et suffisantes. Ces causes directes peuvent être regroupées en catégories génériques ;
3. Chacune des causes directes peut à son tour être détaillée. Par exemple une montée en pression peut être due à un sur-remplissage ou à une agression thermique.

Enfin, un dernier niveau, les événements indésirables, a été établi en recherchant les événements pouvant conduire aux causes directes détaillées. Ces événements se ramènent souvent à des lacunes en termes d'organisation ou des erreurs humaines. Il a été décidé d'arrêter le développement des arbres à ce niveau qui semble suffisant pour identifier les principales mesures de sécurité à mettre en œuvre ainsi que l'importance du management dans la maîtrise des accidents majeurs[25].

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.14 : Définition des éléments de l'arbre des causes de l'ERC7 et ERC8 stockage GNL.

Événement redouté centrale	Événement initiateur	Événement courant
Perte de confinement de GNL	Agression naturelle	/
	Agression thermique Externe	/
	Défaillance matérielle	Fuite de joints/brides Fatigue
	Défaillance métallurgique	/
	Défaillance procédé	Renversement de couches Changement brusque des Caractéristiques du GNL Température trop haute en amont Erreur opératoire: Sur remplissage Plus de débit amont
	Agression mécanique externe	/

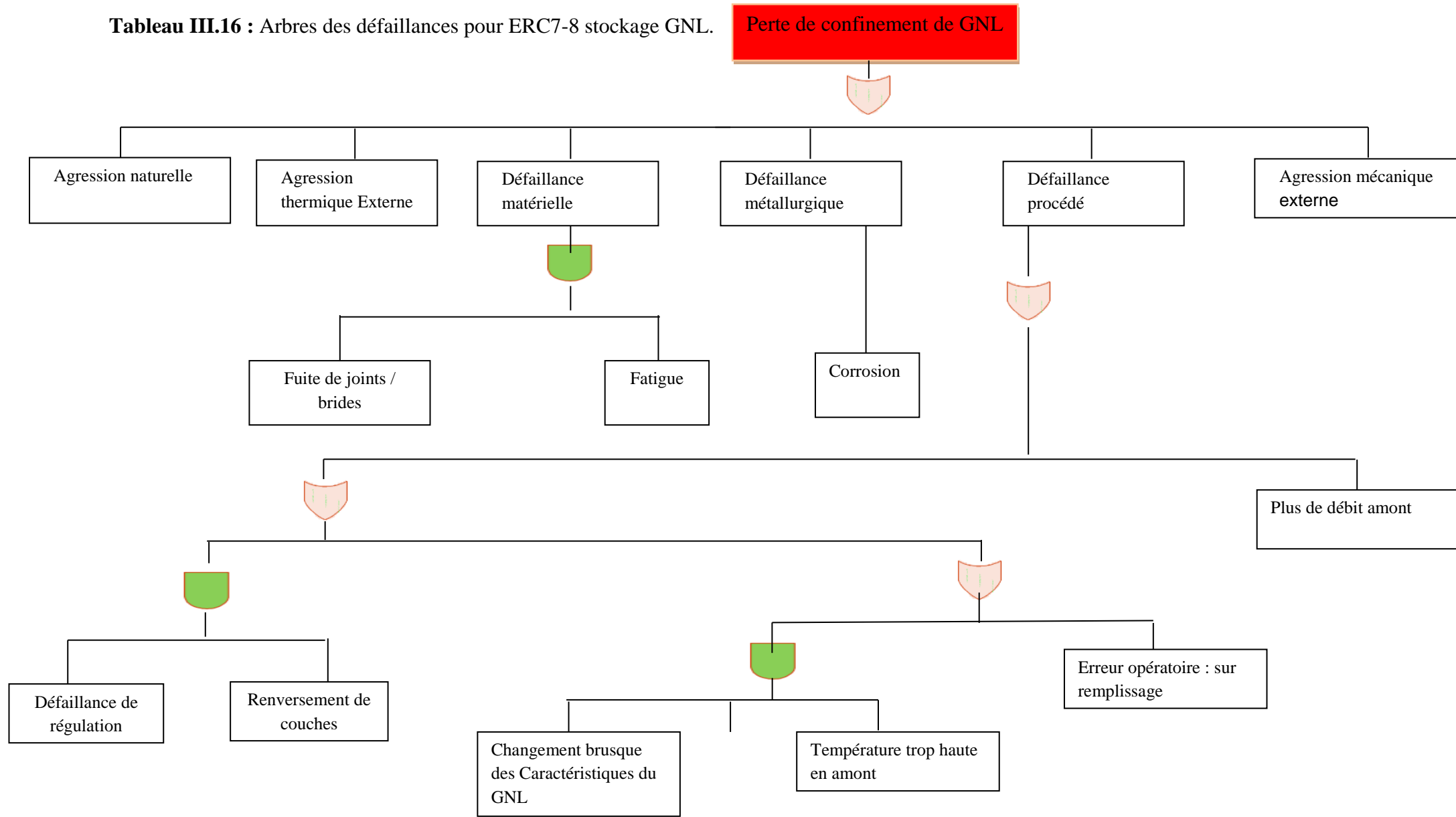
Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.15 : Définition des éléments de l'arbre des causes de l'ERC7 et ERC8 expédition GNL.

Événement redouté centrale	Événement initiateur	Événement courant
Perte de confinement de GNL	Agression naturelle	/
	Agression thermique Externe	/
	Défaillance matérielle	Fuite de joints / brides Fatigue
	Défaillance métallurgique	Corrosion
	Défaillance procédé	Fermeture d'une vanne UV(ou ROV) d'admission Ouverture intempestive de la vanne UV en entrée d'un Bras à l'arrêt lors d'un Chargement ou fuite Importante au niveau de la Vanne Rupture amarrage Mauvais accouplement/connexion avec le navire
	Agression mécanique externe	/

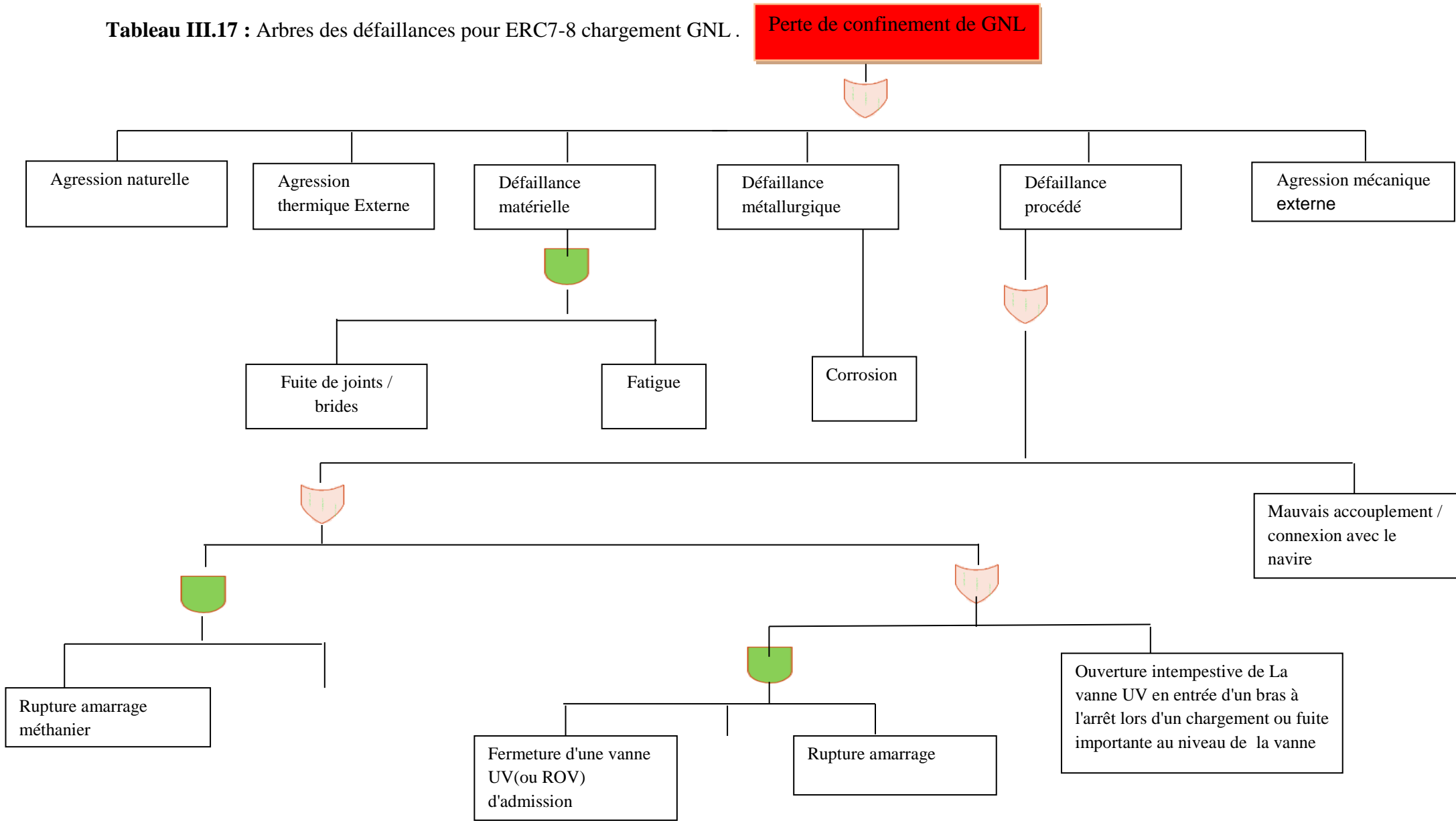
Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.16 : Arbres des défaillances pour ERC7-8 stockage GNL.



Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.17 : Arbres des défaillances pour ERC7-8 chargement GNL .



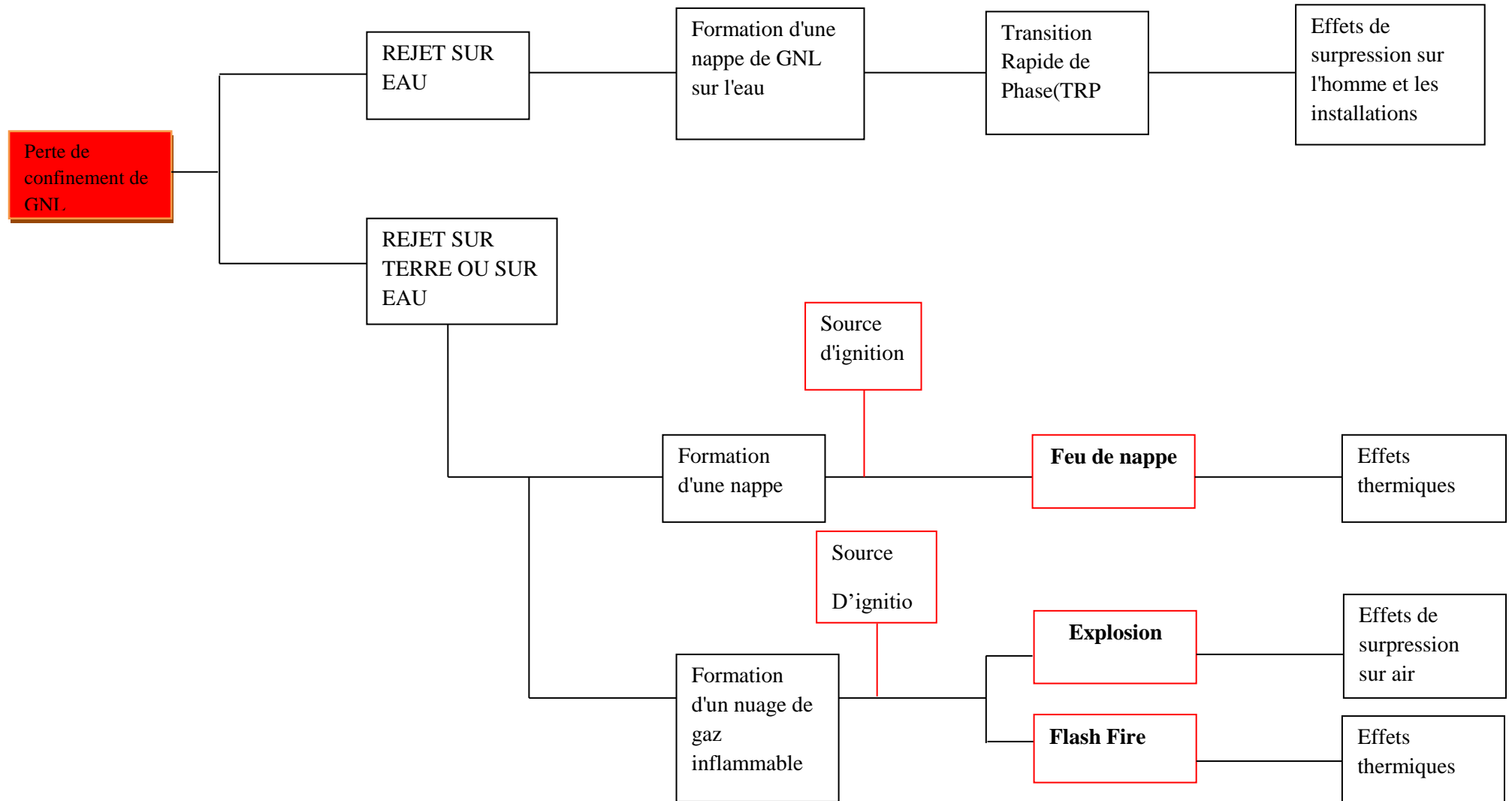
Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.18 : Définition des éléments de l'arbre des événements de l'ERC7 et ERC8.

ERC:EVENEM ENTREDOUTE CENTRAL	ERS:EVENEM ENTREDOUTE SECONDAIRE	ERT:EVENEM ENTREDOUTE TERTIAIRE	PHD:PHEN OMENEDANGE REUX	EST- ILCOMPATIBL EAVECLAPHR ASEDERISQUE	EM: EVENEMENT MAJEUR
ERC:7 Brèche en phase liquide	ERS:5 Jet de gaz liquéfié	ERT:5 Dispersion de GNL	PhD: 4 VCE	non	Effet : Thermique ,pression, missiles
			PhD : 5 Flashfire (feu de flash)	oui	Effet: thermique,
			PhD: 6 Nuage toxique	non	/
			PhD :12 explosion	oui	
		ERT:7 Jet de GNL enflammé	PhD :1 Feu de nappe	oui	Effet: thermique,
			PhD: 6 Nuage toxique	non	/
			PhD:11 dommageàL'en vironnement	non	/
ERC:8 Fuite sur canalisation en Phase liquide	ERS:5 Jet de gaz liquéfié	ERT:5 Dispersion de GNL	PhD: 4 VCE	non	Effet: thermique,
			PhD :5 Flashfire (feu de flash)	oui	pression, missiles Effet: thermique,
			PhD :6 Nuage toxique	oui	/
			PhD :12 explosion	oui	/
		ERT:7 Jet de gaz enflammé	PhD :1 Feu de nappe	oui	Effet: thermique,
			PhD: 6 Nuage toxique	non	/
			PhD:11 dommageàL'en vironnement	non	/

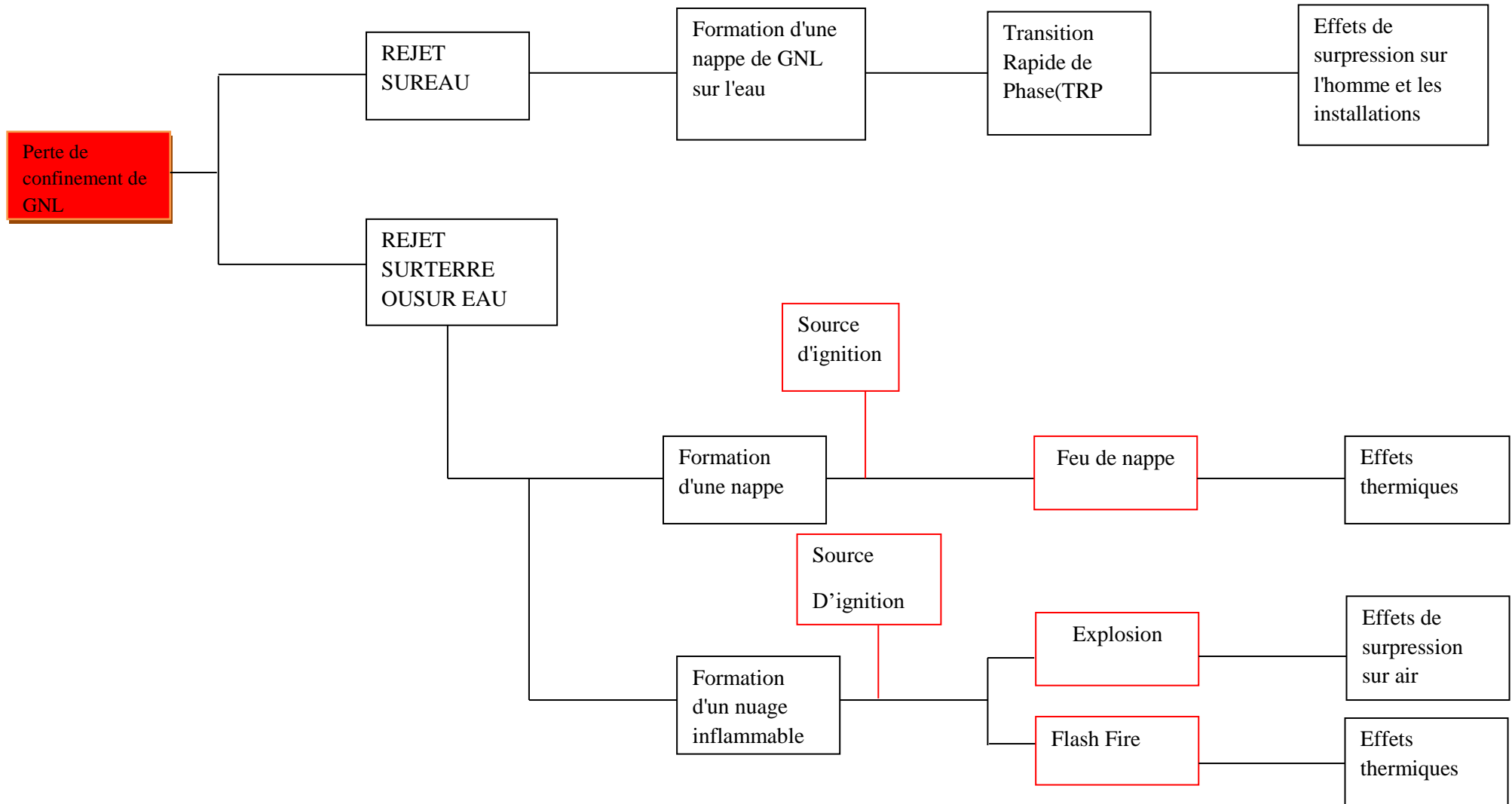
Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.19 : Arbres des événements pour ERC7 – 8 stockage GNL.



Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.20 : Arbres des événements pour ERC7-8 expédition GNL.



III.9.3. Operation B: MIRAS (Method for the Identification of Reference Accident Scenarios)

L'objectif de cette opération est la sélection des scénarios de référence qui seront modélisés et feront l'objet d'une cartographie de la sévérité. Le choix des scénarios de référence s'appuie sur une matrice de risques, qui définit des zones d'acceptabilité en fonction de la fréquence d'occurrence évaluée pour chaque phénomène dangereux identifié [26].

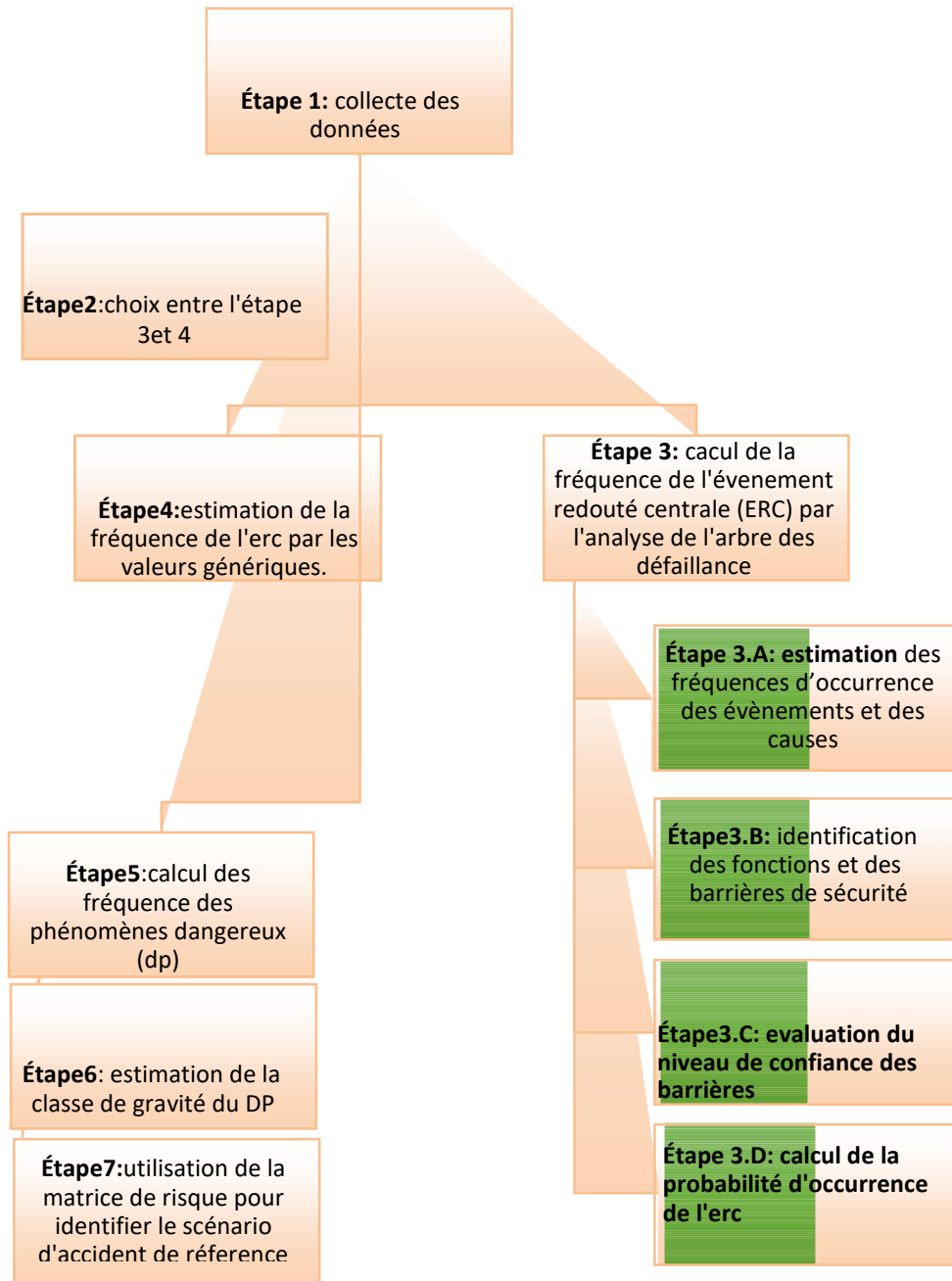


Figure III.5 : Résume les principales étapes de la méthode MIRAS [26].

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

❖ Etape 1 : Collecte des données

Le travail avec la méthode MIRAS nécessite une compréhension approfondie du fonctionnement du système et ces différents parties et une recherche bibliographique dans les banques de données de la fiabilité des systèmes et de la fiabilité des opérations humaines.

ARAMIS propose dans l'annexe 7 et 9 du Document D1C (13) plusieurs banques et travaux a consultés pour l'estimation des fréquences d'occurrence des évènements et cause et pour l'identification des niveaux de confiance des barrières de sécurités présentée dans l'étape prochaines [26].

❖ Etape 2 : Choix entre l'étape 3 et 4

Dans notre cas, nous n'avons pas le choix, car l'équipement ne possède pas de valeurs génériques dans l'annexe 10 du Document D1C (13) qui Présente les données génériques de l'étape 4.

❖ Etape 3.A : Estimation des fréquences d'occurrence des évènements et des causes

Les fréquences (ou probabilités) des événements initiateurs doivent être évalué. L'Annexe 7 deD1C (13) donne un aperçu des données disponibles pour les fréquences (ou probabilités) d'événements initiateurs. Cependant, il est recommandé d'utiliser les données spécifiques de l'installation si elles sont disponibles ou de les estimer avec le personnel de l'usine, avec l'aide de fréquences indiquées dans l'échelle qualitatives suivante :

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.21 : Estimation qualitatif des fréquences d'occurrence par année [23].

Fréquence d'occurrence par année		Classe
Définition qualitatif	Définition quantitatif	Symbol e
Très bas : impossible	$Fr < 1/10000 \text{année}$	F4
Bas : possible et déjà survenue dans des installations similaires	$1/10000 \text{année} < F \leq 1/1000 \text{année}$	F3
Bas : possible et déjà survenue dans Des installations similaires et dans ce site	$1/1000 \text{année} < F \leq 1/100 \text{année}$	F2
Haut : possible et déjà survenue une fois pendant 10ans	$1/100 \text{année} < F \leq 1/10 \text{année}$	F1
Très haut : déjà survenue plusieurs fois	$F > 1/100 \text{année}$	F0

Dans notre cas, nous avons défini la majorité des causes avec l'équipe d'exploitation et l'équipe maintenance de l'unité mais nous avons pris des valeurs de la littérature proposée par ARAMIS en Annexe 7 de D1C [26].

Pour estimer les probabilités des phénomènes dangereux, les probabilités conditionnelles les suivantes doivent donc être estimées :

- ✚ Probabilité d'inflammation immédiate ;
- ✚ Probabilité d'inflammation différée.

Dans le cadre de la méthode ARAMIS, une étude bibliographique a été menée concernant les Probabilités intervenant dans les arbres d'évènements. Les sources bibliographiques étudiées dans le cadre du projet ARAMIS sont :

- ✓ Le purple book;
- ✓ Le HSE, canvey report;
- ✓ Le SAI Study (Canvey Report);
- ✓ MHIDAS;
- ✓ LEES.

Il est proposé dans ARAMIS de tenir compte de trois critères pour évaluer la probabilité s'inflammation immédiate d'un liquide :

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

- De la conception des installations pour ne pas avoir d'inflammation (mise à la terre des équipements, ATEX, etc) ;
- De la présence d'une cuvette de rétention (qui doit permettre de limiter la taille de la fuite et donc de réduire la possibilité de mise en présence d'une source d'inflammation).

ARAMIS propose de retenir les valeurs pour les probabilités d'inflammation différée en fonction de la nature de l'installation [26].

❖ Etape 3.B : Identification des fonctions et des barrières de sécurité

Pour chaque scénario identifié par MIMAH, les barrières de sécurité technique ou organisationnelle les pouvant limiter la probabilité d'un accident ou en limiter les effets sont identifiées et reportées sur les nœuds-papillon. L'identification est réalisée dans le cadre de L'analyse des risques en présence de l'industriel. A défaut de fournir un inventaire exhaustif des barrières de sécurité existantes, ARAMIS, propose une méthode pour une identification systématique de ces mesures de sécurité.

La méthode d'identification des barrières est fondée sur la définition de fonctions de sécurité génériques. Ces fonctions de sécurité sont traduites par un verbe d'action suivi d'une intention à accomplir. Cinq verbes d'action permettent ainsi de couvrir l'ensemble des fonctions qu'il convient d'assurer pour maîtriser les risques d'accidents :

- ✓ **Eviter.** Il s'agit de rendre un événement impossible. Cette fonction désigne généralement des modifications profondes des installations et est à rapprocher du concept des procédés intrinsèquement plus sûrs ;
- ✓ **Prévenir.** Il s'agit cette fois de limiter la probabilité d'occurrence d'un événement, sans toutefois pouvoir le rendre impossible ;
- ✓ **Détecter.** Il s'agit de détecter un événement. Cette fonction seule ne suffit généralement pas à assurer la maîtrise de l'accident et doit être associée à d'autres fonctions comme contrôler ou limiter notamment ;
- ✓ **Contrôler.** Il s'agit de maîtriser le déroulement d'une dérive afin de ramener le système dans un état opérationnel en sécurité ;

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

- ✓ **Limiter.** La fonction « limiter » ou « réduire » consiste à agir sur les conséquences d'un événement afin d'en réduire la gravité. Le système n'est en revanche pas ramené dans un état totalement sûr. Equivalente au terme anglais « to mitigate », cette fonction applique le plus souvent au terme source de l'accident (par exemple, limiter un temps de fuite ou un débit) [27].

Les barrières sont classées selon une typologie qui dépend du mode de fonctionnement ou de défaillance des barrières. Il y a donc :

- les barrières dites passives (rétention, murs coupe-feu) qui ne requièrent pas de source D'énergie extérieure pour remplir leur fonction de sécurité ;
- les barrières dites actives qui nécessite une source extérieure d'activation pour remplir leur fonction de sécurité. On peut encore diviser cette classe en sous catégories, mais on retrouve en fait des organes mécaniques (soupapes, vannes), des systèmes de régulation (en fonctionnement permanent), des systèmes instrumentés de sécurité (activation sur alerte) ;
- les barrières dites humaines, qui nécessite l'intervention de l'homme pour remplir leur Fonction de sécurité [27].

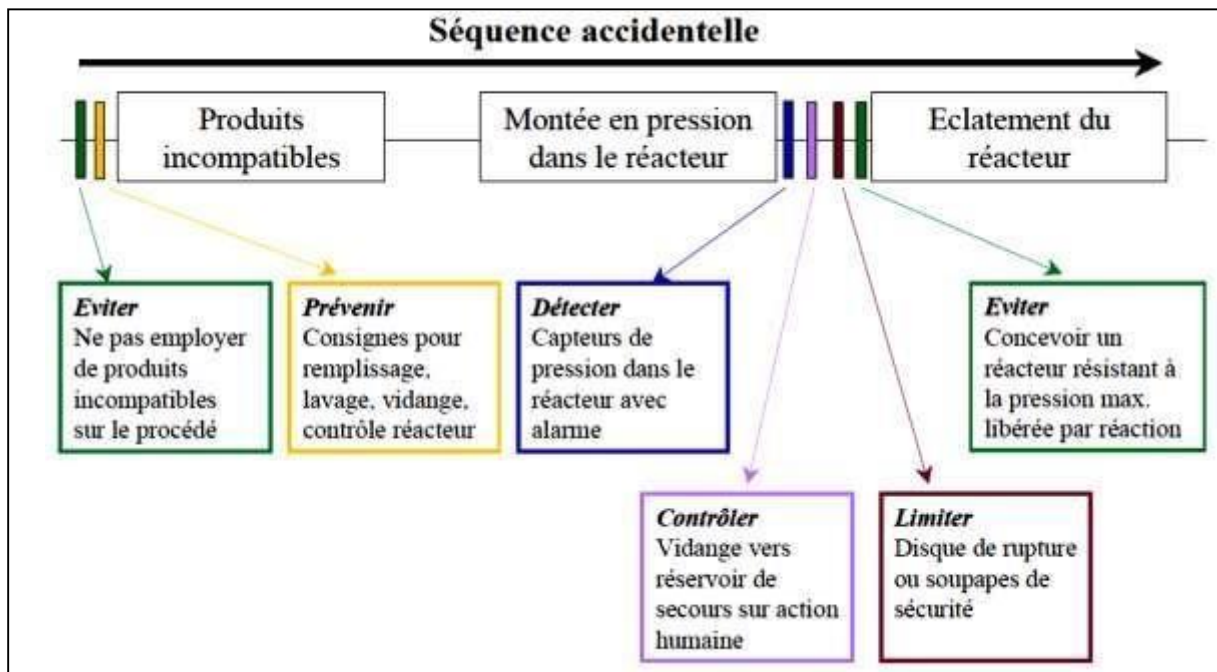


Figure III.6 : Exemple d'identification des fonctions [23].

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Le D1C [13] propose d'utiliser des check-lists de l'annexe 8 comme outil de travail explicite, les résultats de cette étape sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.22 : Identification des barrières de sécurité par branche des arbres des défaillances et des événements identifiés dans l'opération MIIMA.

Branche	Fréquence	Fonction	Barrières
Les Evènements Redoutés Centrales ERC			
ERC7 : brèche	F1	Détecter	✓ Débitmètre (chicane de mesure)
		limiter	✓ Vanne principale manuel
ERC8: Fuite	F2	Détecter	✓ Débitmètre (chicane de mesure)

		limiter	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vanne principale manuel ✓ Vannes papillon et servomoteurs gaz ✓ Vanne électrique d'arrêt d'urgence liée Au 2^{ème} réducteur
Causes nécessaires et suffisantes			
Surpression interne	F1	Prévenir	✓ Régulation sortie fumée: vanne papillon + moteur extracteur
		détecter	✓ Prise de pression
		Limiter	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pressostat HP ✓ Vanne électrique liée au 2^{ème} réducteur
Stress mécanique excessive due à des causes externes	F1	Contrôler	✓ Instruction de travail loin de la zone (pont roulant mouvement)
Rupture brutale	F4	Prévenir	✓ Teste avec caméra infrarouge (semestrielle)

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Reversement de couche	F1	Prévenir	✓ Inspection périodique /2h
Absence de flamme (phase de démarrage)	F1	Détecter	✓ Détecteur de flamme : Photocellule
		limiter	✓ Intervention humaine : allumage
Causes			
Sur remplissage	-	contrôle	✓ Vannes papillons avec servomoteur air ✓ Electrovanes
Pression interne élevé	F1	Détecter	✓ Prise de pression
		Contrôler	✓ Régulation fumé etc ✓ Système de purge sur les conduits
			✓
Température élever	F1	Prévenir	✓ Brique réfractaire ✓ blindage ✓ Joints
corrosion	F1	Prévenir	✓ Maintenance préventive
		Détecter	✓ inspection avec caméra infrarouge (semestrielle)
4.1 Vanne ouverte par	F1	Eviter	✓ système automatisé
4.2 Vanne laissée ouverte par erreur	F1	Prévenir	✓ Gamme opératoire (allumage +extinction) ✓ Séquence obligatoire du
		contrôle	✓ Indicateur de l'état de vanne sur le système de
4.2. Vanne bloquée	F1	Prévenir	✓ Utilisation d'ordinateur sûr et/ Ou un système de commande : step7

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

		Détecter	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspection visuelle ✓ Débitmètre ✓ Manomètre
		limiter	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Maintenance curative ✓ Pressostat HP et BP
Pertes d'étanchéité, joints dégradés	F1	Prévenir	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspection durant l'Arrêt annuelle des
		détecter	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspection par infra - rouge ✓ Analyse de l'oxydation du métal
		contrôler	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Procédure de nettoyage
Vanne de sécurité, dispositif de déverrouillage	F3	limiter	La conception du processus

Pour Les barrières techniques obtenues ne sont considérée comme pertinente s'ils répondent à la majorité des questions suivantes :

- La fonction est-elle indépendante des autres fonctions de sécurité ?
- la barrière a-t-elle une architecture simple ?
- Est-ce que la barrière est réparable ?
- Est-ce que le commandement rendant la fonction hors service inaccessible ?
- Y a-t-il un système de détection de blocage ?
- La barrière est-t-elle conçue en fonction des contraintes spécifiques de processus éventuelle, comme par exemple la très haute température ?
- Y a-t-il un programme d'inspection ?

Dans une même façon, il faut répondre pour les barrières humaines à certaines questions. Si des problèmes surviennent, la barrière ne doit pas être considérée comme pertinente et ne devrait pas être inclus dans les arbres.

- La barrière est-elle indépendante des autres fonctions de sécurité ?
- La barrière humaine peut-elle être définie comme une chaîne d'actions simples ?
- Les commandes sont-elles accessibles ?
- La commande est-elle possible ?

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

- Avoir les opérateurs une pratique périodique des actions nécessaires à la barrière ?
- Y a-t-il une formation prévue ?

❖ Etape 3.C : évaluation du niveau de confiance des barrières

Les barrières étant identifiées, une évaluation de leur robustesse permet ensuite de :

- a. Vérifier que la barrière a des performances suffisantes et adaptées ; elle peut ainsi être retenue comme une barrière de sécurité ; [28]
- b. Evaluer son niveau de confiance, lié à sa probabilité de défaillance, cette estimation du niveau de confiance est nécessaire pour calculer la probabilité d'occurrence des événements critiques [28].

Chaque barrière est créditée d'un niveau de confiance initiale dépendant des caractéristiques techniques (en Anglais SIL : Safety IntegrityLevel) en fonction de sa probabilité estimée de défaillance sur sollicitation (PFD : Probability of Failure on Demand) ou sa probabilité de défaillance horaire $P(t)$. Chaque niveau de confiance correspond à un facteur de réduction de la probabilité d'occurrence de l'événement redouté, donc du risque. Une barrière de sécurité avec un niveau de confiance de n aura une probabilité de défaillance de 10^{-n} et réduira d'un facteur 10^n la probabilité de l'événement [28].

Tableau III.23 : Niveau de confiance de la conception de la barrière liée à la sûreté de fonctionnement [23].

Niveau de confiance	Réduction du risque	Probabilité de défaillance à la demande (PFD)	Probabilité de défaillance a l'heure
4	10 000	$\geq 10^{-5}to < 10^{-4}$	$\geq 10^{-9}to < 10^{-8}$
3	1 000	$\geq 10^{-4}to < 10^{-3}$	$\geq 10^{-8}to < 10^{-7}$
2	100	$\geq 10^{-3}to < 10^{-2}$	$\geq 10^{-7}to < 10^{-6}$
1	10	$\geq 10^{-2}to < 10^{-1}$	$\geq 10^{-6}to < 10^{-5}$

Les performances font ensuite l'objet d'une éventuelle décote en fonction des résultats de l'audit du management sécurité, c'est l'opération C de ARAMIS, la décote étant différente selon la typologie des barrières (humaine, passive y, active..).

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

L'opération C d'ARAMIS exige une classification de barrière en 11 types car elle attribut pour chaque type k des coefficients d'influences $B_{i,k}$ liées aux processus managériaux audité symbolisé par l'indice i.

Les processus audités sont liés au cycle de vie des barrières sont les suivants :

✓ Pour les barrières humaines :

1. Disponibilité du personnel : Il s'agit de s'assurer que l'on disposera du personnel nécessaire à la réalisation des différentes activités suivant les conditions de fonctionnement pouvant être rencontrées (conгés, pics d'activité...);
2. Compétence du personnel : L'objet est ici de s'assurer que le personnel en place dispose du niveau de compétence souhaité, cela inclut notamment la sélection du personnel et sa formation ;
3. Implication du personnel et résolution des conflits : Il s'agit de s'assurer du bon comportement des acteurs face à leurs tâches, cela prend en compte notamment la façon dont les arbitrages sont effectués en vue de diminuer la charge de ces derniers ;
4. Communication et coordination : L'objet de ces activités est d'assurer d'une bonne communication entre les acteurs (par exemple en situation d'urgence) et de la bonne coordination des activités (par exemple en phase de travaux) ;
5. Procédure, modes opératoires et objectifs : Il s'agit enfin de s'assurer que les règles seront suivies, cela prend en compte la vérification de l'adéquation des règles avec les activités à effectuer, la formation à ces règles et l'évaluation de ces dernières [29].

✓ Pour les barrières techniques :

1. Détermination des spécifications de conception (incluant l'interface homme/machine), achat, construction, installation, et gestion des pièces : Cela correspond aux activités permettant d'assurer que les objectifs de sécurité seront correctement remplis ;

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

2. Gestion des inspections, des contrôles et de la maintenance : Il s'agit enfin de suivre dans le temps la performance des barrières, y compris leur (ré) étalonnage.

Tableau III.24 : Type des barrières de sécurité (voir annexe 3).

N°	Type de barrière	Fonction de sécurité	Barrières retenue	Données techniques	SOURCE	SIL	NC OP
1	Contrôle Permanente – passive	Prévenir	-Brique réfractaire -blindage -Joints (au niveau des parois)	Confinement étanche pour fuites crédibles	annexe9 D1C [13]	3	1.7
4	Permanente – active	Contrôler	- Régulation sortie fumée: vanne papillon +moteur extracteur	BPCS: $10^{-1} < \text{PFD} < 10^{-2}$	LOPA (ineris 2005DRA3 4-annexe4)	1	0.33
5	Active – matériel fonctionnant à la demande et réutilisable	- Limiter et contrôler	- Régulation débit : Vannes papillon et servomoteurs pour chaque zone + Débitmètre -Prise de pression	(1.733/ans _E High demande) (1.413/ans=1.613E-4/h)	Lees (ineris 2005DRA3 4-annexe 4)	0 0	0 0
6	Active – automatique	- limiter	-Vanne électrique d'arrêt d'urgence -	✓ (10-2<pdf <10-1) ✓ (10-2<pdf <10-1)	annexe9 D1C	1 1	0.57 0.57

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

7	Active –manuelle L'action humaine est Déclenchée par un système de détection	prévenir limiter	-vanne principale manuel	✓ Taux de défaillance (90% de confiance) =0.03*10 ⁻⁶ /heur	✓ EIREd (ineris 2005DRA3 4-annexe4)	4	0
		détecter	-maintenance curative	- Action humaine	annexe9 D1C	1	0

8	Active– Avertissement passif L'action humaine est conditionnée par un avertissement passif	Prévenir	-Instruction de travail loin de la zone four (pour le pont roulant en mouvement)	-procédure	annexe9 D1C [13]	1	0.61
9	Active – assistée Un logiciel présent un diagnostic à un opérateur	Détecter	-Détecteur de flamme: Photocellule IR	7.4*10 ⁻⁶ /h	OREDA (ineris 2005DRA3 4-annexe 4)	1	0.37
10	Active – procédure Observation des conditions locales par Un opérateur	Prévenir	-teste avec caméra infrarouge (semestrielle) -inspection MRE - Gamme opératoire (allumage + extinction -entretien nettoyage, décrêpage) -Inspection périodique /2h - Inspection durant l'Arrêt annuelle des vannes -Maintenance préventive		✓ annexe 9D1C	2 2 2 2 2 2 2	0 0 0 0 0 0 0
11	Active – situations d'urgence Réponse humaine improvisée suite à l'observation des conditions locales		- Intervention humaine : allumage manuelle		annexe9 ✓ D1C	0	

❖ Etape 3.D. calcul de la probabilité d'occurrence de l'ERC

En prévention (partie gauche du nœud papillon), la mise en œuvre d'une barrière réduit la probabilité d'occurrence de l'événement redouté central et peut éventuellement générer dessous-événements critiques à prendre en compte. En protection (partie droite du nœud papillon), la mise en œuvre d'une barrière réduit la probabilité d'observer l'effet majeur envisagé et conduit éventuellement à considérer un sous-événement avec un effet réduit. La barrière identifiée est reportée sur les arbres. L'effet de la barrière dépend de son type [27] :

- ✚ Barrière EVITER: peut conduire à éliminer un scénario ou conduire à un nouveau scénario avec des effets réduits.
- ✚ Barrière PREVENIR et CONTROLER: réduit la fréquence ou la probabilité des causes et des événements en aval par un facteur de $10^{NC_{op}}$.

Dans cette partie d'étude nous avons développé le calcul des probabilités pour le scénario de la fuite et brèche avec un diamètre large (ERC7-8).

Pour le calcul de la probabilité finale de l'Événement Redouté centrale

- ✓ A titre d'exemple en prend la branche suivante:

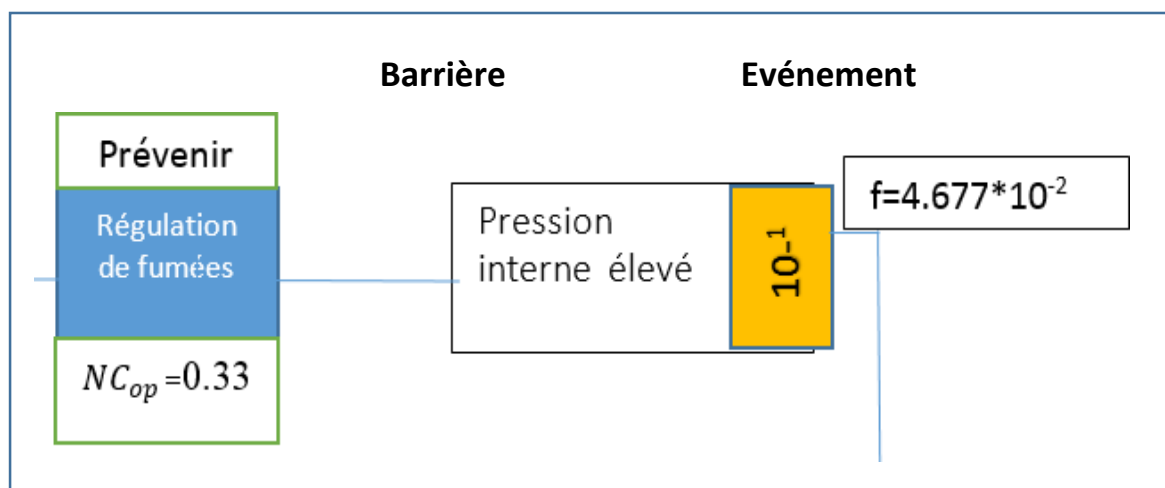


Figure III.7 : Exemple de calcul de probabilité d'un événement en prenant en compte la barrière prévenir [23].



La fréquence de l'événement pression interne élevé est égale à 10^{-1} /ans, nous

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

calculons la nouvelle fréquence F après la considération de la barrière (régulation de fumée) comme suit:

$$F = 10^{-0.33} \times 10^{-1} = 4.67 \times 10^{-2}$$

Tableau III.25 : Les règles de calcul des probabilités dans un arbre des défaillances [23].

Porte	Symbole	Entres de La branche	Calcul de la sortie de la branche	Unité
Ou		P_A Ou P_B	$P(A \text{ Ou } B) = 1 - (1 - P_A) \times (1 - P_B)$ $= P_A + P_B + P_A \times P_B$ $\cong P_A + P_B$	
		F_A Ou F_B	$F(A \text{ Ou } B) = F_A + F_B$	Ans^{-1}
		P_A Ou F_B	Non autorisé	
Et		P_A Et P_B	$P(A \text{ Et } B) = P_A \times P_B$	
		F_A Et F_B	Non autorisé	
		P_A Et F_B	$F(A \text{ Et } B) = P_A \times F_B$	Ans^{-1}

✓ Stockage GNL

La probabilité du ERC7-8 après calcul de l'arbre des défaillances égale à :

$$P_{\text{ERC}} = 3.9 \times 10^{-8}$$

➤ Utilisation des barrières dans les arbres (voir annexe 4)

En prévention (partie gauche du nœud papillon), la mise en œuvre d'une barrière réduit la probabilité d'occurrence de l'événement redouté central et peut éventuellement générer dessous-événements critiques à prendre en compte. En protection (partie droite du nœud papillon), la mise en œuvre d'une barrière réduit la probabilité d'observer l'effet majeur envisagé et conduit éventuellement à considérer un sous-événement avec un effet réduit. [32]

La barrière identifiée est reportée sur les arbres.

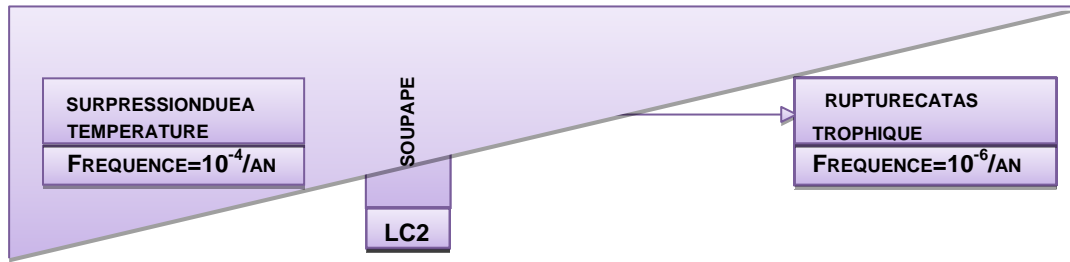


Figure III.8 : Représentation simplifiée des barrières sur les arbres [32].

L'effet de la barrière dépend de son type ; la barrière peut conduire à éliminer un scénario (barrière EVITER) ou conduire à un nouveau scénario avec des effets réduits, comme illustré sur les schémas suivants.

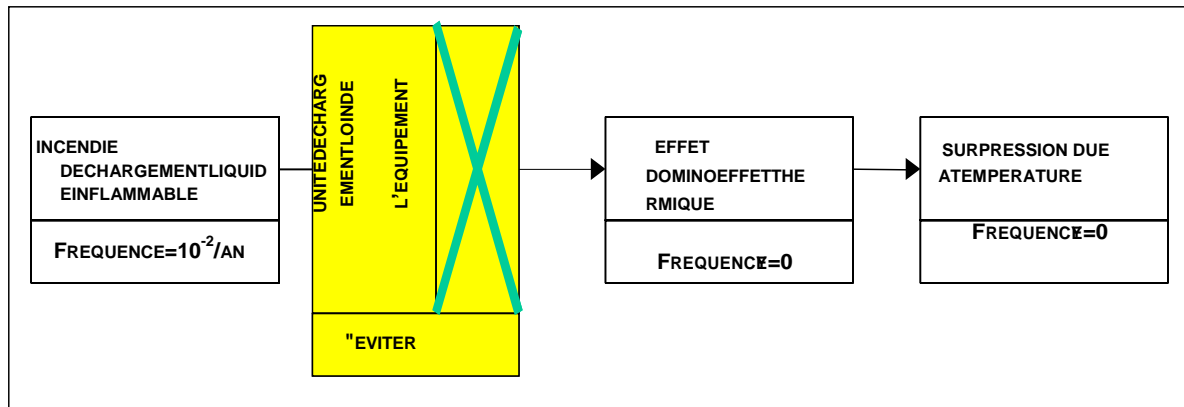


Figure III.9 : Effet d'une barrière **EVITER** sur le calcul des fréquences d'occurrence [32].

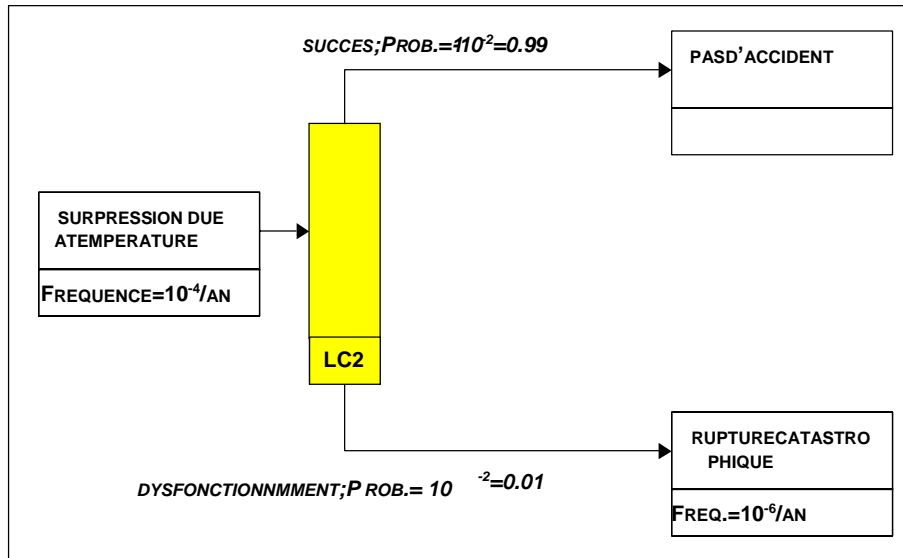


Figure III.10 : Effet d'une barrière **CONTROLER** ou **DETECTER** sur le calcul des fréquences [32].

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

On trouve ci - dessous un exemple de prise en compte des barrières de type PREVENIR ou LIMITER / CONTROLER sur des arbres.

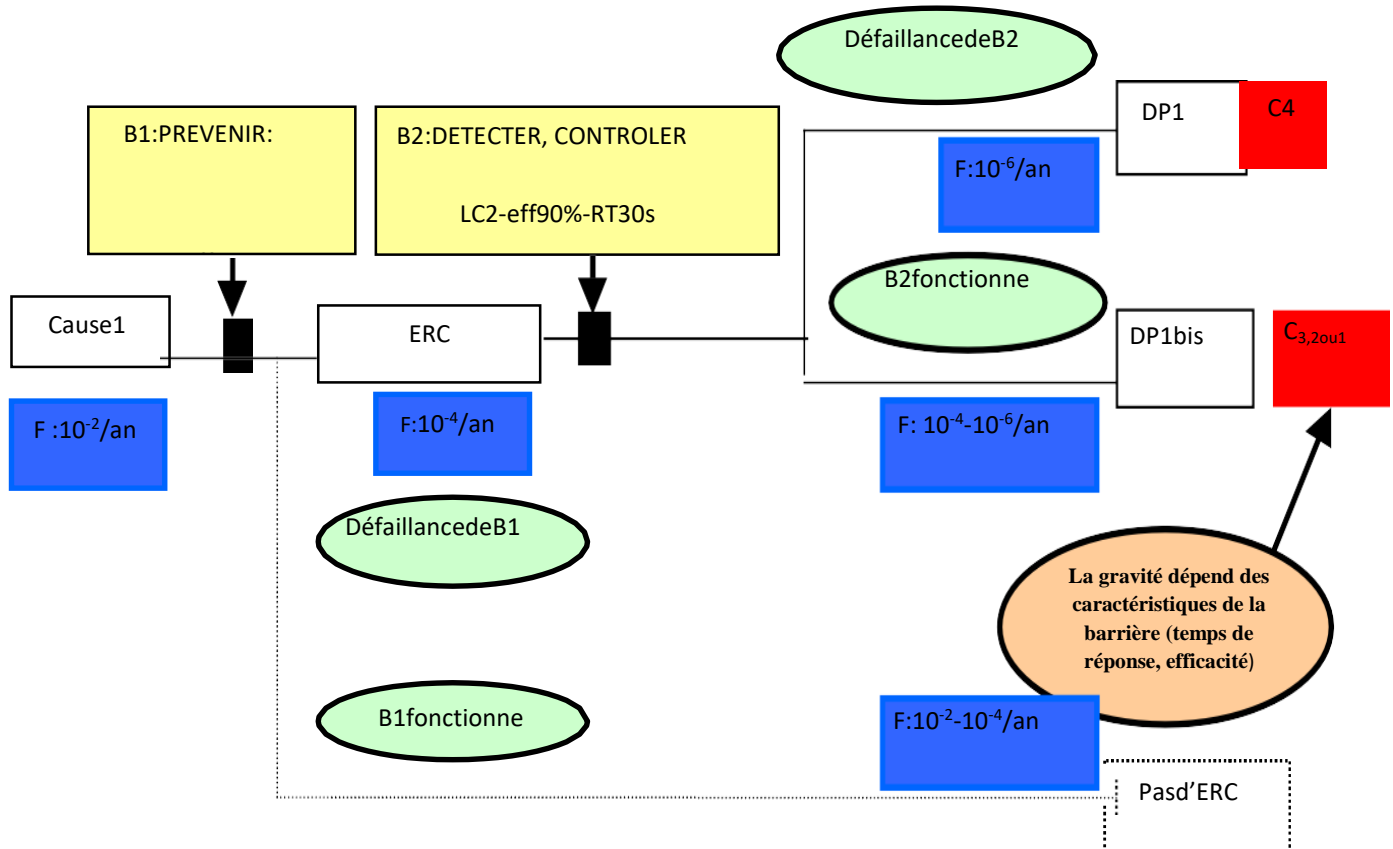


Figure III.11 : Exemple de prise en compte des barrières [32].

❖ Evaluation de la performance des barrières de défense

Les barrières étant identifiées, une évaluation de leur urgence se permet ensuite de :

- ✓ Vérifier que la barrière a des performances suffisantes et adaptées ; elle peut ainsi être retenue comme une barrière de sécurité;
- ✓ Evaluer son niveau de confiance, lié à sa probabilité de défaillance ; cette estimation du niveau de confiance est nécessaire pour calculer la probabilité d'occurrence des événements critiques.

Les performances font ensuite l'objet d'une éventuelle décote en fonction des résultats de l'audit du management sécurité, la décote étant différente selon la typologie des barrières (humaine, passive, active..). La méthode de décote est précisée dans l'opération C.

La plupart du temps, une fonction de sécurité est remplie par une combinaison de barrières actives, passives ou humaines, très souvent sur le mode **détection, traitement, action**. Chacune des barrières composant la chaîne doit donc être évaluée distinctement, et les règles de combinaison (notamment des niveaux de confiance) sont construites par dérivation de la norme CEI61511, en respectant deux critères principaux:

- L'architecture de la fonction de sécurité : barrières en série ou en parallèle (principe de redondance),
- L'indépendance des barrières.

A la différence des normes CEI61508 et CEI61511, le niveau de confiance est valable pour la combinaison de plusieurs fonctions de sécurité associées, et pas seulement pour le calcul d'une seule barrière. La condition pour cela est l'indépendance totale des barrières. L'évaluation des barrières de défense repose sur les trois critères suivants:

- **Efficacité** : capacité de la barrière de défense à remplir la fonction de sécurité qui lui est dévolue (et définie dans l'opération A sous la forme d'un verbe d'action) ;
- **Temps de réponse** : durée nécessaire pour que la barrière de défense accomplisse la fonction qui lui est dévolue avec l'efficacité définie.

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

- **Niveau de confiance** : classe de performance d'une barrière de défense, liée à sa probabilité de défaillance sur sollicitation, ou sa probabilité de ne pas remplir la fonction de sécurité qui lui est dévolue.

L'efficacité et le niveau de confiance des barrières techniques peuvent être estimés en analyse de risques par l'étude de critères complémentaires:

- In dépendance des barrières de sécurité et des systèmes de régulation;
- Concept éprouvé;
- Dimensionnement adapté aux conditions du site et effectué selon les normes et standards reconnus ;
- Présence d'une maintenance préventive;
- Présence de tests périodiques sur les barrières;
- Architecture sûre incluant des dispositifs à sécurité positive.

Pour les barrières mettant enjeu une action humaine, les facteurs suivants seront pris en compte pour l'évaluation:

- Formation adéquate du personnel;
- Présence de procédures claires;
- Accessibilité de la barrière;
- Nombre de tâches à réaliser;
- Facilité du diagnostic;
- Contrôle des opérations [32].

➤ Estimation des niveaux de confiance des barrières

Des critères ont donc été développés pour chaque type de barrière (passive, active, humaine) mais ne sont pas exposés dans ce document. Le niveau de confiance est évalué soit par application des principes de la norme CEI 61508 pour les barrières actives, soit par retour d'expérience à partir d'une valeur PFD générique pour les barrières passives et humaines. La difficulté est ensuite de vérifier comment ces barrières sont installées, gérées et maintenues dans le temps, en fonction de l'organisation particulière d'un site. Ceci fait intervenir des activités spécifiques du système de management de la sécurité évaluées dans l'opération C.

✓ Pour les dispositifs techniques:

L'estimation est inspirée des normes CEI 61508 et CEI 61511 applicables aux dispositifs électroniques et instrumentés de sécurité. Selon le type de dispositif (simple ou complexe), le niveau de confiance est obtenu en fonction du taux de défaillance sûre du dispositif et sa tolérance à la défaillance (liée notamment à la redondance des éléments). On se reportera à l'annexe9 du rapport D1C pour plus de détails.

❖ Etape 5 : Calcul des fréquences des phénomènes dangereux (PD)

La fréquence des phénomènes dangereux est ensuite calculée à partir de celles des événements critiques et des distributions de probabilités de chaque phénomène dangereux potentiel du **rapport D1C donnent** des exemples de probabilités de phénomènes dangereux dont certains sont repris ci-après.

Les règles de calcul dans un arbre d'événement sont résumé espar la figure ci-dessous:

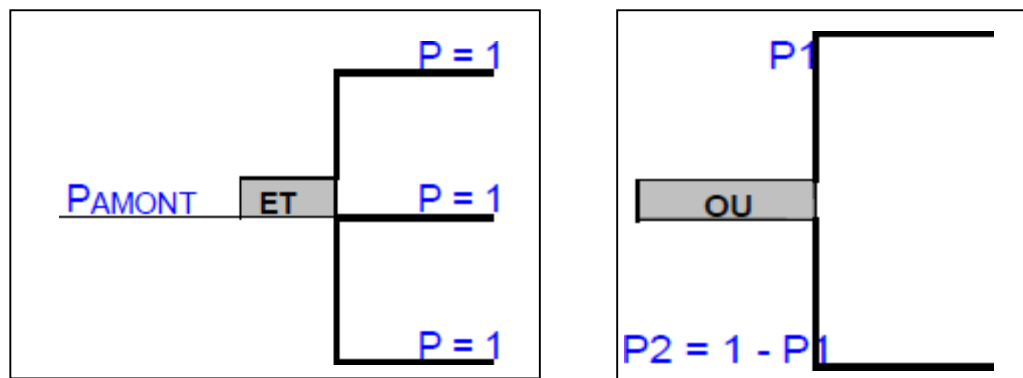


Figure III.12 : Règles de calcul des probabilités de l'arbre des événements [23].

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Le départ de notre arbre d'évènements de l'ERC7-8 'large' est une porte « ou », une Inflammation non immédiate selon ARAMIS à une probabilité $P_{ni}=0.30$ donc la probabilité d'Inflammation immédiate P_{ii} égale à: $P_{ii}= 1-P_{ni}=1-0.3= 0.7$.

La probabilité finale des phénomènes dangereux P_{PD} égale à:

- PD1: Feu de nappe

$$P_{PD1} = P_{ERC} \times P_{ni} \times P_{nf} \dots\dots\dots (III.5)$$

$$P_{PD1} = 1.3 \times 10^{-3}$$

- PD2: Flashfire

$$P_{PD2} = P_{ERC} \times P_{ni} \times P_{ff} \dots\dots\dots (III.6)$$

$$P_{PD2} = 1.3 \times 10^{-3}$$

- PD3: Explosion

$$P_{PD3} = P_{ERC} \times P_{ii} P_{PD2} \dots\dots\dots (III.7)$$

$$= 1.2 \times 10^{-8}$$

$$P_{PD3} = 1.2 \times 10^{-8}$$

✓ Expédition GNL

La probabilité du ERC 7-8 'large' après calcul de l'arbre des défaillances égale à:

Brèche 50% 3.20E-04/an

Rupture 100% 9.1E-03/an

La probabilité finale des phénomènes dangereux PPD pour ERC7 égale à:

- PD1: Feu de nappe

$$P_{PD1} = P_{ERC} \times P_{ni} \times P_{nf} \dots\dots\dots (III.8)$$

$$P_{PD1}=9.8*10^{-3}$$

- PD2: Flashfire

$$P_{PD2} = P_{ERC} \times P_{ni} \times P_{ff} \dots\dots\dots (III.9)$$

$$P_{PD2}=9.6*10^{-3}$$

- PD3: Explosion

$$P_{PD3} = P_{ERC} \times P_{ii} \dots\dots\dots (III.10)$$

$$P_{PD3}=9.6*10^{-8}$$

La probabilité finale des phénomènes dangereux PPD pour ER C8 égale à:

- PD1: Feu de nappe

$$P_{PD1} = P_{ERC} \times P_{ni} \times P_{nf} \dots\dots\dots(III.11)$$

$$P_{PD1}=2.8*10^{-3}$$

- PD2: Flashfire

$$P_{PD2} = P_{ERC} \times P_{ni} \times P_{ff} \dots\dots\dots (III.12)$$

$$P_{PD2}=2.8*10^{-3}$$

– PD3: Explosion

$$P_{PD3} = P_{ERC} \times P_{ii} \dots\dots\dots(III.13)$$

$$P_{PD3} = 2.9 \times 10^{-8}$$

❖ **Etape 6: Estimation de la classe de gravité des phénomènes dangereux (PD)**

La sélection des scénarios d'accidents de référence (RAS) est basée sur l'évaluation des probabilités des phénomènes dangereux, ainsi que leurs conséquences potentielles. Les conséquences de chaque phénomène dangereux doivent être évaluées de façon qualitative. Cette évaluation sera basée sur les quatre classes de conséquences et prendront en compte la présence des barrières de sécurité dans l'arbre des évènements.

Tableau III.26 : Définition des classes de gravité de PD [23].

Conséquence			Classe
Effet domino	Effet su cible humaines	Effet sur l'environnement	
Voir note	Pas de blessures ou blessures légères ne nécessitant pas d'arrêt de travail	Pas d'action nécessaire, simple observation	C1
Voir note	Blessure nécessitant une hospitalisation de durée supérieur à heure	Sérieux effets sur l'environnement, nécessitant des moyens locaux d'intervention	C2
Voir note	Blessures irréversible ou morts sur site blessures réversible à l'extérieure	Sérieux effets sur l'environnement à l'extérieur du site nécessitant des moyens nationaux d'intervention	C3
Voir note	Blessures irréversible ou morts à l'extérieure du site	Effets irréversible sur l'environnement à l'extérieur du site nécessitant des moyens nationaux d'intervention	C4

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS




Remarque pour les effets domino : si un phénomène dangereux peut entraîner par effet domino un deuxième phénomène dangereux et que la classe de gravité de ce deuxième phénomène dangereux est plus élevée que celle du premier phénomène dangereux, la classe de gravité de ce dernier doit être augmentée à la classe de gravité du deuxième phénomène dangereux.

Au-delà de cette grille, ARAMIS propose également en fonction de la nature des phénomènes dangereux et des produits impliqués une classification a priori des phénomènes. En cas de doute, des calculs complémentaires peuvent être menés pour valider la classe de gravité correspondante.

Tableau III.27 : Estimation grossière des classes de gravité par phénomène dangereux [23].

Phénomène dangereux	Classe de conséquence
Feu de nappe	C2
Feu de cuve	C1
Jet enflammé	C2
VCE	C3 ou C4 en fonction de la quantité émise
Flashfire	C3
Nuage toxique	C3 ou C4 en fonction des phrase des risques –C4 pour des substances très toxiques
Feu	C2
Projection de missile	C3
Création onde de surpression	C3
Boule de feu	C4
Dégât à l'environnement	A juger sur site
Explosion de poussière	C2 ou C3 on fonction de la substance et de la quantité
Boilover et feu de nappe associe	C3

Dans notre cas d'étude, nous avons 2 Phénomènes dangereux :

-  Feu de nappe=C2
-  Explosion=C3
-  Flashfire=C3

❖ Etape 7 : utilisation de la matrice de risque pour identifier le scénario d'accident de référence

Les scénarios peuvent donc à ce stade être placés sur une matrice de risques, qui définit des critères d'acceptabilité et de sélection des scénarios en fonction de cette caractérisation en gravité / fréquence.

La matrice de risques comporte en abscisse la classe de gravité des phénomènes dangereux et en ordonnée la fréquence d'occurrence des phénomènes dangereux.

La zone verte (effets négligeables) correspond aux phénomènes dangereux avec une fréquence d'occurrence et/ou des conséquences suffisamment faibles pour ne pas être considéré comme représentatif du risque d'un établissement.

La zone jaune (effets moyens) correspond aux phénomènes dangereux dont la probabilité est tolérable et qui représente le niveau de risque moyen d'un établissement. Les phénomènes dans cette zone sont retenus pour la modélisation et constituent les scénarios de référence.

La zone rouge (effets importants) correspond à des phénomènes dangereux dont la probabilité d'occurrence n'est pas satisfaisant en l'état : des barrières complémentaires de sécurité doivent être rajoutées. Les phénomènes dans cette zone sont retenus pour la modélisation et font également partie des scénarios de référence.




Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.28 : Placement des DP de l'unité de **stockage GNL** et **expédition GNL** dans la matrice de risque de ARAMIS.

- **Stockage GNL**

FREQUENCE	10 ⁻² /ans				
	10 ⁻³ /ans		Feu de nappe	explosion, Flashfire	
	10 ⁻⁴ /ans				
	10 ⁻⁵ /ans				
	10 ⁻⁶ /ans				
	10 ⁻⁷ /ans				
	10 ⁻⁸ /ans				
	Classe de gravité	C1	C2	C3	C4




Les scénarios d'accident (RAS) de référence de cette unité sont par ordre d'importance:

-  explosion
-  Flashfire (feu de flash)
-  Feu de nappe

- **Expédition GNL:**

FREQUENCE	10 ⁻² /ans			explosion, Flashfire	
	10 ⁻³ /ans		Feu de nappe		
	10 ⁻⁴ /ans				
	10 ⁻⁵ /ans				
	10 ⁻⁶ /ans				
	10 ⁻⁷ /ans				
	10 ⁻⁸ /ans				
	Classe de gravité	C1	C2	C3	C4

Les scénarios d'accident (RAS) de référence de cette unité sont par ordre d'importance:

-  explosion
-  Flashfire (feu de flash)
-  Feu de nappe

III.9.4. Opération C-D : indice de sévérité et la vulnérabilité

III.9.4.1. Indice de sévérité

– **Définition**

Un indice de sévérité est une mesure quantitative ou qualitative, orientée à intégrer en une valeur numérique ou en un adjectif descriptif, un ensemble de facteurs qui ont une influence sur les dangers ou les risques d'un système [32].

L'Indice de sévérité des risques (S) est basé sur un ensemble des Phénomènes Dangereux (DP) et de leurs événements majeurs correspondants (EM), identifié grâce à l'application de la méthodologie MIMAH. Il prend en compte aussi bien un ensemble uniforme de seuils concernant les effets d'accidents divers.

L'Indice de sévérité des risques pour un événement critique donné, SCE, est une combinaison Indices de sévérité du risque spécifique, SDP, associés à chacun des phénomènes dangereux que l'événement critique a, de cette façon que les probabilités d'occurrence peuvent être pris en compte [30]:

$$S_{ce}(d) = \sum_{i=1}^n (P_{db1} \cdot S_{dp1}(d)) \dots \dots \dots (III.14)$$

Ou n: lenombredesphénomènesdangereux associés à l'évènement critique

P_{DP} : la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux

L'Indice de la sévérité des risques pour **l'ensemble de l'installation**, S, est une combinaison des indices de sévérité, SCE, des risques associés à chacun des événements critiques considérés et leurs fréquences d'apparition [31]:

$$S(d) = \sum_{j=1}^m (f_{cej} \cdot S_{cej}(d)) \dots \dots \dots (III.15)$$

Dans cette expression m est le nombre total d'événements critiques(CE) associés à l'installation; f_{CEj} est la fréquence d'apparition de la CEj ; et $S_{CEj}(d)$ est l'indice de gravité de risque associé à la CEj .

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.29 : Les Niveaux de l'indice de sévérité d'une installation [23].

S	Niveau de l'indice de sévérité
$S = 750$	Extrêmement élevé
$300 = S < 750$	Elevé
$50 = S < 300$	Moyen
$S < 50$	Faible

La valeur S varie en fonction de la distance; de cette manière, des cartes de sévérité peuvent être construites autour d'une installation. Cinq distances sont proposées d'être calculé pour chaque phénomène dangereux impliqué.

Tableau III.30 : Relation entre la valeur S et la distance où cette valeur est atteinte [23].

S_{DP}	Distance
0	d_0
25	d_1
50	d_2
75	d_3
100	d_4

Une fois que les distances d_0 et d_4 ont été trouvés grâce à l'application des modèles, la valeur de S à toute distance peut être obtenue en appliquant les équations linéaires à l'intérieur de chaque gamme.

Tableau III.31 : Equations linéaires SDP.

	Equation
$Sdp = \frac{25}{(d1-d0)} \times x - \frac{25.d0}{(d1-d0)} d1 < x < d0$(III.16)
$Sdp = \frac{25}{(d2-d1)} \cdot x + \frac{(25.d2-50.d1)}{(d2-d1)} d2 < x < d1$(III.17)
$Sdp = \frac{25}{(d3-d2)} \cdot x + \frac{(50.d3-75.d2)}{(d3-d2)} d3 < x < d2$(III.18)
$Sdp = \frac{25}{(d4-d3)} \cdot x + \frac{(75.d4-100.d3)}{(d4-d3)} d4 < x < d3$(III.19)

III.9.4.2. Calcule l'indice de sévérité

L'indice de sévérité de chaque Phénomène Dangereux (DP) est défini en fonction de leurs effets majeurs correspondants (EM) [31].

$$S(dp - me1)(d) = 29.23 \cdot \ln(Q(d)) + 2.29 \dots \dots \dots (III.20)$$

$$S(dp - me2)(d) = 15.4 \cdot \ln(\Delta P(d)) - 8 \dots \dots \dots (III.21)$$

$$S(dp - me3)(d) = \begin{cases} 100, & \text{if } d \leq d_{100\%} \\ 0, & \text{if } d > d_{100\%} \end{cases} \dots \dots \dots (III.22)$$

$$S(dp - me4)(d) = 100 \cdot \frac{C(d)}{IDLH} \dots \dots \dots (III.23)$$

d : La distance pour laquelle l'indice est calculé ;

Q(d) : La radiation (KM/m²) calculé à une distance d ;

P(d) : La surpression (mbar) calculé à une distance d ;

d_{100%} : La distance où 100% de missiles est trouvé ;

C (d) : La concentration max atteint à une distance d.

Pour les phénomènes dangereux DP qu'ont plusieurs évènements majeurs ME, L'indice de sévérité totale égale le max [29].

✓ Sélectionner les scénarios

Pour notre cas d'étude les scénarios les plus probables sont le **flachefire, explosion, feu de nappe** donc nous allons modéliser ces phénomènes dans cette partie au niveau de stockage GNL.

III.10. Modélisation et simulation par le logiciel ALOHA

La simulation des conséquences à pour objectif l'évaluation des incidences des différents scénarios d'accidents identifiés précédemment. Cette simulation permet de déduire l'impact de ces événements sur les structures et les personnes. L'impact sur les personnes exprimé en termes de nombre de fatalités sera utilisé dans l'évaluation de l'acceptabilité du risque par rapport au critère choisi.

Le logiciel utilisé pour la simulation est ALOHA (Aerial Locations of Hazardous Atmosphere), il a été développé conjointement par le National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) et la USE environmental Protection Agency (EPA). Le logiciel se compose :

- ✓ Du module CAMEO qui contient principalement des bases de données chimiques et toxicologiques.
- ✓ Du module ALOHA qui permet d'évaluer, dans des situations d'urgence, la dispersion atmosphérique de composés rejetés dans des conditions accidentelles. Il prend en compte les propriétés toxicologiques et physiques des polluants, et les caractéristiques du site telles que les conditions atmosphériques et les conditions de rejets. Ce module comprend une bibliothèque de 700 substances chimiques. Pour chacune de ces substances, ALOHA simule; la toxicité, l'inflammabilité, la radiation thermique, les sur pressions. Et un programme de cartographie électronique appelé MARPLOT.

✓ Simulation des conséquences:

Les hypothèses suivantes seront tenues en comptes:

✚ La station est phase d'exploitation.

✚ Le bac étudié fonctionne avec les caractéristiques suivantes: Pour un bac de

stockage de:

- $D=85\text{m}$, $H=38\text{m}^3$
- $V= 215.631\text{m}^3\text{T}$
- $T=-161.4\text{c}$
- $M=32.844\text{tons}$
- V de liquide $=70.000\text{m}^3$ $P=10.68$ bars

Les conséquences relatives à un déversement suite à une rupture au niveau du bac pendant 10 minutes.

- ✚ Deux cas correspondants à deux directions du vent seront étudiés Nord et Est qui selon les données météorologiques sont les plus dominants.
- ✚ Pour une durée de 10 minutes le volume de produit déversé est égale à : $V = 70.000 \times 10 / 60 = 204\text{m}^3$

On suppose un épandage uniforme formant une couche de 50 cm autour du bac. L'incident survient le 26 avril 2023 à 18^h39'.

✚ Les conditions météorologiques sont les suivantes
Direction du vent: SE.

- Vitesse du vent : 2.66 m/s.
- Humidité : 70%.
- Température extérieure : 18°C.
- Température initiale du brut: -161.4°C.

Suite à la formation de la nappe, les scénarios suivants seront simulés:

- ✚ Les effets des radiations thermiques du feu de nappe.
- ✚ Les effets des sur pressions suite à l'explosion du nuage de vapeur.
- ✚ Les zones toxiques engendrées par la dispersion du nuage de vapeur.

III.11. Simulation des effets thermiques et des effets surpression des phénomènes dangereux au niveau du stockage GNL

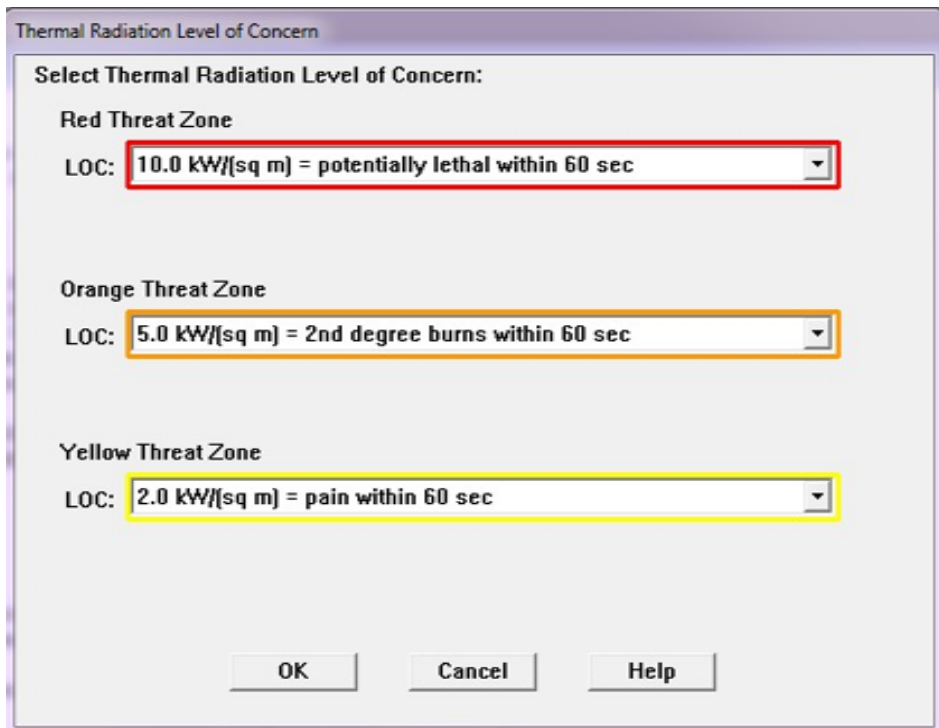


Figure III.13 : Fenêtre des seuils des effets thermiques.

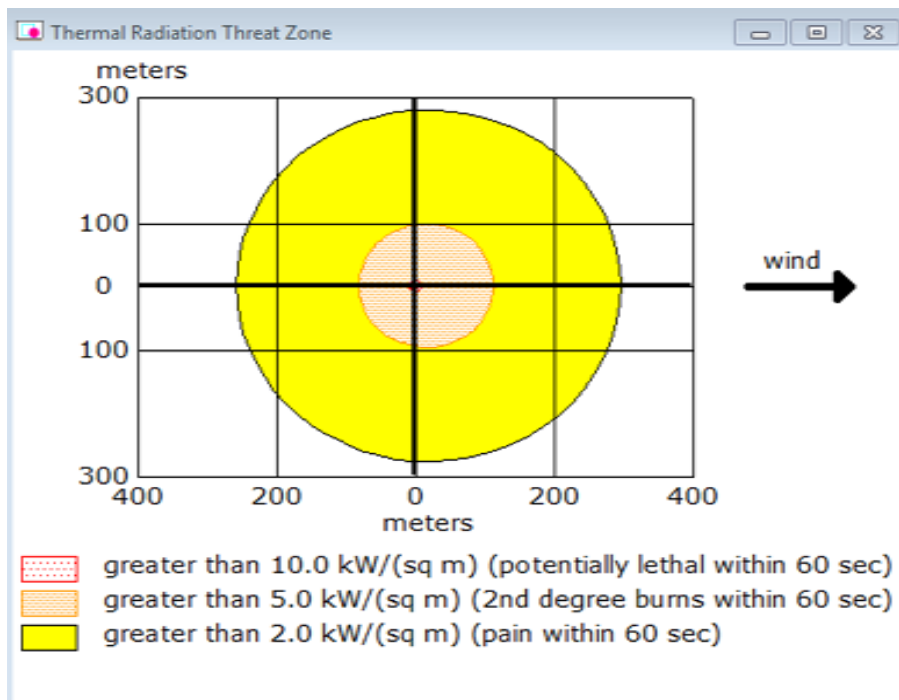


Figure III.14 : Fenêtre des zones menacer.



Figure III.15 : Cartographie des zones menacées par les effets thermiques d'une explosion.

Flammable Level of Concern

Select Flammable Level of Concern:

Red Threat Zone
LOC: 30000 ppm = 60% LEL = Flame Pockets

Orange Threat Zone
LOC: (none)

Yellow Threat Zone
LOC: 5000 ppm = 10% LEL

Show wind direction confidence lines:
 only for longest threat zone
 for each threat zone

OK Cancel Help

Figure III.16 : Fenêtre des seuils des effets sur pression.

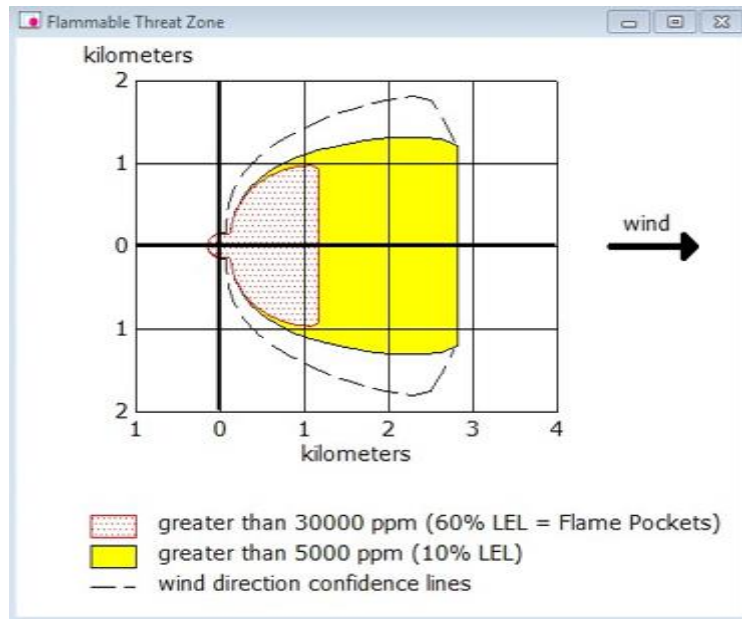


Figure III.17 : Zone suite à la dispersion du nuage inflammable.

Représentation zones nuages de vapeur inflammable



Figure III.18 : Cartographie des zones menacées par les effets sur pressions zone nuages de vapeur inflammable.

Toxic Level of Concern

Select Toxic Level of Concern:

Red Threat Zone
LOC: PAC-3: 17000 ppm

Orange Threat Zone
LOC: PAC-2: 2900 ppm

Yellow Threat Zone
LOC: PAC-1: 2900 ppm

Show wind direction confidence lines:
 only for longest threat zone
 for each threat zone

OK Cancel Help

Figure III.19 : Fenêtre des seuils des zones toxiques suite à la dispersion du nuage de vapeur.

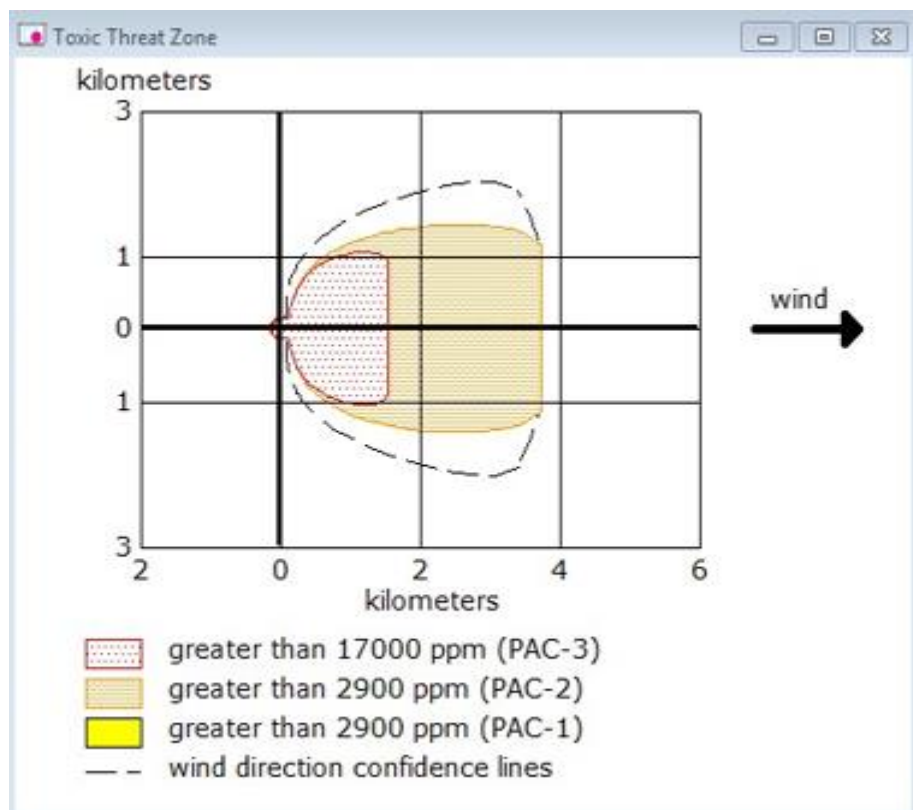


Figure III.20 : Fenêtre des seuils des zones toxiques suite à la dispersion du nuage de vapeur.



Figure III.21 : Cartographie des zones toxiques suite à la dispersion du nuage de vapeur.

III.11.1. Discussion des résultats du logiciel ALOHA

Tableau III.32 : Des effets thermiques d'une explosion sur l'homme.

Distance de sécurité	Distance
Distance des effets locaux significatifs-DELS	25
Distance des premiers effets létaux	100
Distance des effets irréversibles	290

- **Zone1:** A une valeur de 10kw/m^2 et se propage jusqu'à 25 m présentant des effets létaux significatifs sur l'homme (danger significatifs)
- **Zone2 :** Avec une valeur de 5 kw/m^2 et un rayon de 100m présentant des effets létaux pour la vie humaine
- **Zone3:** A la valeur de 2kw/m^2 se propageant jusqu'à 290m présenté des effets irréversibles pour la vie humaine.

Chapitre III : Application de la méthode ARAMIS

Tableau III.33 : Résultat de calcul des distances de sévérité du feu de nappe selon ARAMIS.

Description des effets	Valeur seuil du S	Distance
Peu ou pas d'effets	0	d0 =310m
Effets réversibles	25	d1=300m
Effets irréversibles	50	d2 =290m
Début des effets létaux	75	d3=100m
Effet létale significatif (selon le nombre de personne exposé)	100	d4=25m

Donc la valeur de sévérité $S=100/ d_4=25m$

Conclusion

L'application de la méthode ARAMIS nous a permis d'évaluer et d'identifier les différents risques existants au niveau de l'unité 80P et 80 du GNL avec une évaluation importante des différentes barrières de sécurité.

Conclusion Générale

Conclusion générale

La prévention des risques majeurs présente toujours un défi aux industriels. Cela est dû à la difficulté de mesurer le développement des scénarios d'accidents majeurs et de leurs conséquences vis-à-vis des cibles.

Notre étude est consacrée à l'analyse approfondie par l'entremise de la méthode ARAMIS, des risques majeurs au niveau de l'unité 80P/80, du complexe GNL1K SKIKDA, certifié OHSAS 18001.

Pour ce faire, nous avons mené dans un premier temps une Analyse Préliminaire des Risques (APR) qui nous a permis d'identifier 20 risques au niveau du stockage et expédition GNL. Il se trouve que les équipements de là l'unité sont ceux qui représentent un risque majeur.

Dans un second temps, nous avons opté pour la méthode ARAMIS pour les avantages qu'elle apporte. En effet, cette dernière s'applique aux installations en exploitation et dotées d'un système de management de la sécurité, c'est le cas de l'unité 80P/80. Les résultats du déroulement de la première partie de la méthode ARAMIS identifient deux évènements redoutés centraux (ERC) pour l'unité qui sont :

- ERC 1 : Brèche des parois ;
- ERC 2 : Fuite de liquide ;

L'élaboration de deux arbres des défaillances (type ARAMIS et REX) partant de nos deux ERC nous a éclaircis sur leurs enchainements causals.

Par ailleurs, les arbres des évènements réalisés à partir des mêmes ERC nous font ressortir trois phénomènes dangereux :

- PhD1 : Explosion d'un nuage de gaz ;
- PhD2 : Feu de flash (Flash fire) ;
- PhD3 : Feu de nappe ;

La deuxième partie de la méthode ARAMIS, nous a permis d'identifier les fonctions et les barrières de sécurité techniques ainsi qu'organisationnelles et d'évaluer leurs niveaux de confiance, afin de les prendre en considération dans le calcul des probabilités d'occurrence des ERC.

Le nœud papillon réalisé, en prenant en considération les barrières, pour la brèche et la fuite nous a permis de calculer les probabilités des phénomènes dangereux et de positionner ces phénomènes dangereux dans la matrice de risque de la méthode ARAMIS. Ce qui nous donne deux types de phénomènes :

Phénomènes à effets importants : PhD1 et PhD2

Phénomène à effets moyens : PhD3

Conclusion générale

Le **PhD1** et **phD2** a été choisi pour l'étude de la sévérité vu sa forte probabilité. À l'aide du logiciel ALLOHA nous avons estimé les effets de la surpression et les effets thermiques au niveau du stockage GNL. Les résultats obtenus montrent que :

Enfin, la modélisation de cette variation en loi puissance nous a donné la possibilité de calculer l'indice de sévérité selon la méthode ARAMIS pour les deux phénomènes à n'importe quel point du périmètre d'étude.

Alors malgré les réflexions engagées Et les dispositions qui commencent à être prises le traitement des risques à la fois graves et incertains et encore loin de correspondre à une réelle « gestion des risques »

Annexe

Annexe 1

Tableau 1: Typologie des substances dangereuses [23].

Catégorie	Phrases de risques	
Très toxiques	R26 R100(3)	Très toxique par inhalation Emet des vapeurs très toxique en cas de feu (*)
Toxique	R23 R101(3)	Toxique par inhalation Emet des vapeurs toxique en cas de feu (*)
Oxydant	R7 R8 R9	Peut provoquer un incendie (peroxyde organique) Favorise l'inflammation des matières combustibles Peut exploser en mélange avec des matières combustibles
Explosif	R1 R2 R3 R4 R5 R6 R16 R19 R44 R102(3)	Explosif à l'état sec (*) Risque d'explosion par le choc, la friction, le feu ou d'autres sources d'ignition Grand risque d'explosion par le choc, la friction, le feu ou d'autres sources d'ignition Forme des composés métalliques très sensibles. (*) Danger d'explosion sous l'action de la chaleur. (*) Danger d'explosion en contact ou sans contact avec l'air. (*) Peut exploser en mélange avec des substances comburantes. (*) Peut former des peroxydes explosifs. (*) Risque d'explosion si chauffé en ambiance combinée. (*) Substance pyrotechnique
Inflammable	R10 R18	Inflammable Lors de l'utilisation, formation possible de mélange vapeur / air inflammable / explosif. (*)
Très inflammable	R10 R11 R17 R30	Inflammable (dans des conditions particulières de pression et température) (1) Facilement inflammable Spontanément inflammable à l'air Peut devenir facilement inflammable pendant l'utilisation. (*)
Extrêmement inflammable	R10 R11 R12	Inflammable (T >Téb) (2) Facilement inflammable (T >Téb) (2) extrêmement inflammable
Réagit violemment avec l'eau	R14 R15 R29 R14/15 R15/29	Réagit violemment au contact de l'eau Au contact de l'eau dégage des gaz extrêmement inflammables Au contact de l'eau dégage des gaz toxiques Réagit violemment avec l'eau, dégageant des gaz extrêmement inflammables Au contact de l'eau dégage des gaz toxiques, extrêmement inflammables
Réagit violemment avec d'autres substances	R103(3) R104(3) R105(3) R106(3)	Au contact d'autres substances, dégage des gaz toxiques (*) Au contact d'autres substances, dégage des gaz très toxiques (*) Au contact d'autres substances, dégage des gaz inflammables (*) Au contact d'autres substances, peut exploser
Dangereux pour l'environnement (environnement aquatique)	R 50 R51	très toxique pour les organismes aquatiques : (96h CL50 (poisson) ≤ 1 mg/l ou 48h CE50 (daphné) ≤ 1 mg/l ou 72 h CL50 (algue) ≤ 1 mg/l) Toxique pour les organismes aquatiques (96h CL50 (poisson): 1mg/l < CL50 ≤ 10 mg/l ou 48h CE50 (daphné): 1mg/l < CE50 ≤ 10 mg/l ou 72 h CL50 (algues): 1 mg/l < CI50 ≤ 10 mg/l).
Dangereux pour l'environnement (non aquatique)	R54 R55 R56 R57 R59	Toxique pour la flore. (*) Toxique pour la faune. (*) Toxique pour les organismes du sol. (*) Toxique pour les abeilles. (*) Dangereux pour la couche d'ozone. (*)

Annexe 2

Tableau1 : Identifier par équipement les évènements critiques ou ERC [23].

N	Type d'équipement	Définition
Unité de stockage		
EQ1	Stockage en vrac solide	Stockage de substances sous forme solide (poudres ou billes). Les substances y sont stockées en vrac ou en siols (les stockages en sous forme de sacs ne font pas partie de cette catégorie)
EQ2	Stockage de solides en petits contenants	Stockage de solides sous forme de petits contenants ou réservoirs de capacité inférieure à $\cong 1 \text{ m}^3$.
EQ3	Stockage de liquides en petits contenants	Stockage de liquides sous forme de petits contenants ou réservoirs de capacité inférieure à $\cong 1 \text{ m}^3$.
EQ4	Stockage sous pression	Réservoirs de stockage à température ambiante et à une pression supérieure à 1 bar. La pression est celle du fluide à saturation ou peut être celle d'un gaz inerte. La substance peut être un gaz liquifié sous pression (deux phases en équilibre) ou un gaz sous pression (une phase gaz).
EQ5	Stockage à pression supérieure à la pression de saturation	Réservoirs de stockage fonctionnant à température ambiante à une pression supérieure à 1 bar. La pression est exercée par un gaz inerte par exemple et maintient le stockage à une pression supérieure à sa pression de saturation. Le stockage contient une substance en phase liquide.
EQ6	Stockage atmosphérique	Stockage à pression et température ambiante, contenant un liquide. La substance peut être un gaz liquifié sous pression (deux phases en équilibre) ou un gaz sous pression (une phase gaz).
EQ7	Stockage cryogénique	Stockage fonctionnant à pression atmosphérique (ou moins) et basse température La substance est un gaz liquéfié réfrigéré.
EQ8	Equipement de transport sous pression	Equipement de transport à température ambiante et pression supérieure à 1 bar (pression exercé par la substance elle-même).
EQ9	Equipement de transport atmosphérique	Equipement de transport à pression et température ambiante comportant une substance liquide.
EQ10	Canalisation	Canalisations entre deux unités, les canalisations dans l'unité sont liées aux divers équipements
EQ11	Stockage intermédiaire dans le procédé	Equipement de stockage dans l'unité (peut être stockage sous pression, cryogénique..)
EQ12	Equipement avec réactions chimiques	Equipement avec réaction chimique, par exemple réacteur.
EQ13	Equipement séparation physique ou chimique	Equipement séparation physique ou chimique (par exemple colonne de distillation, filtres, sècheurs..).
EQ14	Equipement de production et fourniture d'énergie	Equipement de production et fourniture d'énergie (par exemple fours, chaudières..)
EQ15	Equipement de conditionnement	Equipement dédiés au packaging des substances (exclut les packages eux-mêmes)
EQ16	Autres équipements	Autres équipements (pompes..)

Annexe 3

Tableau 3 : Les niveaux de contrôle du risque de ces moyens de protection/prévention.

Domaine	Moyens de contrôle de la cause	Niveau de confiance (NC)		
		Aucune redondance	Redondance	Redondances ou plus
Pression	Soupape de sécurité	1	2	2
	Vanne de sécurité	1	2	2
	Disque de rupture	2		
	Event de respiration (stockage atmosphérique)	2	3	3
	Dispositif d'extraction d'air	1	2	2
Capteur	Capteur gaz en zone confinée	0	1	2
	Capteur gaz en zone non confinée	0	1	2
Transmetteur	Transmetteur paramètre physique (analogique)	1	2	2
	Transmetteur paramètre physique (microprocesseur)	0	1	2
Relais	Relais classique	1	2	
	Relais auto contrôlé	2 à 3		
Automate	Automate programmable industriel de sécurité (suivant architecture)	1 à 3		
	Automate programmable industriel	0		
Dispositif de sécurité	Dispositif arrête-flammes	1		
	Disposition de sécurité intrinsèque	4		
	Bouton d'arrêt d'urgence	1	2	2
Dispositif de protection	Mur coupe-feu	2		
	Mur de protection contre surpression	2		
Rétention	Cuvette de rétention (sans tenir compte des procédures d'entretien)	2		
	Avec maintenance	4		
Prévention du risque d'ignition	Zone ATEX	1		
	Protection foudre	1		
	Permis de feu	1		
Barrière organisationnelle	Action d'un opérateur sous fort stress avec formation adaptée	0.5		
	Action d'un opérateur suite à une alarme avec procédure, stress faible, événement connu et 15 min pour répondre	1		
	Action d'un opérateur suite à une alarme avec procédure, stress faible, événement connu et 24h pour répondre	3		

Annexe 4

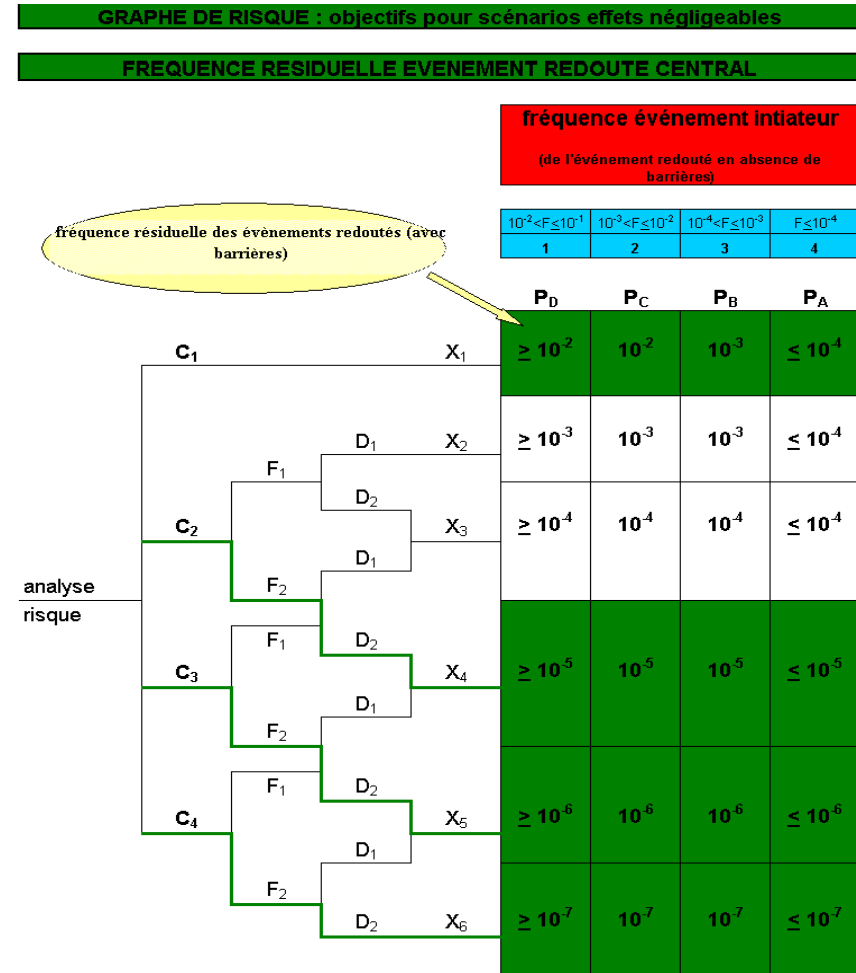
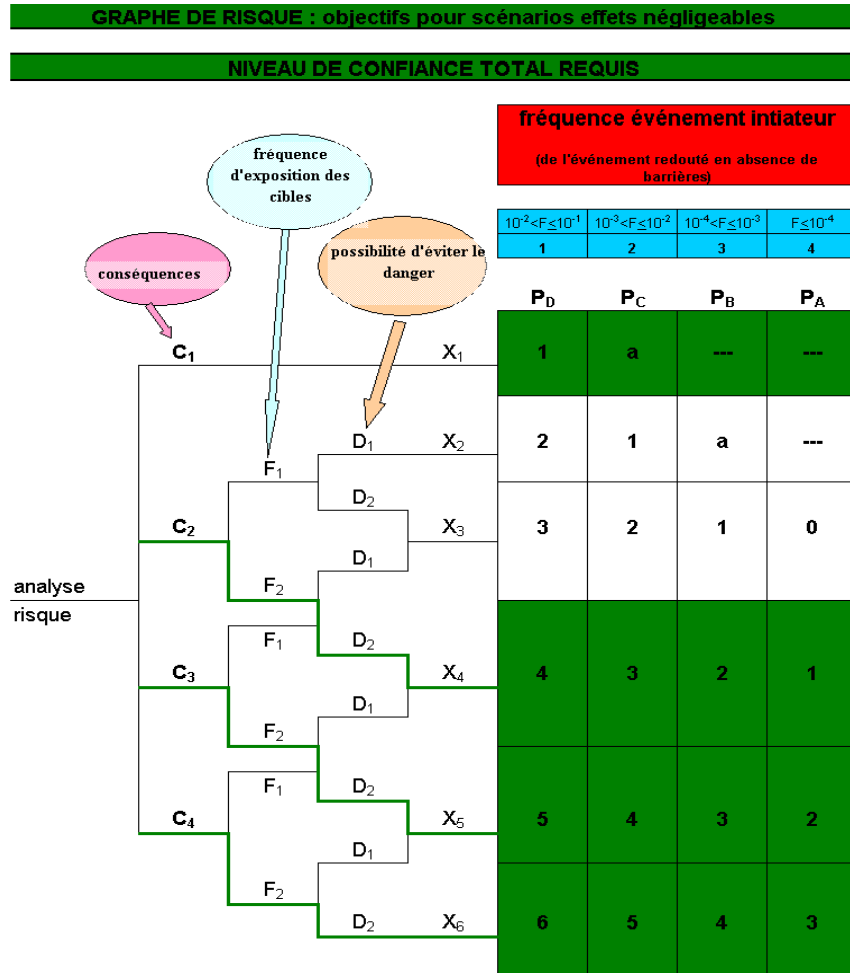
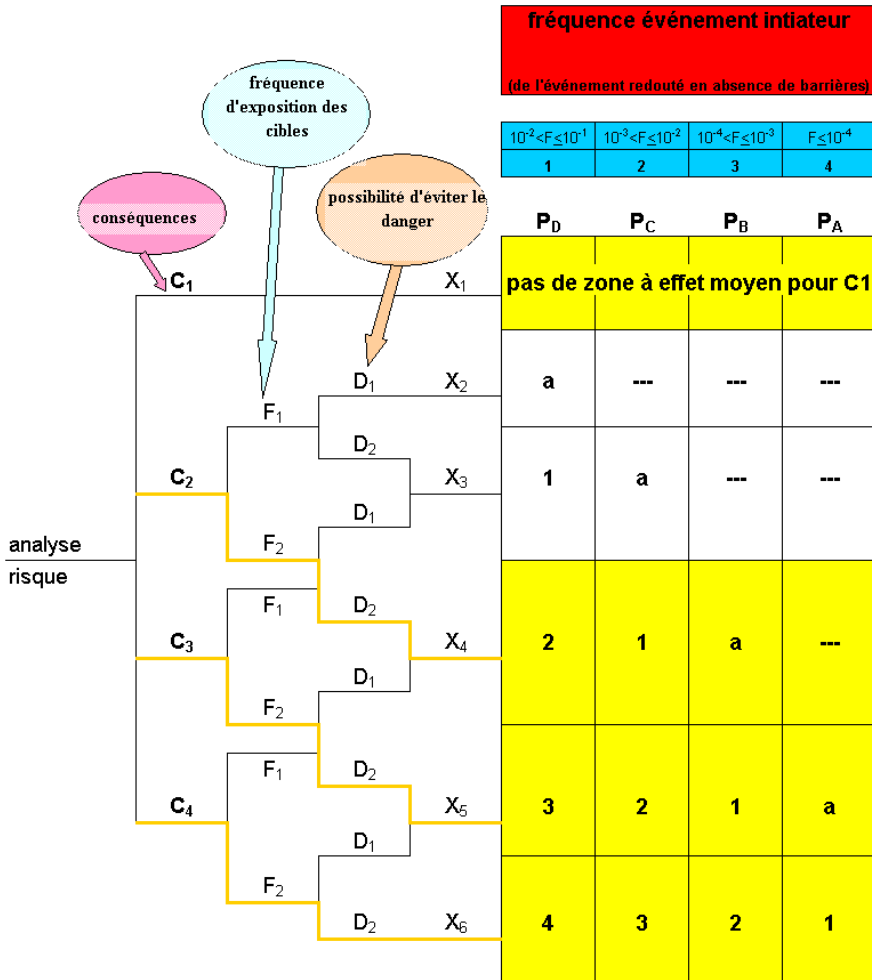


Figure 1 : graphe de risques pour atteindre niveau des zones à effet négligeable.

GRAPHE DE RISQUE : objectifs pour scénarios effets moyens

NIVEAU DE CONFIANCE TOTAL REQUIS



GRAPHE DE RISQUE : objectifs pour scénarios effets moyens

FREQUENCE RESIDUELLE EVENEMENT REDOUTE CENTRAL

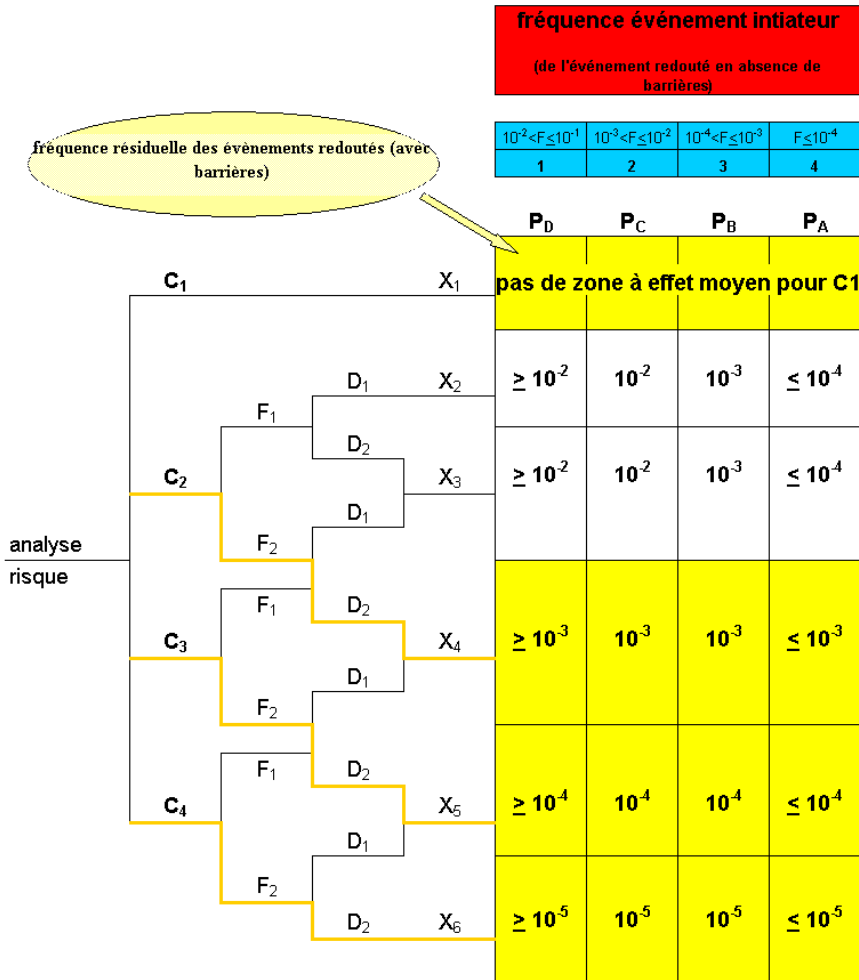


Figure 2: graphe de risque pour atteindre le niveau des effets moyens.

Références Bibliographique

Références bibliographie

- [1] : Sécurité des systèmes analyse des risques, (ENSPM formation industriel IFP Training (2005).
- [2] : F. MECHEHOU, « risque incendie » rapport de fin de formation (IAP) (RA1K), 2017.
- [3]:B. HEINEMANN, [LEES, 1996] Loss Prevention in the Process Industries, [LEES, 1996].
- [4] : Mémento du maire et des élus locaux .5^{ème} édition .RT1 risque industriel. Adresse URL : <http://www.mementodumaire.net/risques-technologiques/rt-1-risque-industriel/>.
- [5] :« L'analyse des risques ». Éditeur responsable : ministère fédéral de l'emploi et du travail. Adresse URL : www.espace.cfwb.be/.../analyse_risques.
- [6]:M. DESINDE, « Automatique-productique », thèse de doctorat,Université Joseph Fourier Grenoble 1, Décembre 2006.
- [7] : Travaux dans les espaces confinés [**Document SONATRACH**]
- [8] : Inventaires des risques encourus lors les travaux [**Document SONATRACH**].
- [9] : R. AERON, « Recommandations pour les études de l'industrie aérospatiale », Guide des méthodes courantes d'analyse de la sécurité d'un système missile ou spatial. Bureau de Normalisation de l'Aéronautique et de l'Espace (BNAE), (Novembre 1986).
- [10] : **INERIS-DRA-006.1999** MOUILLEAU, leguide « des méthodes d'évaluations des effets d'une explosion de gaz à l'aire libre » (1999).
- [11] : La base ARIA, « retour d'expérience sur accidents technologique, collecter, analyser et informé ».
- [12] : **INERIS-DRA-2006-P46055-CL47569 B.DEBRY**, « Méthode d'analyse des risques générés par une installation industrielle » (2006).
- [13] : Information et documents fournis par le personnel du département de sécurité complexe de liquéfaction du gaz naturel SONATRACH SKIKDA.
- [14] : Plan de prévention **SONATRACH** révision 1, 2011
- [15] : Etude de danger **SONATRACH** aval révision 2, 2012
- [16] : « Evaluation des performances des barrières techniques des préventions et de protection pour réduire les risques majeurs » résumés, DRA. 2002, INERIS.

[17] : Information et documents fournis par le personnel du département de sécurité complexe GNL/1k.

[18] : Séminaire sur les échangeurs principaux GNL Du 3 au 7 Décembre 2017.

[19] : L'article 6 du décret n° 84-105 du 12 mai 1984.

[20] : Journal officiel algérien, **Décret n°84-385** du 22 décembre 1984.

[21] : Etude de danger de saonatrach nouveau train GNL 2k Skikda.

[22] : Rapport_BCRD_2004_ARAMIS_public.

[23] : V. DE DIANOUS, A.V., F. PRATS, N. RODRIGUES, D. HOURTOLOU, ARAMIS : « développement d'une méthode intégrée d'analyse des risques pour la prévention des accidents majeurs ». 2004, INERIS.p.106.

[24] : O. SALVI, oméga 6 éléments importants pour la sécurité (EIPS) « informalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs », (DRA-35).2003, INERIS-DRA : France.

[25] : S. CHAUMETTE, « analyse des risques et prévention des accidents majeurs » DRA 34, in DRA, 2004 INERIS.

[26] : F. FAGES, « étude de danger : analyser les risques in responsable environnement », technique de l'ingénieur, 2015,

[27] : V. DE DIANOUS, C.ADJADJ, programme EAT-DRA-34- opération j : « intégration de la dimension probabiliste dans l'analyse des risques »,partie 2 : données quantifiées in DRA. 2005, INERIS.

[28] : C. ANOUSONE, « méthodes de modélisation des explosions de gaz ». Technique de l'ingénieur- risque explosion-, 2013, base documentaires : TIB157DUO (ref. article : 5068).

[29] : Y. HOUILLEUA., « guide des méthodes d'évaluation des effets d'une explosion de gaz a l'air libre », DRA, editor. 1999, INERIS.

[30] : C. DEVOLSALLE, A. PIPART, Report presenting the final version of the «methodology for the identification of reference accident Scenarios».2004, ARAMIS, project, p59 page + 15 annex.

[31]: F.BOUFJI et D. HAMEZROUI, « Amélioration du taux de conversion au niveau de l'unité de production de polyéthylène », mémoire de l'ingénieur, département de génie des procédés, promotion 2002.

[32] : Document INRIS, rapport final BCRD ARAMIS PUBLIC 2004,