



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'Hamed Bougara- Boumerdes



Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département : Génie des procédés industriels

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master
Spécialité : Hygiène et Sécurité Industriel

Thème :

Analyse des risques associés au dépotage de navire gazier

Cas du Centre emplisseur NAFTAL-Zone Industriel Bejaia

Réalisé par : Kourdache Saddek

Promoteur : Mr. Benmoukhtar Amine

Houassine Massinissa

Encadreur : Mr. Boughani Mourad

Soutenu publiquement le / /2018

Membres du jury :

Nom & Prénom	Grade	Qualité
		Président
		Examineur
		Promoteur

Année universitaire : 2017-2018

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au sein du CE B grâce à la contribution de nombreuses personnes de son personnel à qui nous tenons à adresser nos remerciements, notamment à Mr. BOUGHANI MOURAD, Mr. KHELFI LYES, Mr. TALBI NOUREDINE et a toute l'équipe HSE.

Nous remercions particulièrement à Monsieur BENMOKHTAR AMINE, Enseignants à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, d'avoir accepté de diriger ce travail, et ses encouragements inconditionnés durant tout ce travail.

Nous présentons nos vifs remerciements aux membres du jury de soutenance de ce mémoire, et l'ensemble des enseignants de la faculté des ingénieurs.

Enfin, nous remercions toutes nos familles, ainsi que toutes les personnes ayant contribué à la réalisation de ce travail.

Nous remercions tous nos collègues de groupe MHSI16

Merci beaucoup à tous.

Je tiens à remercier particulièrement ma mère qui m'encourage chaque jours et qui a attendu ce jour depuis ma naissance, et mon frère K.Brahim et tous mes cousins qui sont aussi à la place des frères et sœurs, et mon oncle K.Omar qui ma beaucoup aidé durant toute ma carrière, et je remercier tous mes amis, particulièrement mon binôme H.Massinissa

A la mémoire de mon père

K.Saddek

Que ce travail témoigne de mon respect

A mes parents en signe de reconnaissance pour m'avoir donné la vie et surtout la joie de vivre leurs conseils et bénédictions qui n'ont jamais fait défaut tout au long de mon éducation.

Pour m'avoir protégée et encouragée durant toutes ces années, vous étiez toujours présents quand j'avais besoin de vous, je n'aurais pu achever ce travail sans votre générosité et votre affection. Recevez, Papa, Maman à travers ce travail, toute ma gratitude et mes profonds sentiments.

Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A mes frères et mes sœurs qui ont toujours été là pour moi, qui m'ont toujours soutenue et ont su me redonner le sourire.

Mes tantes, oncles, cousines, cousins

Toute la famille Houassine

A mon binôme Saddek

Mais aussi à toutes mes amies toute la promotion MHSI-16, leur générosité et leur soutien m'obligent de leur témoigner mon profond respect et ma loyale considération.

A Tous ceux qui me portent dans leur cœur

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES.....	I
LISTE DES TABLEAUX.....	II
LISTE DES ABREVIATIONS.....	III
RESUME.....	1
INTRODUCTION.....	2
Chapitre 01 : Mise en contexte, problématique et méthodologie	5
1.1 Accidentologie (BARPI et ARIA)	6
1.1.1 Incendie dans un navire	7
1.1.2 Rupture d'un pipeline d'hydrocarbures.....	7
1.1.3 Explosion de pétroliers	8
1.2 Présentation de Naftal	9
1.2.1 Établissement d'accueil	9
1.2.2 Présentation de District GPL Bejaia.....	10
1.2.3 Situation géographique	10
1.2.4 Présentation de l'organigramme de NAFTAL.....	10
1.2.5 Description de mode opératoire du centre emplisseur.....	13
1.2.5.1 Capacité de stockage	13
1.2.5.2 Stockage butane	13
1.2.5.3 Stockage propane	13
1.2.5.4 Station de pompage GPL.....	13
1.2.5.5 Station d'air comprimé	13
1.2.5.6 Station Anti-incendie	13
1.3 Dispositions générales des navires (bateau-citerne)	14
1.3.1 Déchargement	16
1.3.2 Description d'un bras de chargement	16
1.3.2.1 Système de déchargement et équipements	17
1.4 Présentation du pipe GPL Ø6" du CE 061.....	18
1.4.1 Tracé de la canalisation.....	18
1.4.2 Caractéristiques du pipe GPL.....	19
1.4.3. Épreuve sur site.....	19

1.4.3.1 Réception du produit	19
1.4.3.2 Protection cathodique du pipe GPL 6"	20
1.5 Stockage	20
1.5.1 Sphères	20
1.5.2 Cigares.....	22
1.5.3 Hall d’emplissage	23
1.6 Équipements principaux (Principales caractéristiques)	23
1.6.1 Sécurité des équipements.....	25
1.6.1.1 Sphères.....	25
1.6.1.2 Soupapes de ligne.....	25
1.6.1.3 Vannes différentielles.....	25
1.6.1.4 Réseau anti-incendie.....	25
1.6.1.5 Refroidissement des sphères.....	26
1.6.1.6 Isolement des équipements, arrêt d’urgence.....	26
1.6.2 Sécurité du centre.....	26
1.6.2.1 Matériel de sécurité	26
1.6.2.2 Circuit d’alerte.....	27
1.6.2.3 Électricité	27
1.7 Origine et propriété GPL.....	28
1.7.1 Origine.....	28
1.7.2 Propriété et caractéristiques du GPL	28.
1.8 Cadre réglementaire et normatif.....	30
1.8.1 Réglementation Algérienne.....	30
1.8.2 Réglementation Européennes.....	31
1.8.3 Normes internationales.....	32
1.9 Problématique.....	32
1.10 Objectifs de l’étude	33
1.11 Méthodologie.....	33
Chapitre 2 : Outils et méthodes d’analyses	35
2.1 Méthode APR.....	36
2.1.1 Présentation de la démarche.....	36.
2.1.2 Grilles des cotations.....	38
2.1.3 Principe de l’APR.....	39

2.1.4	Domaine d'application.....	40
2.2	Arbre de défaillance (AdD)	41
2.2.1	Historique et domaine d'application.....	41
2.2.2	Principe.....	41
2.2.3	Définition de l'évènement redouté.....	43
2.2.4	Élaboration de l'arbre.....	43
2.2.5	Limites et avantages.....	45
2.3	Méthode HAZOP.....	46
2.3.1	Principe général.....	46
2.3.2	Définition de la phase préparatoire.....	49
2.3.3	Limites et avantages.....	51
2.4	Méthode SADT.....	52
2.4.1	Origine de la méthode.....	52
2.4.2	Objectifs de la méthode.....	53
2.4.3	Modélisation systémique.....	53
2.4.4	Avantages et Inconvénients de la méthode.....	54
2.4.5	Représentation des fonctions.....	54
Chapitre 3 : Application des méthodes d'analyse des risques.....		56
3.1	Décomposition fonctionnelle (équipement et composants) SADT.....	57
3.2	Analyse préliminaire des risques (APR)	60
3.2.1	Déploiement de l'APR	62
3.3	Arbre de d défaillance AdD.....	64
3.3.1	L'interprétation de l'AdD.....	65
3.4	Méthode HAZOP.....	66
3.4.1	Schématisation de bras de déchargement.....	66
3.4.2	Résultat de la HAZOP.....	66
3.4.3	Interprétation des résultats.....	67
Chapitre 04 : Évaluation des effets, et action de maîtrise.....		69
4.1	Modélisation des effets et simulation.....	70
4.1.1	Sélection du phénomène dangereux.....	70
4.1.2	Rappel théorique du phénomène « BLEVE »	70
4.1.3	Description du BLEVE.....	71
4.1.4	Types de BLEVE.....	72

4.2 Modélisation des effets d'explosion.....	74
4.2.1 Application sur le logiciel PHAST.....	75
4.2.2 Résultats obtenus à l'aide du logiciel PHAST sur les réservoirs de GPL (navire) ...	76
4.2.3 Interprétation des résultats du logiciel PHAST	78
4.3 Théorie de la réduction des risques.....	78
Conclusion	83
Références bibliographiques.....	86
ANNEXES.....	88

Liste des figures

1-1	Organigramme de CE.....	11
1-2	Plan de masse de CE.....	12
1-3	Conception général d'un navire gazier.....	15
1-4	Système de déchargement	17
1-5	Installation d'une sphère de stockage.....	21
1-6	Installation d'un cigare de stockage	22
1-7	Processus méthodologique de l'étude.....	34
2-1	Démarche de l'Add.....	44
2-2	Différentes phases d'une étude HAZOP.....	48
2-3	Représentation graphique de la méthode SADT.....	53
2-4	Représentation des fonctions.....	55
3-1	Sous-systèmes fonctionnels	58
3-2	Sous –systèmes fonctionnels de l'opération de dépotage	59
3-3	Deux zones étudiées	60
3-4	Arbre de défaillance d'évènement non souhaité (fuite)	65
3-5	Schéma de nœud utilisé dans la méthode HAZOP.....	66
4-1	Réservoir rempli un gaz liquéfié avec un ciel gazeux sous pression	72
4-2	Différentes ondes de pression.....	72
4-3	Mécanisme de surchauffe d'une sphère de stockage.....	73
4-4	Conséquence de la combustion de mélange gaz/air avec rayonnement intense.....	74
4-5	Distance des effets de surpression d'un BLEVE sur le navire.....	77
4-6	Différents niveaux de surpression selon PHAST.....	77
4-7	Courbe variation de la surpression en fonction de la distance.....	78
4-8	Arbre de défaillance d'évènement non souhaité (fuite de GPL) après la mise en place des moyens de prévention	81

Liste des tableaux

1-1	Composition moyenne du GPL utilisé dans le CE B.....	30
2-1	Tableau type APR	36
2-2	Grille de cotation en gravité (INERIS)	39
2-3	Principaux mots guides et signification générale.....	51
3-1	Composition fonctionnelle du dépotage et le stockage	57
3-2	Grille de gravité.....	61
3-3	Grille de fréquence.....	61
3-4	Criticité, et le critère de décision.....	62
3-5	Nombre de risques avant la mise en place de mesures de sécurité.....	62
3-6	Nombres de risques inacceptables.....	62
3-7	Nombres de risques après la mise en place de mesures de sécurité.....	63
3-8	Résultats des méthodes utilisées	67
4-1	Suppressions en fonction des distances.....	76

Liste des abréviations

- ARIA : Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
- AdD : Arbre de défaillance
- APR : Analyse Préliminaire des risques
- BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (Explosion de Vapeur en Expansion par Ebullition d'un Liquide)
- CE B : Centre emplisseur de Bejaia
- ED : Élément dangereux
- ERC : Evénement redouté centrale
- EDD : Étude De Danger
- ENS : Evénement Non Souhaité
- GPL : Gaz pétrole liquifier
- HAZOP : Hazard and Operability study (Étude de danger et d'opérabilité)
- ICPE : Installation Classé pour la Protection de l'Environnement
- INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité
- ISO : International Organization for Standardization (Organisation Internationale de Normalisation)
- PHAST : Process Hazard Analysis software tool (Outil logiciel d'analyse des dangers des procédés)
- SADT : Structured Analysis and Design Technic (Analyse Structurée et Technique de Conception)
- SD : Situation Dangereuse
- SS : Sous Système
- TNT : Tri Nitro Toluène
- UVCE : Unconfined Vapor Cloud Explosion (Explosion de Nuages de Vapeur non Confinée)
- PhD : Phénomène Dangereux
- ESP : Equipements Sous Pression
- ICI : Imperial Chemical Industries (Industries chimiques Impérial)

ملخص

الهدف من هذا العمل هو التمكن من المخاطر الرئيسية على مستوى رصيف NAFTAL Bejaia Filling Center على عملية تفريغ غاز، وهذا الإتقان يمثل الغرض من عملية إدارة المخاطر الصناعية التي ستسمح للشركات بالحفاظ على حياتها. حماية الملكية والبيئة مع ضمان استدامتها لأن هذه الإدارة يمكن أن تكون مصدرًا للربح والقدرة التنافسية. هذه الرسالة مقسمة إلى قسمين رئيسيين. أولاً، يقدم عرضاً نظرياً للسياق العام للمشكلة المتعلقة بفهم عملية إدارة المخاطر، بما في ذلك دراسة عملية إدارة المخاطر. يصف حالة اللعب في (CE B). في الموضوع الثاني، يهدف هذا المشروع إلى السيطرة على المخاطر المرتبطة بالمعدات وتنفيذ نهج الرقابة وتطبيق أساليب تحليل وتقييم المخاطر الرئيسية: (HAZOP، ADD، APR)، وتقييم آثار الخطورة ظاهرة BLEVE، موجودة أثناء عملية التفريغ، وبعد ذلك لإتقانها من خلال SADT تركيب وسائل وقياسات الوقاية والحماية.

الكلمات المفتاحية: الإتقان، المخاطر الرئيسية، تحليل المخاطر، تقييم التأثيرات، التقديرات، BLEVE

Résumé

L'objectif de ce travail est la maîtrise des risques majeurs au niveau de quai du Centre emplisseur NAFTAL Bejaia sur l'opération de dépotage du GPL, cette maîtrise représente la finalité du processus de gestion des risques industriels qui permettra aux entreprises de préserver la vie humaine, de protéger les biens et l'environnement tout en assurant leurs pérennités car cette gestion peut être une source de profit et de compétitivité.

Le présent mémoire est composé en deux grandes parties, il s'agit dans un premier lieu, de dresser un rappel théorique du contexte général de la problématique liée à la compréhension de la démarche de gestion des risques, y compris l'étude de l'existant qui décrit l'état des lieux au niveau du (CE B). Dans un deuxième lieu, ce projet vise à la maîtrise des risques associés aux équipements et la mise en place d'une démarche de contrôle et l'application des méthodes d'analyses et d'évaluation des risques majeurs : (APR, AdD et la HAZOP), à l'aide de la décomposition SADT, évaluation des effets de phénomène dangereux BLEVE, présent lors l'opération de dépotage, et par la suite le maîtriser par la mise en place de moyens et de mesures de préventions et de protections.

Mots clés : Maîtrise, Risque majeur, Analyse des risques, Évaluation des effets, estimations, BLEVE.

ABSTRACT

The objective of this work is the mastery of the major risks at the quay level of the NAFTAL Bejaia Filling Center on the LPG removal operation; this mastery represents the purpose of the industrial risk management process that will allow companies to preserve their life. The protection of property and the environment while ensuring their sustainability because this management can be a source of profit and competitiveness.

This thesis is divided into two main parts. Firstly, it provides a theoretical overview of the general context of the problematic related to the understanding of the risk management process, including the study of the risk management process. That describes the state of play at (CE B). In a second place, this project aims to control the risks associated with equipment and the implementation of a control approach and the application of methods of analysis and assessment of major risks: (APR, AdD, HAZOP), evaluation of the effects of dangerous phenomenon BLEVE, present during the unloading operation SADT, and subsequently to master it by the installation of means and measures of prevention and protection.

Key Words: Mastery, Major Risk, Risk Analysis, Effects Assessment, Estimates, BLEVE.

Liste des abréviations

- ARIA : Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
- AdD : Arbre de défaillance
- APR : Analyse Préliminaire des risques
- BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
- CE B : Centre emplisseur de Bejaia
- ED : Élément dangereux
- ERC : Evénement redouté centrale
- EDD : Étude De Danger
- ENS : Evénement Non Souhaité
- GPL : Gaz pétrole liquifier
- HAZOP : Hazard and Operability reviews
- ICPE : Installation Classé pour la Protection de l'Environnement
- INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité
- ISO : International Organization for Standardization
- PHAST : Process Hazard Analysis software tool
- SADT : Structured Analysis and Design Technic
- SD : Situation Dangereuse
- SS : Sous Système
- TNT : Tri Nitro Toluène
- UVCE : Unconfined Vapor Cloud Explosion
- PhD : Phénomène Dangereux
- ESP : Equipements Sous Pression
- ICI : Imperial Chirical Industries

Introduction Générale

Introduction

La sécurité industrielle est devenue une préoccupation mondiale, dans un monde de plus en plus dépendant de l'industrie. *Flixborough, Seveso, Bhopal et Schweizerhalle*: derrière ces noms et d'autres, autant de catastrophes industrielles qui ont conduit à dégager la notion d'accident majeur et à rechercher les moyens de prévenir ces accidents ou d'en limiter les conséquences s'ils devaient tout de même se produire car ces derniers engendrent des dégâts dévastateurs sur les biens, les personnes ou l'environnement.

Pour faire face à cela, les entreprises mettent en place une démarche de gestion des risques qui consiste à analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques d'une installation, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux produits et équipements utilisés, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation. .

Objectif de cette gestion est la maîtrise des risques inacceptables par la mise en place de moyens et de mesures, tant que technique qu'organisationnel afin de réduire leurs criticités à un niveau plus faible jugé raisonnable à atteindre.

Le retour d'expérience (REX) a démontré que les équipements sous pression posent de sérieux problèmes sécuritaires des installations industriels. L'Algérie ne fait pas exception à la règle, car la maîtrise des risques devient un volet incontournable.

L'industrie pétrolière et gazière se classe parmi les industries les plus dangereuses du fait qu'elle dispose d'installation à haut risque (installation classée) qui représentent un danger potentiel sur leurs terrains d'exploitation et de leur environnement, beaucoup d'études ont concernés plus les opérations de stockages, mais il n'existe pas assez d'études concernant **l'opération de dépotage** d'un navire gazier.

Donc la question qui se pose est : Sommes-nous suffisamment protégés contre les risques d'explosion? Et quelle est la démarche et les outils adéquats pour une meilleure maîtrise de risque au niveau de l'opération de dépotage d'un navire gazier ?

L'objectif rechercher à travers ce travail est l'amélioration des procédures de dépotage du gaz d'une part, et assurer la sécurité durant toute la période de dépotage du gaz d'autre part.

La méthodologie suivie, pour atteindre l'objectif général de cette étude, reprend les enchaînements du processus méthodologique de maîtrise des risques majeurs donné par la norme ISO 31000.

Le présent travail comporte quatre chapitres dans lesquels nous allons détailler le travail effectué pour maîtriser les risques majeurs au niveau de quai.

Le premier chapitre est essentiel pour le cadrage du projet. Il comportera la problématique posée ainsi que les objectifs tracés pour résoudre cette problématique et la méthodologie suivie pour atteindre les objectifs.

Le second chapitre traite la démarche conduite pour la maîtrise des risques majeurs, et à l'application de l'SADT, ainsi qu'il traite les outils adéquats pour cette maîtrise (APR, AdD, HAZOP). À cet effet, différentes bases de données ont été explorées telles que ARIA.

Le troisième chapitre est consacré à l'application des méthodes d'analyse à l'aide d'une décomposition fonctionnelle (SADT), et aux résultats relevés de celle-ci.

Tandis que le quatrième chapitre est consacré à l'évaluation des effets et aux actions de maîtrise pour réduire la probabilité des risques associés au dépotage d'un navire gazier.

Chapitre 01 : Mise en contexte, problématique et méthodologie

Chapitre 01 : Mise en contexte, problématique et méthodologie

Dans ce chapitre, nous allons mettre en contexte notre projet de fin d'étude en présentant la société NAFTAL district carburant de Bejaïa, l'historique et sa situation géographique, puis l'étude de cas qui consiste à définir l'activité de dépotage ainsi qu'à présenter quelques opérations concernant les activités de l'entreprise NAFTAL et même quelques notions de base sur le gaz GPL puisque c'est l'activité principale de cette entreprise qu'il s'agit de sa distribution, la réception ou le stockage de ce produit, et nous allons aussi citer quelques accidents vécus dans ce domaine lors du dépotage de gaz par rapport au référentiel de retour d'expérience (REX).

1.1 Accidentologie (BARPI et ARIA)

Les accidents G.P.L (gaz pétrolier liquéfié) concernant les opérations de chargement ou déchargement et le stockage sont présentés à partir des comptes rendus, et provenant de la base de données Analyse, Recherche et Information sur les Accidents (ARIA) du bureau d'analyse des risques et pollutions industrielles (BARPI) du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement Français, Direction de la Prévention des Pollution et des Risques (Service de l'Environnement Industriel).

L'analyse statistique des accidents survenus selon la base de données ARIA sur 247 événements dont la plupart proviennent du BARPI durant la période avant le 04 janvier 2016, a montré que la majorité des événements sont enregistrés sur **des équipements sous pression** causés par le dysfonctionnement de leurs équipements de sécurité, de régulation et de mesures et les phénomènes observés sont classés en quatre catégories :

- Fuite en phase gazeuse sans inflammation,
- Fuite en phase liquide (GPL) épandage du liquide sur le sol
- Incendie ou feu de torche,
- Explosion de gaz ou de vapeur UVCE
- Explosion de vapeur en expansion par ébullition d'un liquide (BLEVE)

Il est à noter que les deux premiers phénomènes peuvent être des événements précurseurs des trois derniers, qui sont les phénomènes majeurs, nous remarquerons que l'événement le plus redouté est la fuite, suivie d'un allumage du nuage formé ce qui donne dans la majorité

des cas à l'apparition d'effet de surpression ou de boule de feu , les deux phénomènes incendie et explosion se sont des phénomènes associés.

Dans ce qui suit nous allons décortiquer trois accidents pour montrer différents Phd dans les ESP. [8]

1.1.1 Incendie dans un navire

N° 47 - 05/04/1988 - ITALIE - 00 - VADO LIGURE

H50.20 - Transports maritimes et côtiers de fret

Dans un cargo apponté en attente de déchargement de son contenu de 50000 t de charbon, une opération de maintenance sur une vanne est autorisée par la hiérarchie en violation des consignes de sécurité.

L'utilisation d'un chalumeau conduit à une explosion du gaz émis par le charbon et à un incendie. L'étroitesse de l'appontement rend difficile les opérations d'intervention et de sauvetage des 7 blessés. Le feu est néanmoins circonscrit avant qu'il ne se propage à l'ensemble du navire.

1.1.2 Rupture d'un pipeline d'hydrocarbures

N° 47938 - 17/04/2016 - ITALIE - 00 - GÊNES (GENOVA)

H49.50 - Transports par conduites

La rupture d'un pipeline (DN 400) se produit lors du déchargement d'un pétrolier dans un port. Environ 500 m³ d'hydrocarbures se déversent dans le sol et dans le POLCEVERA. Les secours installent des barrages flottants à plusieurs endroits afin que la pollution n'atteigne pas la mer.

Cinq jours plus tard, les mauvaises conditions météorologiques entraînent la rupture de ces barrages. Une partie des hydrocarbures pollue la Méditerranée, sans dépasser le golf de Gênes. Dix navires se rendent sur place pour pomper les hydrocarbures. Le plan d'intervention franco-italo-monégasque est déclenché.

Un avion français effectue des reconnaissances et un navire de dépollution est envoyé sur place. Le plan d'urgence est levé le 25/04.

Plusieurs hypothèses sont émises dans la presse italienne pour tenter d'expliquer l'événement : vétusté du pipeline (présence de points avec des risques de rupture), glissement

de terrain... Néanmoins, des investigations complémentaires devront être menées pour déterminer avec précision les causes de l'accident. [8]

1.1.3 Explosion de pétroliers

N° 15497 - 26/05/1985 - ESPAGNE - 00 - ALGESIRAS

H50.20 - Transports maritimes et côtiers de fret

Deux pétroliers s'embrasent puis sombrent à la suite d'une explosion, lors d'un déchargement de naphta contenu dans l'un des deux dans la phase de dépotage, 21 personnes sont tuées, 12 sont portées disparues et 35 autres sont blessées.

Autour des épaves, un remorqueur arrose les nappes de carburants qui continuent de brûler.

D'autres navires s'écroulent de contenir un début de marée noire de 200 m de diamètre. Une importante accumulation de gaz dans les soutes d'un des pétroliers serait à l'origine de l'explosion.

D'après la base de données ARIA et le REX dans le domaine de sécurité industriel, en vue de l'élaboration du PFE, les accidents vécus dans les entreprises peuvent nous donner des expériences et des démarches préventives et même des éclaircissements pour éviter de tomber dans les mêmes cas.

Ce qui justifie le choix de l'organisation objet de cette étude dans le domaine HSI c'est les accidents majeurs faisant apparaître les Phd (incendies et explosions) dans les entreprises de stockage et de transfert et distribution de grandes quantités de gaz, comme élément dangereux.

Beaucoup de travaux ont été fait sur la phase de stockage du gaz dans des sphères ou des cigares ; une remarque a été fait sur le manque d'étude sur la phase de dépotage réside beaucoup de risques et c'est la phase la plus exposé aux accidents ce qui nous a motivé sur le choix du thème d'analyse des risques liées au dépotage de gazier (navire du gaz) dans l'entreprise Naftal.

1.2 Présentation de Naftal

Naftal est une entreprise algérienne, filiale à 100 % de Sonatrach, elle est chargée du stockage et de la distribution des produits pétroliers.

Naftal est spécialisée dans la conception, l'élaboration et la distribution de lubrifiants pour moteurs (deux-roues, automobiles et autres véhicules) ainsi que pour l'industrie.

1.2.1 Établissement d'accueil

Présentation de NAFTAL : Le nom de cette entreprise est composé de deux parties : NAFT qui veut dire pétrole en arabe et AL qui représente les deux premières lettres d'Algérie. La restructuration de SONATRACH en 1984 a donné naissance à plusieurs entreprises nationales qui sont :

- NAFTEC : Entreprise nationale des raffineries.
- ENIP : Entreprise Nationale des Industries plastiques.
- ENPC : Entreprise Nationale Pétrochimique.
- NAFTAL : Entreprise nationale de distribution et de commercialisation des produits pétroliers.

En 1985, une nouvelle restructuration et organisationnelle a donné naissance à l'UND (Unité Nationale de Distribution) NAFTAL qui regroupe les unités G.P.L et C.L.P.B.

Au début des années 2000, cette unité (UND) se répartie en deux branches bien distinctes :

- Branche G.P.L (Gaz de pétrole Liquéfié).
- Branche C.L.P.B (Carburants Lubrifiants Pneumatiques, Bitumes).

Fin de l'année 2003 une autre nouvelle restructuration s'est effectuée en donnant quatre branches qui sont :

- Branche C.L.P (Carburants Lubrifiants Pneumatiques).
- Branche G.P.L (Gaz de pétrole Liquéfié).
- Branche A.V.M (Aviation et Marine).
- Branche Bitumes.

NAFTAL est représentée dans les 48 wilayas du pays par District.

1.2.2 Présentation de District GPL Bejaia

Le District GPL de Bejaia se compose d'une Direction avec six départements, d'un centre emplisseur 061 situé à l'arrière port de Bejaia, deux-mini centres d'emplissage (101 Chorfa et 181 de Taher) et d'un dépôt relais 063 sis à Akbou.

1.2.3 Situation géographique

Le Centre emplisseur 061 a été créé en 1958, il est implanté dans la zone portuaire de Bejaia. Il occupe une superficie totale de 55.384 m² dont 10000 m² bâtie et 45.384 non bâtie.

Il est délimité par :

- La RN n° 09 et l'unité CEVITAL au nord (l'accès du centre).
- L'oued Seghir et SONATRACH au sud.
- La RN n° 09 allant vers Sétif – Jijel à l'est.
- Une impasse ICOTAL à l'ouest.

✓ Mission

Le centre emplisseur 061 de Bejaia a pour mission :

- L'approvisionnement, le stockage, le conditionnement et la distribution des produits GPL, afin de satisfaire les besoins des clients affectés à sa zone.
- Application des politiques et procédures de l'entreprise en matière de gestion, de maintenance et de sécurité.

1.2.4 Présentation de l'organigramme de NAFTAL

Le CE B est essentiellement organisé de trois services, et une cellule de sécurité, comme illustré dans l'organigramme sur la figure 1-1 suivante :

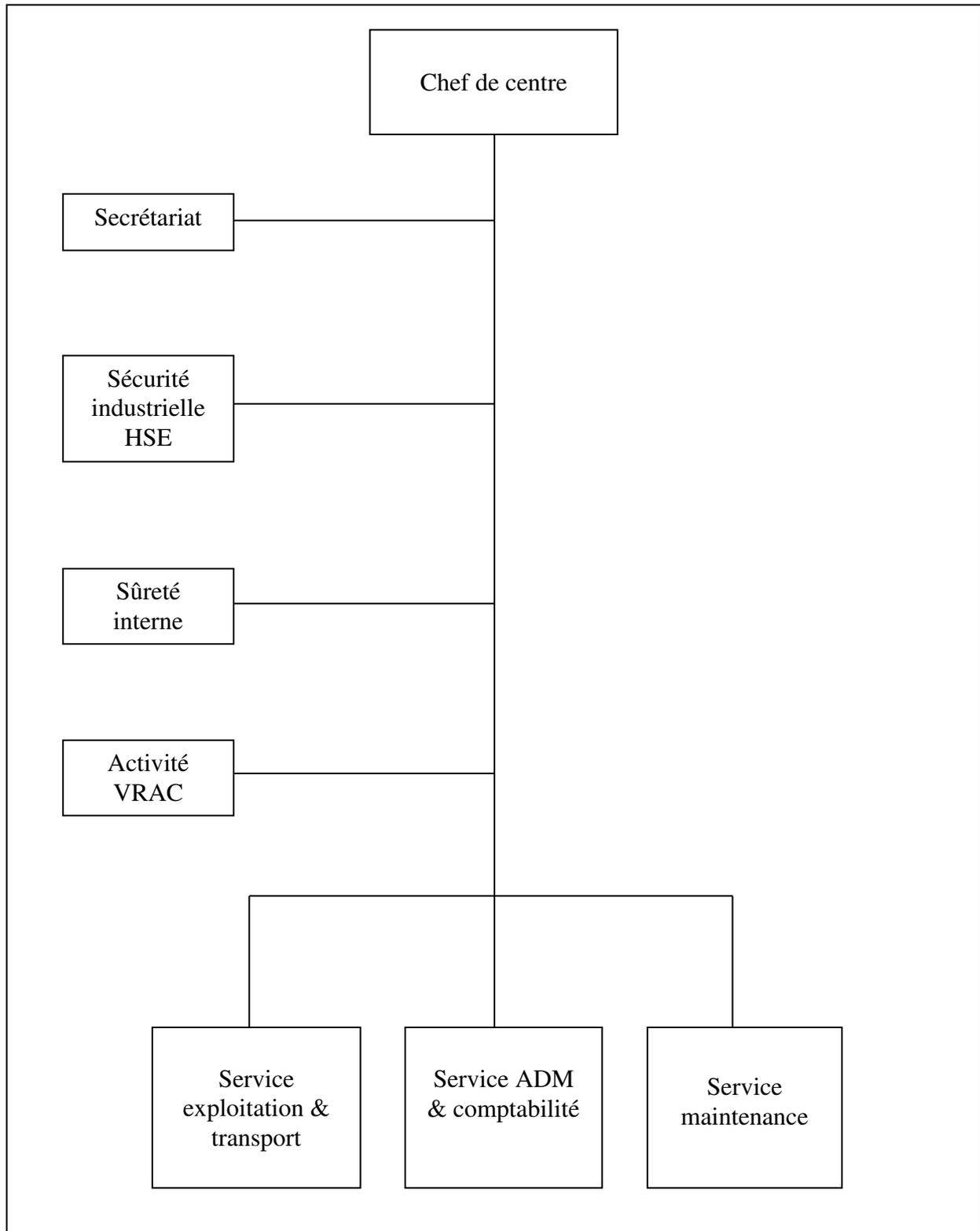


Figure 1-1 : Organigramme du CE B (source Naftal)

1.2.5 Description de mode opératoire du centre emplisseur

1.2.5.1 Capacité de stockage

- Butane : 3250 tonnes + 1500 tonnes.
- Propane : 275 tonnes + 320 tonnes.

1.2.5.2 Stockage butane

- 01 sphère de 1000 m³ (mis en service en 1971) SB1.
- 01 sphère de 1450 m³ (mis en service en 1978) SB2.
- 02 sphères de 2000 m³ (mis en service en 1986) SB3, SB4.
- 01 sphère de 3000 m³ (mis en service en 2005) SB5.

1.2.5.3 Stockage propane

- 02 cigares de 100 m³ (mis en service en 1971).
- 01 cigare de 150 m³ (mis en service en 1978).
- 01 cigare de 150 m³ (miss en service en 1986).
- Une batterie de huit cigares de 100 m³ chacun (mis en service en 2003).

1.2.5.4 Station de pompage GPL

- 03 pompes horizontales CEHA (butane).
- 02 pompes horizontales CEHA (propane).
- 02 compresseurs.

1.2.5.5 Station d'air comprimé

- 02 sécheurs d'air type *ATLAS COPCO*.
- 03 compresseurs *ATLAS COPCO* BT3E pression : 10 bars.
- 01 réservoir d'air comprimée *ATLAS COPCO* : 1000 l.
- 01 réservoir d'air comprimée *WELDED*: 1100 l.

1.2.5.6 Station Anti-incendie

- 02 Bassins de 1500m³.
- 02 Pompes jockey de 10 m³/h.
- 01 Électropompe 160 m³/h.
- 01 Électropompe 120 m³/h.

- 01 Motopompe 300 m³/h.
- 01 Motopompe 160 m³/h.
- 01 Pompe de recirculation.
- 20 Lances monitors.
- 08 Poteaux incendie.
- 09 Bouches incendies (Clarinettes).
- 06 RIA (Robinet d'Incendie Armé).

1.3 Dispositions générales des navires (bateau-citerne)

Les navires transportant du gaz liquéfié sont du type à un seul pont et leur structure est construite suivant le système longitudinal renforcé par des colonnes transversales.

De l'avant à l'arrière, on définit trois zones :

- La partie avant comprenant le peak avant, le deep-tank avant et les soutes à combustible avant.
- La tranche de cargaison, partie centrale du navire comprenant de 2 à 6 cuves isolées d'une part des parties avant et arrière et entre elles par des cofferdams, et d'autre part de la coque extérieure par une double coque avec double fond, espace servant au ballastage. Dans cette zone, on trouve aussi les installations utilisées pour la manutention de la cargaison, (tuyauteries, pompes) et parfois l'installation de re-liquéfaction.
- La partie arrière comprenant les soutes à combustible arrière, le compartiment des machines, le peak-arrière, les emménagements et la passerelle.

Sur ces navires, les capacités de ballastage sont importantes car il est impossible de mettre de l'eau de mer dans les citernes comme on le fait sur les pétroliers lors des voyages sur lest.

Ce fait se combinant avec la faible densité des produits transportés, a pour résultat de donner des grandes hauteurs de cuves, un tirant d'eau peu important et un grand franc-bord (partie émergée de la coque).

Il faut remarquer encore que cette disposition des ballasts et des doubles fonds permet d'avoir des grandes surfaces planes ce qui facilite le montage de l'isolation des citernes.

La figure 1-3 ci-dessous présente la conception générale d'un navire gazier [10] :

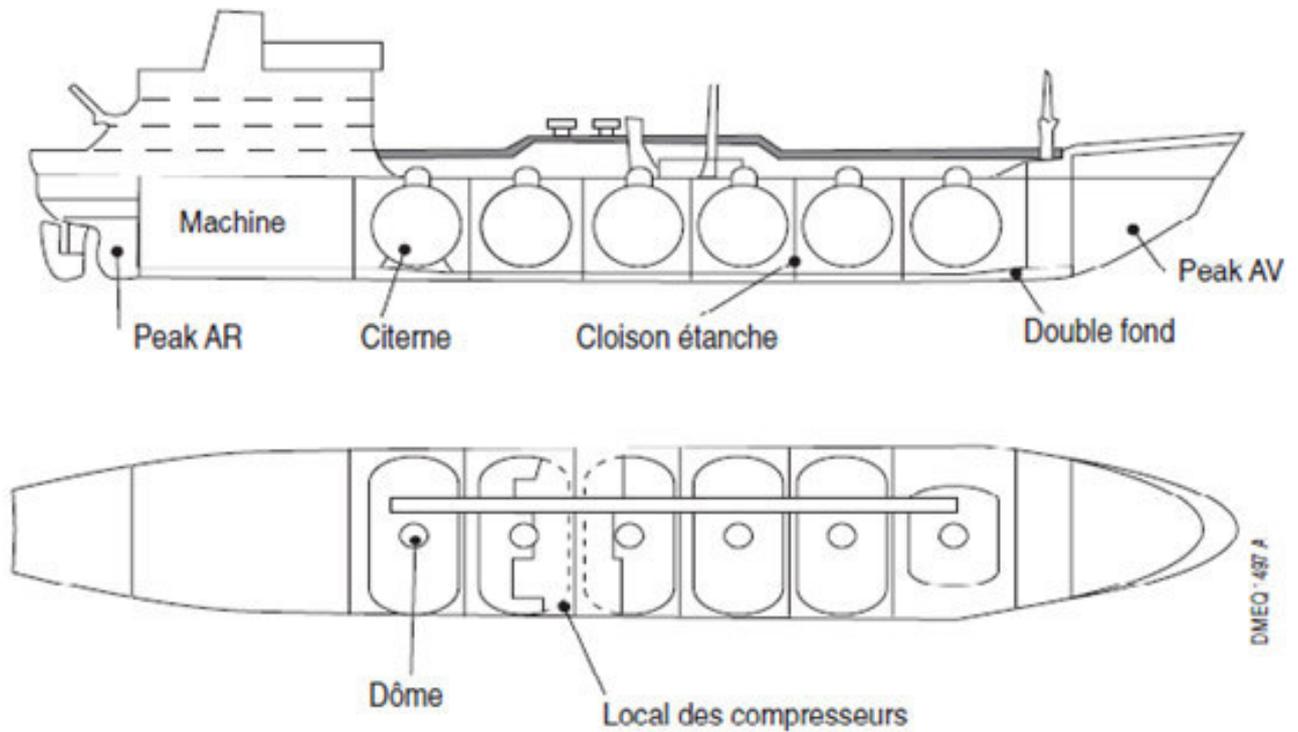


Figure 1-3 : Conception général d'un navire gazier (2005 ENSPM formation industriel-IFP training)

1.3.1 Déchargement

Lorsqu'un bateau-citerne arrive au terminal de déchargement, les pressions et les températures des citernes à cargaison doivent être conformes aux exigences du terminal.

Ceci contribuera à atteindre le débit de déchargement maximal.

Avant que ne débutent les opérations de déchargement, les procédures pré opérationnelles bateau-citerne/terre doivent être appliquées à l'instar de celles décrites pour la préparation de l'opération de chargement.

La méthode de déchargement du bateau-citerne dépendra du type de bateau-citerne, de la spécification de la cargaison et de l'installation de stockage du terminal. Trois méthodes générales peuvent être appliquées :

- Déchargement par pressurisation du volume de phase gazeuse.
- Déchargement avec ou sans pompes de surpression.
- Déchargement avec la pompe de surpression et le réchauffeur de cargaison.

Le déchargement de la cargaison s'effectue dans la plupart des cas en utilisant des moyens de pompage à bord du navire.

À la fin de l'opération de pompage, les tuyauteries doivent être vidangées par soufflage au moyen d'un compresseur situé à bord, ou par injection d'azote depuis les installations terre.

[5]

1.3.2 Description d'un bras de chargement

Les bras de chargement sont définis en fonction des critères suivants :

- Tonnage des navires.
- Variation des niveaux d'eau.
- Débit du produit à transférer.
- Nature et température du produit à transférer (pression, température, corrosivité).

Dans notre cas il s'agit d'un bras fixe.

1.3.2.1 Système de déchargement et équipements

Le système de déchargement (2005 ENSPM formation industriel- IFP training) est composé de trois parties :

- Bras de déchargement.
- Flexible.
- Pipe.

Les équipements qui forment le bras de déchargement sont :

- Vanne principal.
- Coupleur rapide manuel.
- Vanne boisseau sphérique.
- Bride.
- Collier de verrouillage.

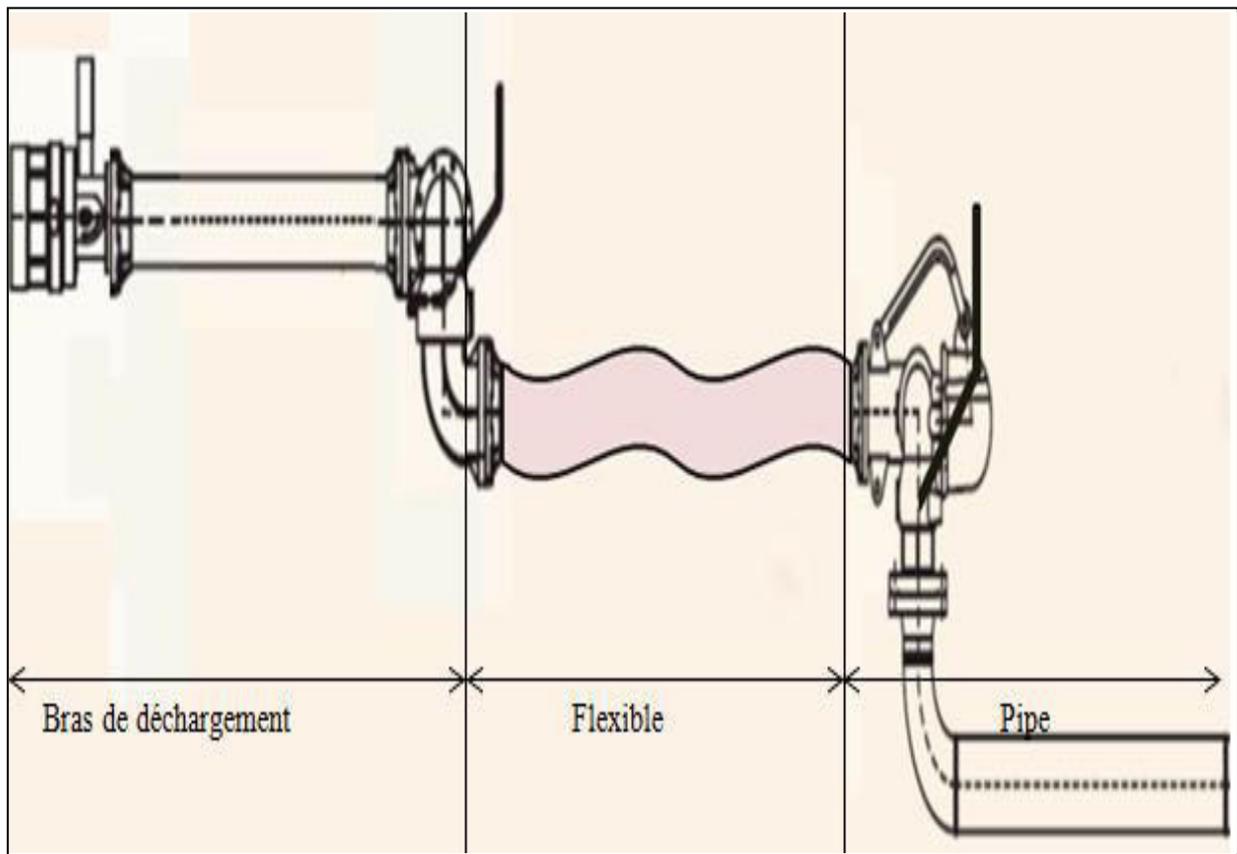


Figure 1-4 : Système de déchargement

1.4 Présentation du pipe GPL Ø6" du CE 061

Le pipe-line reliant la mer au centre emplisseur GPL destiné à satisfaire l'alimentation en produit GPL (Butane et Propane) est composé de deux parties : partie enterrée et partie aérienne.

1.4.1 Tracé de la canalisation

Départ

L'origine de la canalisation est le poste butanier implanté entre le nouveau front d'accostage et la jetée de fermeture.

Arrivée

L'arrivée est située au niveau du centre emplisseur.

✓ **Forme du réseau**

Réseau en simple antenne.

✓ **Poste divers**

Le réseau comprend dans son ensemble :

- Un raccordement par flexible (3 flexibles) au poste butanier équipé de robinet à boisseau sphérique.
- Une canalisation aérienne et enterrée de diamètre 6 pouces et de longueur **2700 M.**
- Deux chambres à vannes.
- Deux joints isolants.
- Un banc de comptage (Débitmètre massique) au centre emplisseur.
- Deux filtres à panier.
- Un clapet anti-retour.
- Deux robinets séparant les deux conduites (Propane et Butane) au niveau du centre.
- Deux soupapes de sécurité.
- Une installation pour l'inertage de la conduite (avec des bouteilles d'Azote).

1.4.2 Caractéristiques du pipe GPL

C'est un tube en acier, de nuance API-5L grade B, caractérisé par :

- Longueur : **2700ML**.
- Diamètre nominal : **6"**.
- Diamètre intérieur : **168.3mm**.
- Épaisseur : **7.11mm**.

Le tube (pipe) est protégé par un revêtement en polyéthylène.

La pression de service au départ est de :

- 08 Bars pour le Butane.
- 14 Bars pour le Propane.

À l'arrivée, elle atteindra :

- 02 à 04 Bars pour le Butane (à l'intérieur des sphères).
- 07 à 09 Bars pour le Propane (à l'intérieur des cigares).

1.4.3. Épreuve sur site

Avant la mise en service, la canalisation sera remplie d'eau et mise sous pression pour être soumise aux épreuves hydrauliques de résistance et d'étanchéité, dans le but de vérifier la fiabilité de la conduite.

- L'épreuve de résistance permet de tester la tenue mécanique de la canalisation.
- L'épreuve d'étanchéité permet de vérifier la conservation de la masse d'eau contenue dans le tronçon à tester.

1.4.3.1 Réception du produit

La réception du GPL se fait par des navires (BAROUDA, DJEMILA, BRIDES et PALEMIRA) qui accostent au niveau du port de Bejaia.

Le déchargement de ces navires se réalise par le biais d'un flexible lié directement au pipeline de réception du GPL.

1.4.3.2 Protection cathodique du pipe GPL 6"

Dans la partie enterrée, la protection cathodique du pipe est assurée par des anodes en magnésium réactives posées tous les 25m.

1.5 Stockage

Le stockage des produits GPL se fait au niveau des capacités du stockage selon la demande en quantité de propane ou de butane, nous pouvons citer les différents types des capacités de stockage existant :

Le butane est stocké dans des sphères:

- 1 Sphère d'une capacité unitaire de 1000 m³
 - 1 Sphère d'une capacité de 1450 m³
 - 2 Sphères d'une capacité unitaire de 2000 m³
 - 1 Sphère d'une capacité unitaire de 3000 m³
- } $\Sigma = 9450 \text{ m}^3$

1.5.1 Sphères

Les sphères sont largement employées pour des stockages importants de gaz liquéfiés sous forte pression.

C'est la forme idéale (sphérique) pour résister à la pression car c'est sur ce type de coque que le niveau des contours de membrane reste le plus faible.

Les principaux constituants des sphères sont classés en quatre accessoires :

- Les accessoires d'accès : qui regroupent les composants suivants : l'escalier, les trous d'homme et l'échelle intérieure.
- Les accessoires du contrôle : regroupent les constituants suivants : un indicateur de pression, un indicateur de température et un indicateur de niveau.
- Les accessoires d'exploitation : ce sont les différentes tubulaires placées sur les parties inférieures et extérieures du réservoir qui communiquent avec l'intérieur du réservoir.
- Les accessoires de sécurité : ce sont les organes et l'équipement qui assurent la protection du réservoir contre les risques engendrés au niveau de ce dernier.

Exemple d'installation d'une sphère de stockage

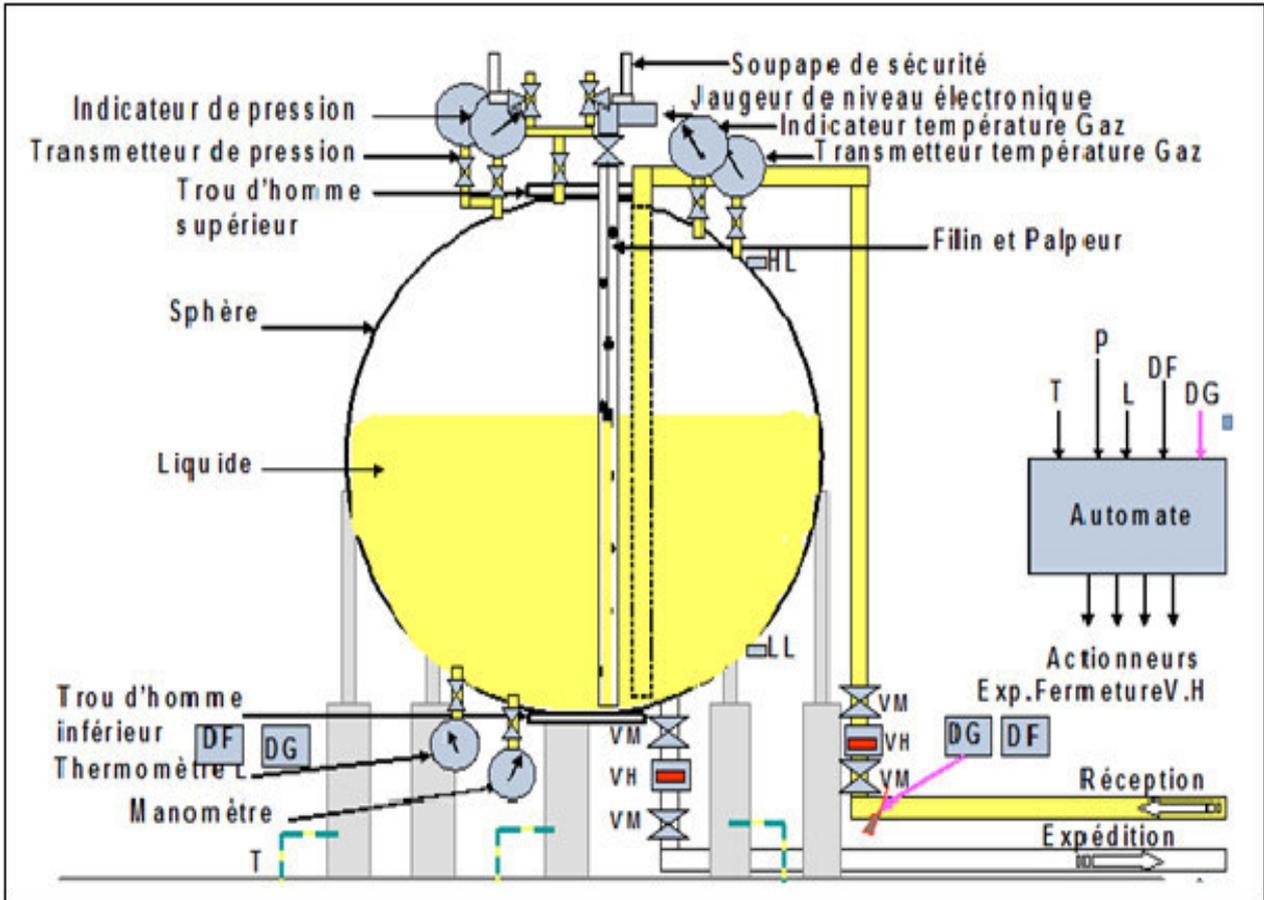


Figure 1-5 : Installation d'une sphère de stockage (source Naftal)

1.5.2 Cigares

Ils sont implantés généralement horizontal. Plus rarement vertical, les équipements rencontrés sur ces types de réservoirs sont identiques aux équipements des sphères.

Le propane est stocké dans des cigares :

- 9 Cigares dont la capacité unitaire est de 100 m³.
 - 3 Cigares dont la capacité unitaire est de 150 m³.
- } $\Sigma = 1350 \text{ m}^3$

Exemple de l'installation d'un cigare de stockage

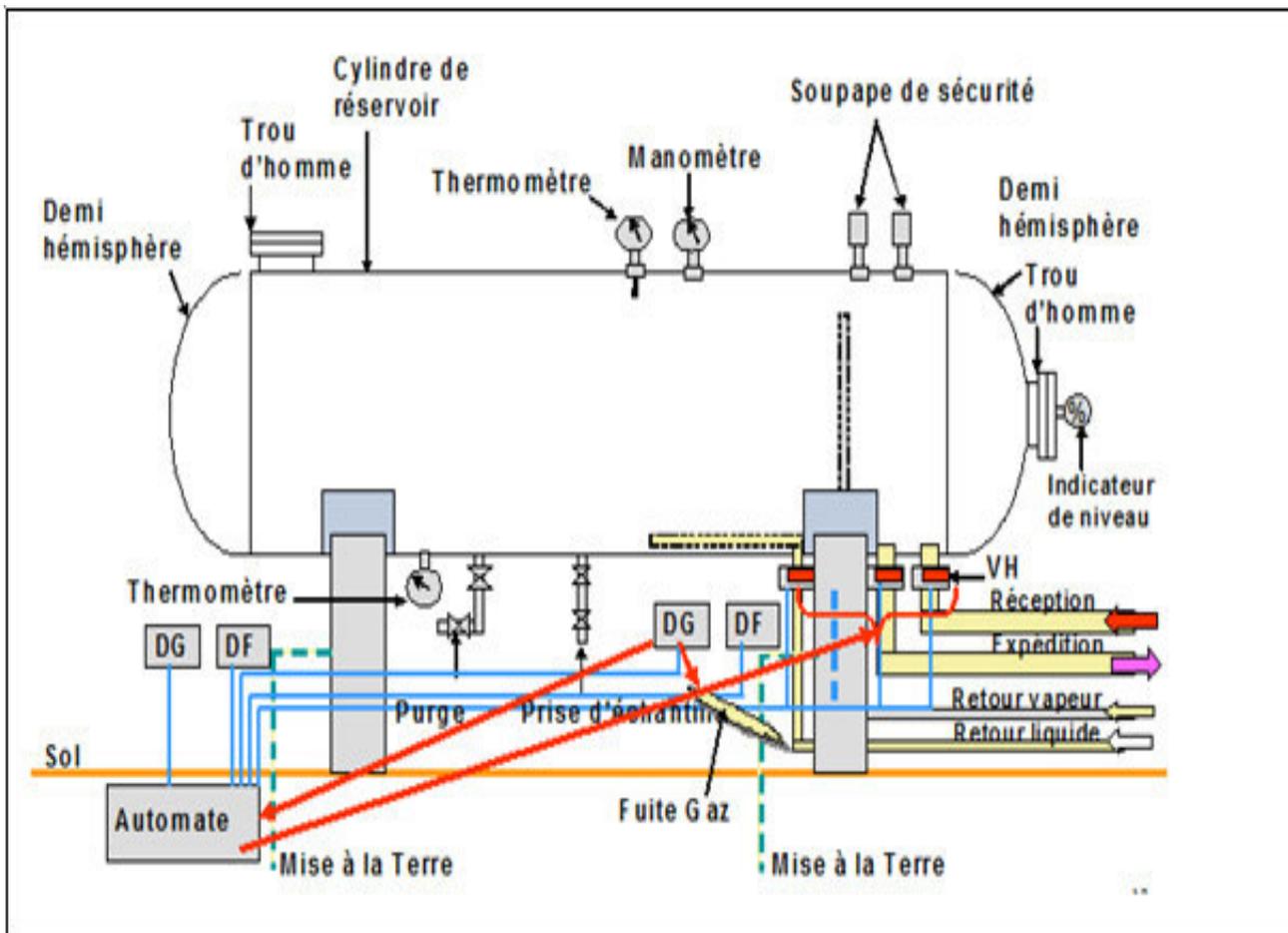


Figure 1-6 : Installation d'un cigare de stockage (source Naftal)

1.5.3 Hall d'emplissage

Lorsque la phase de stockage des GPL se termine, on passe à la phase de conditionnement des bouteilles c'est - à - dire le remplissage par les carrousels à partir des capacités de stockage à l'aide des pompes. Le remplissage des bouteilles se fait de la manière suivante :

- Une pompe à gaz aspire le gaz liquide de capacité de stockage (sphère ou cigare) à une pression de 3 à 4 bars et refoule ce dernier à une pression de service équivalente à 14 bars vers le hall d'emplissage (carrousel).
- Cette opération est effectuée à l'aide de deux carrousels qui se composent de 24 bascules et un fut manège qui distribue le gaz vers les postes d'emplissage à l'aide d'une pince.
- L'opération précédente se fait après le déchargement des bouteilles, l'ouverture du robinet puis la bouteille arrive au carrousel une fois remplie et agit sur la bascule qui déclenche l'emplisseur.
- Finalement, la fermeture de robinet, le contrôle d'étanchéité et le dépotage des bouteilles pleines.

Après avoir donné une description sur les différentes activités et fonctions, il est utile de présenter les principaux caractéristiques des équipements impliqués dans non seulement le fonctionnement mais aussi la sécurité.

1.6 Équipements principaux (Principales caractéristiques)

- ✓ **Sphères butane**
 - 5 Sphères.
 - Volume 9450 m³.
 - Pression d'étude : 11.25 bar eff.
 - Pression de service : 5 bar eff.
 - Pression d'ouverture des soupapes : 7.5 bar eff.
- ✓ **Cigare propane**
 - 12 cigares.
 - Volume 1350 m³.
 - Pression d'étude : 30 bar eff.
 - Pression d'ouverture des soupapes : 20 bar eff.
 - Pression d'ouverture des soupapes : 7.5 bar eff.

✓ **Hall d'emplissage**

- Butane (02 carrousels de 24 postes d'emplissage B13 kg chacun) équipé de débit massique pour chaque poste.
- 02 palettiseuses.
- Butane (02 postes fixes d'emplissage B03 kg).
- Propane (04 bascules d'emplissage P11kg P35kg).
- Rampe de ré-épreuve B13 kg avec 10 postes.
- Rampe de ré-épreuve P35 kg avec 02 postes.
- 02 cabines de peinture B13 kg et P35 kg.
- 02 rampes de récupération butane de 08 postes chacune.
- 01 ramper récupération propane de 02 poste.

✓ **Pompes GPL**

Pompes hall d'emplissage :

- pompes (butane) P09 – P10 – P11.
- Débit : 40 m³/h.
- pompes (propane) P01 – P02.
- Débit : 60 m³/h.

Pompes chargement camion butane :

- 4 pompes P05 – P06 – P07 – P08.
- Débit : 60 m³/h.

Pompes chargement camion propane :

- 2 pompes P12 – P13.
- Débit : 60 m³/h.

✓ **Compresseurs GPL**

- compresseurs CORKEN.
- Débit unitaire : environ 54,4 m³/h.

✓ **Chargement vrac**

- 03 postes de chargement vrac mixte (butane \ propane) avec débitmètre massique pour chaque bras.

1.6.1 Sécurité des équipements

1.6.1.1 Sphères

Les sphères sont équipées de :

- Indicateur et transmetteur de niveau LT01 qui lance un signal analogique sur le niveau vers la salle de contrôle.
- deux capteurs de températures transmetteur TT 01, 02 qui indiquent la température de la phase liquide qui lance une alarme au niveau de la salle de contrôle.
- indicateur de pression PT01 transmetteur qui lance un signal analogique vers la salle de contrôle sur la variation de la pression dans les sphères.
- manomètre de pression MP indique la pression dans les sphères.
- soupapes de sécurité.

1.6.1.2 Soupapes de ligne

Les soupapes installées sur les tuyauteries évacuent le surplus de pression.

1.6.1.3 Vannes différentielles

Les vannes différentielles permettent le transfert du surplus de pression vers la tuyauterie de retour des sphères.

1.6.1.4 Réseau anti-incendie

Le réseau anti incendie c'est un réseau maillé alimenté par 07 pompes incendie, permet de fournir de l'eau incendie :

- 02 bassins d'eau de 750 m³ chacun alimentés par un puits d'irrigation.
- Aux couronnes d'arrosage des sphères.

- Aux pulvérisateurs en pomperie GPL et aux ilots de chargement.
- Aux divers canons à eau et bornes incendie.

1.6.1.5 Refroidissement des sphères

En cas de température extérieure élevée, les sphères peuvent être arrosées par ouverture des vannes VPM propres pour chaque sphère. Ces vannes sont commandées : Localement par commande manuelle et automatique.

1.6.1.6 Isolement des équipements, arrêt d'urgence

- Isolement des équipements : il est assuré par un système de distributeur hydraulique pour chaque sphère et cigare qui permet la fermeture des clapets, commandées à distance.
- Arrêt d'urgence : un système de boutons poussoirs permet d'arrêter les pompes et compresseurs GPL.

1.6.2 Sécurité du centre

Le dispositif de sécurité des installations est assuré par la protection contre la foudre paratonnerre type radioactif, installé sur pylône métallique d'une hauteur de 24 mètre.

- 02 paratonnerres a dispositif d'amorçage de types SAINT ELME est installé sur (02) pylône port phares hauteur 25 mètres.

- Alarmes niveau hart.
- Alarmes fuite de gaz (nombre de détecteur de gaz : 42).
- Alarmes détecteur flamme (nombre de détecté de flamme : 36).
- Alarme générale 114DB.

1.6.2.1 Matériel de sécurité :

- 123 extincteurs à poudre sèche 06 kg-09kg-10kg.
- 07 extincteurs au CO2 de 10 kg.
- 02 tenues d'approche de feu.
- 25 extincteurs poudre sèche 50 kg.
- 33 extincteurs CO2 de 06 kg.

1.6.2.2 Circuit d'alerte

- Liaison avec la protection on civile a l'aide d'une ligne spécialisée.
- Les différents zones d'extension (sphère, cigares, pomperie et poste de chargement) sont couvertes par un système de détection feu et système de détection on gaz, reliées à une armoire de détection en salle de contrôle, ainsi que des postes avec bouton poussoir du type (brise-glace) plus arrêt d'urgence (nombre : 20).
- System de communication téléphonique (09) postes ADF.

1.6.2.3 Électricité

- 02 groupes électrogènes 400 KVA + 280 KVA
- 02 transformateurs 630 KVA et 160 KVA chacun
- 02 TGBT : tableau général de basse tension (zone nord et zone sud)

1.7 Origine et propriété GPL

1.7.1 Origine

Le Butane et le Propane, appelés couramment GPL sont des Gaz de Pétrole Liquéfiés. Il s'agit de dérivée du pétrole et du gaz naturel, donc il provient de deux origines :

- ✓ les champs de gaz pour plus de 60%. En moyenne, un champ de gaz naturel fournit près de 90% de méthane (CH₄) mais aussi 5% de propane et 5% d'autres gaz dont le butane.
- ✓ les raffineries de pétrole pour moins de 40%. Lors du raffinage du pétrole brut, le butane et le propane constituent entre 2 et 3 % de l'ensemble des produits obtenus. Ils constituent les coupes les plus légères issues de la distillation du pétrole brut.

Le propane et le butane se différencient l'un de l'autre par la température et la pression auxquelles ils passent de l'état gazeux à l'état liquide.

A pression atmosphérique (1,013 bar), le propane devient liquide en dessous de -42°C tandis que le butane passe à cet état dès que la température descend en dessous de 0°C.

L'usage des GPL est aujourd'hui largement répandu en raison de leur facilité de stockage et de transport.

Leur distribution a débuté dans des bouteilles dès les années 1930 et s'est étendue avec le développement du stockage en citernes (ou « vrac ») dans les années 1960.

1.7.2 Propriété et caractéristiques du GPL

Le Butane et le Propane partagent de nombreuses caractéristiques :

- incolores.
- inodores à l'état naturel (pour des raisons de sécurité, on y ajoute d'un odorisant (mercaptan), qui par son odeur bien caractéristique permet de détecter toute fuite).
- non toxiques et non corrosifs (mais dessoudent le caoutchouc, la graisse et l'huile).

Les GPL sont gazeux à pression et température ambiante (1,013 bar et 15°C) et sont les seuls à être se laisser liquéfier sous faible pression (propane à 7,5 et butane à 1,5 bar).

Cet état liquide permet de les manipuler, de les transporter et de les stocker dans de faibles volumes.

En effet, 1 litre de butane liquide libère 239 litres de gaz et 1 litre de propane liquide libère 311 litres de gaz.

Le GPL étant plus lourd que l'air, contrairement au gaz naturel, il risque, en cas de fuite, de s'accumuler au niveau du sol et dans les parties basses, Cela entraîne un danger d'explosion lorsque l'accumulation forme un mélange GPL/air adéquat et qu'il y a une source d'inflammation.

Cela entraîne également un danger d'asphyxie, puisque le GPL remplace l'air et diminue donc la concentration en oxygène, c'est pour cela qu'on y ajoute du mercaptan.

À l'état gazeux ils sont plus lourds que, l'air 1,22 Kg, en cas de fuite ils ont tendance à s'accumuler dans les points bas.

À 15 °C → 1 M³ de butane pèse 2,44 Kg
→ 1 M³ de propane pèse 1,85 Kg

À l'état liquide ils sont plus légers que l'eau à 15°C- 01 Litre d'eau pèse 1Kg les réservoirs installés sur des terrains inondables doivent être ancrés car ils risqueraient de flotter en cas d'inondation.

À 15 °C → 01 Litre de butane pèse 0,58 Kg
→ 01 Litre de propane 0,51 Kg

Néanmoins, ils se distinguent par deux éléments :

- leur pression de liquéfaction (passage de l'état gazeux à l'état liquide).
- leur température d'ébullition (à laquelle un liquide se vaporise).

Le propane et le butane ne sont pas des produits chimiquement purs mais ils présentent un mélange composé de plusieurs produits hydrocarbures comme est indiqué sur le tableau suivant :

Tableau 1-1 : composition moyenne du GPL utilisé dans le CE B (source Naftal).

Butane	% en poids	Propane	% en poids
Éthane C ₂ H ₆	Traces	Méthane CH ₄	Traces
Propane C ₃ H ₈	18, 00	Éthane C ₂ H ₆	3, 20
Normale butane NC ₄ H ₁₀	48, 80	Propane C ₃ H ₈	96, 30
Iso –Butane1 C ₄ H ₁₂	22, 50	Normale butane NC ₄ H ₁₀	0, 30
Pentane C ₅ H ₁₂	0, 70	Iso –Butane1 C ₄ H ₁₂	0, 20
TOTAL	100		100

1.8 Cadre réglementaire et normatif

L'activité industrielle est susceptible de générer des dangers aussi bien pour l'homme que pour son environnement, par conséquent il a été nécessaire de mettre en place un cadre légal afin de connaître et prévenir les risques de ces activités.

L'Algérie a, depuis l'indépendance, adopté de nombreux textes (ordonnances, lois, décrets et arrêté) en matière de risque, de sécurité et de la protection de l'environnement, elle a également adhéré à plusieurs conventions internationales.

Dans ce qui suit, nous allons rapporter la réglementation applicable aux installations à haut risque industriel dites classées pour la protection de l'environnement qui sont définies selon la réglementation comme étant, toute unité technique fixe dans laquelle interviennent une ou plusieurs activités figurant dans la nomenclature réglementaire des installations classées dont fait partie le Centre emplisseur.

1.8.1 Réglementation Algérienne

- Décret n°85-232 du 25 Août 1985,

relatif à la prévention des risques de catastrophes qui a pour but de mettre en œuvre les mesures et normes réglementaires et techniques de nature à éliminer les risques susceptibles de mettre en danger la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement ou à réduire les effets.

- Décret exécutif n° 03-451 du 1 Décembre 2003

Définit les règles de sécurité applicables aux activités portant sur les matières et produits chimiques dangereux ainsi que les récipients de gaz sous pression.

- Loi n° 03-10 du 19 Juillet 2003

Relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. La loi a pour objet de définir les règles de protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

- Loi n° 04-20 du 25 décembre 2004

Relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.

- Décret exécutif n°06-198 du 31 Mai 2006

Définissant la réglementation applicable aux installations et établissements classés pour la protection de l'environnement qui a pour objet de définir les régimes d'autorisation et de déclaration d'exploitation des établissements classés, leurs modalités de délivrance, de suspension et de retrait, ainsi que les conditions et modalités de leur contrôle.

- Décret exécutif n° 07-144 du 19 Mai 2007

Fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

- Décret exécutif n° 09-335 du 20 Octobre 2009

Fixant les modalités d'élaboration et de mise en œuvre des plans internes d'intervention par les exploitants des installations industrielles.

- Décret exécutif n° 15-71 du 11 février 2015

Fixant les modalités d'élaboration et d'adoption des plans particuliers d'intervention pour les installations ou ouvrage.

- Décret exécutif n°14-349 du 8 décembre 2014

Fixant les conditions de mise en conformité des installations et des équipements relevant des activités hydrocarbures.

1.8.2 Réglementation Européennes

- Directive n°89/391/CEE

Du conseil des communautés européennes du 12 juin 1989, dite « directive cadre », définit les principes fondamentaux de la protection des travailleurs. Elle a placé l'évaluation des risques au sommet de la hiérarchie des principes généraux de prévention.

- Directive n°96/82/CEE (directive SEVESO II) du 9 décembre 1996

Concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses. Cette directive a pour objet la prévention des accidents majeurs impliquant des substances dangereuses et la limitation de leurs conséquences afin d'assurer de façon cohérente et efficace des niveaux de protection élevés.

1.8.3 Normes internationales

Les normes internationales ont évolué dans un autre sens, car elles étaient préoccupées de certification, et ont plutôt progressé pas à pas.

Le système de management de la qualité ISO 9001 a servi de base à la mise en œuvre d'un système de gestion de l'environnement ISO 14001 qui traite des pollutions accidentelles et continues, mais est peu orienté vers la gestion des risques.

La gestion de la santé et de la sécurité a été élaborée en suivant le modèle ISO 14001 pour aboutir à la spécification OHSAS 18001 qui est définie comme étant un ensemble d'éléments interdépendants destinés à établir des politiques et des objectifs de santé-sécurité au travail et à les réaliser en mettant en place les moyens et les mesures nécessaires.

1.9 Problématique

L'industrie pétrolière et gazière se classe parmi les industries les plus dangereuses du fait qu'elle dispose d'installations à haut risque (installation classée) qui représentent un danger potentiel sur leurs terrains d'exploitation et de leur environnement.

Beaucoup d'études ont concerné plus les opérations de stockages, mais il n'existe pas assez d'études concernant **l'opération de dépotage** d'un navire gazier, malgré la sensibilité de cette phase et l'importance de la maîtrise des risques qui doit entourer cette opération vu les grandes quantités de gaz GPL, ainsi qu'elles incluent des équipements sous pression, qui présentent des risques énormes tels que l'incendie et l'explosion.

Les questions qui se posent sont : **Sommes-nous suffisamment protégés contre les risques d'explosion au niveau du navire lors de l'opération de dépotage ? Quelle est la démarche et les outils adéquats pour une meilleure maîtrise de risque au niveau de l'opération de dépotage d'un navire gazier ?**

1.10 Objectifs de l'étude

L'objectif recherché à travers ce travail est l'amélioration des procédures de dépotage du gaz d'une part, et améliorer les mesures de sécurité durant toute la période de dépotage du gaz d'autre part, et d'informer et sensibiliser tous les responsables et employés concernés, sur les dangers et la sensibilité de cette phase par rapport aux autres, pour éviter les risques liés à cette opération, sur le site et peuvent être en dehors de site aussi, puisque cette entreprise contient des grandes quantités de gaz très inflammable alors dans le cas d'explosion ou l'incendie peuvent se propager et toucher même la population, l'environnement et le voisinage sachant que ce site est situé au centre d'une zone industrielle tel que Sonatrach et Civitale etc.

1.11 Méthodologie

La méthodologie suivie, pour atteindre l'objectif général de cette étude, reprend les enchaînements du processus méthodologique de maîtrise des risques majeurs donné par la norme ISO 31000. Les principales étapes sont :

- **Étape 1 : Identification des systèmes critiques.**

Cette étape définit le système sur lequel portera l'étude. Elle comprend :

- ✓ L'analyse fonctionnelle des systèmes qui consiste en un découpage fonctionnel des systèmes en sous-systèmes (SADT) pour faciliter l'analyse préliminaire des risques (APR).
- ✓ APR : identification des risques au niveau de chaque zone étudiée afin de trouver la zone la plus critique.

- **Étape 2 : Identification et estimation des facteurs de risque**

Cette étape constitue l'étape d'analyse des risques dans sa globalité, puisque c'est durant cette dernière que nous allons appliquer les méthodes d'analyse, qui permettent de compléter l'APR, et ce dans le but d'arriver à faire ressortir tous les scénarios plausibles susceptibles de se produire, on utilise les outils suivants :

- ✓ **Arbre de Défaillance (Add)** identification des combinaisons de causes qui pourraient être à l'origine d'un événement non souhaité.

- ✓ **HAZOP** est la méthode qui traite les dérives certains paramètres des systèmes thermo-hydrauliques, tel-que (débit, température, pression, niveau, concentration, etc.), et l'analyse de leurs causes et conséquences.
- ✓ **Modélisation des effets** à l'aide du logiciel PHAST de phénomène dangereux BLEVE.
- ✓ **Étape 4 : Réduction de risque** par la mise en place des solutions.

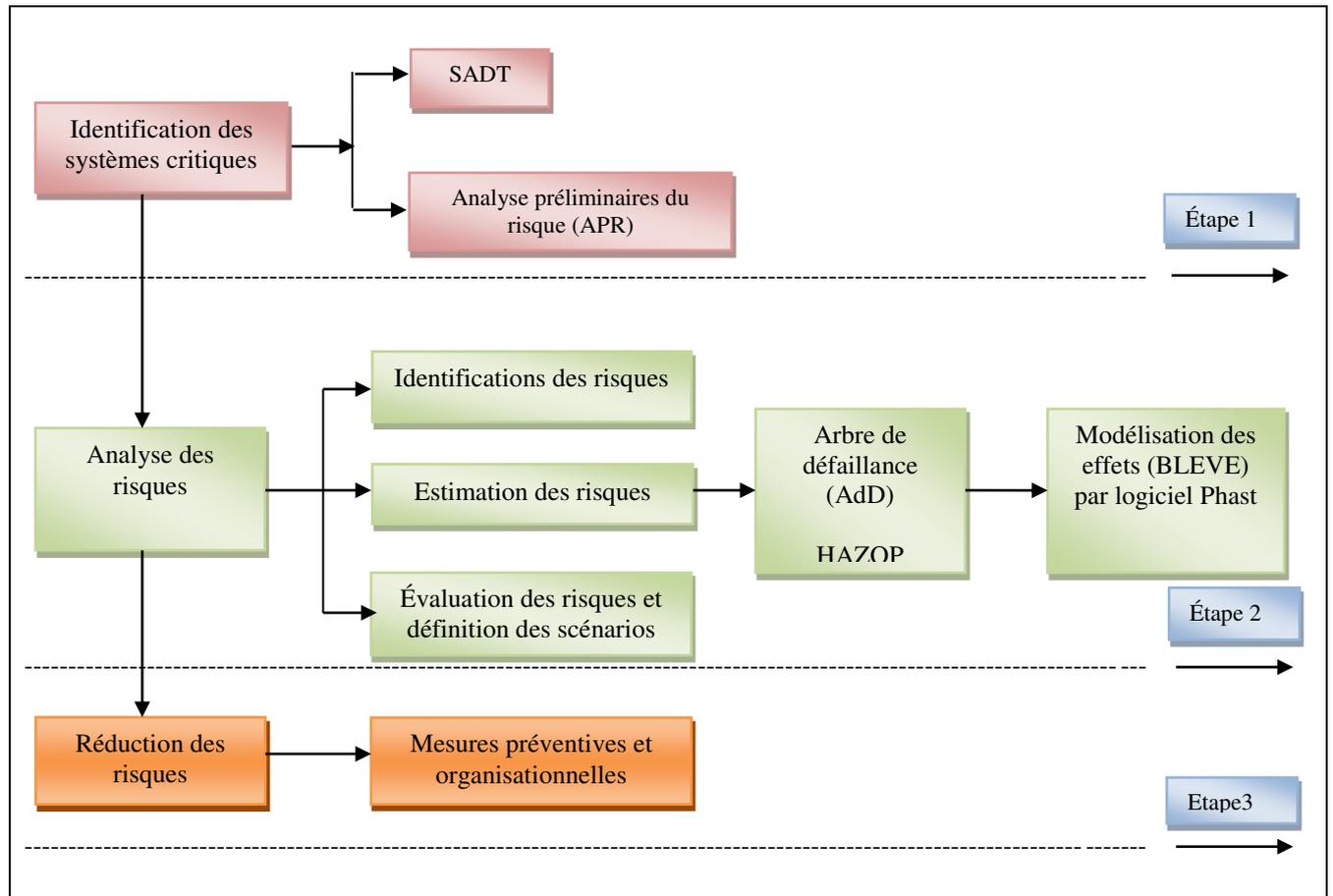


Figure 1-7 : Processus méthodologique de l'étude

Ce chapitre nous a permis de prendre connaissance sur le site en général et ses activités et tous ses processus de l'arrivée de produit jusqu'au stockage et sa distribution soit en moyens techniques ou organisationnelles.

Dans le chapitre suivant qui inclut les méthodes d'analyse des risques, nous exposons la partie théorique de ces méthodes que nous avons à utiliser.

Chapitre 02 : Outils et méthodes d'analyses

Chapitre 2 : Outils et méthodes d'analyses

Dans cette partie, nous allons décrire brièvement les principales méthodes utilisées dans notre démarche d'analyse des risques établies dans le cadre de la maîtrise des risques au niveau du centre. Les méthodes d'analyse des risques utilisées sont: APR, AdD, HAZOP, avec l'utilisation d'une méthode décomposition SADT.

2.1 Méthode APR

2.1.1 Présentation de la démarche [02]

L'APR est une méthode couramment utilisée dans le domaine de l'analyse des risques. Il s'agit d'une méthode inductive, systématique et assez simple à mettre en œuvre. Concrètement, l'application de cette méthode réside dans le renseignement d'un tableau en groupe de travail pluridisciplinaire, présenté ci-après :

Tableau 2-1 : Tableau type APR

Sous-système	Évènement redouté	Cause	Conséquence	F	G	C	Mesure de prévention	F'	Mesure de protection	G'	C'	Proposition
--------------	-------------------	-------	-------------	---	---	---	----------------------	----	----------------------	----	----	-------------

En se basant sur le retour d'expérience et les connaissances des experts, chaque sous-système identifié dans la phase de décomposition fonctionnelle a été revu, et les situations dangereuses ont été examinées de manière systématique.

À partir de ce tableau, nous avons adopté une démarche systématique sous la forme suivante :

- ✓ **Étape 1** : Décomposition fonctionnelle de chaque système.

L'APR s'appuie au début sur la décomposition fonctionnelle du système étudié en sous-système détaillé ce qui permet de faire ressortir toutes les parties qui peuvent être à l'origine d'un évènement non souhaité.

✓ **Étape 2** : Identification des évènements redoutés.

À partir de cette décomposition, nous allons énumérer les éléments dangereux qui constituent un danger pour le système. Ce dernier peut être un équipement ou un produit (GPL) approprié au sous-système.

✓ **Étape 3** : Identification des causes

Après l'apparition de chaque situation dangereuse en présence d'un évènement initiateur résulte un évènement non souhaité susceptible d'infliger un dommage à des cibles vivantes ou matérielles.

✓ **Étape 4** : Détermination des conséquences

L'énumération des causes susceptibles de provoquer directement une situation dangereuse et un évènement non souhaité est un élément essentiel pour faire ressortir les conséquences qui découlent de l'apparition d'un évènement non souhaité.

✓ **Étape 5** : Évaluation du risque par calcul de la criticité (C)

Cette étape permet d'attribuer la fréquence de probabilité d'occurrence (F) de l'évènement non souhaité et la gravité de ses conséquences (G), sans prise en compte des barrières de sécurité existantes et en utilisant les échelles de cotation qui ont été validés en équipe.

Cela permet ensuite de calculer la criticité (C) à l'aide de la grille de criticité et voir dans quel niveau elle est positionnée (risque acceptable, tolérable, inacceptable).

✓ **Étape 6** : Réévaluation du risque par calcul de la criticité (C')

La réévaluation du risque se fait après avoir mis en place des mesures de prévention et de protection adéquates et conformes, qui permettent de réduire la première évaluation de la gravité (G'), et la probabilité (F') d'apparition d'un évènement non souhaité, jusqu'à un niveau acceptable ou tolérable.

Cette réévaluation permet de nous assurer le niveau de confiance des barrières de sécurité en considérant aussi leur indépendance, leur capacité de réalisation ou efficacité du temps de réponse.

✓ **Étape 7 : Proposition**

Proposition donnée sous forme de mesures sécuritaire pour améliorer la maîtrise des risques.

En dernier, si tous les enchainements ont été étudiés, le choix d'un nouvel ED pour le même sous système s'impose, sinon lorsque tous les ED approprié au sous-système ont été examinés, il faut procéder au choix d'un nouveau sous-système ou d'un système.

Ces grilles permettent de faire apparaître les risques inacceptables et critiques qui doivent être traitées par des approches spécifiques.

Seuls les évènements plausibles, compte tenu des conditions de mises en œuvre des produits ou des installations, ont été retenus.

Les enchainements d'évènement considérés comme physiquement impossible ne sont pas repris dans les tableaux.

Seuls les scénarios susceptibles d'avoir des effets à l'extérieur de l'établissement sont considérés comme accidents majeurs potentiels et sont retenus dans la suite de l'Étude des Dangers.

2.1.2 Grilles des cotations

Pour coter la gravité des scénarios étudiés, des critères ont permis d'estimer si les effets du Phd pouvaient potentiellement atteindre des enjeux situés à l'extérieur de la limite d'exploitation :

- La nature et la quantité de produit concerné,
- Les caractéristiques des équipements mis en jeu,
- La localisation de l'installation par rapport à la limite d'exploitation.

Tableau 2-2 : Grille de cotation en gravité (INERIS) (Basée sur les conséquences humaines à l'extérieur du site considéré).

Niveau de gravité des conséquences		Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
D	Désastreux	Plus de 10 personnes exposées.	Plus de 100 personnes exposées.	Plus de 1000 personnes exposées.
C	Catastrophique	Moins 10 Personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.	Entre 100 et 1000 personnes exposées.
I	Important	Au plus 1 personne exposée.	Entre 1 et 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.
S	Sérieux	Aucune personne exposée.	Au plus 1 personne exposée.	Moins de 10 personnes exposées.
M	Modéré	Pas de zone de létalité hors de l'établissement.		Pas de zone de létalité hors De l'établissement.

(1) Personne exposée : 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 de ses effets le permettent.

En ce qui concerne la cinétique, l'article 8 de l'arrêté ministériel français du 29 Septembre 2005 indique que « la cinétique de déroulement d'un accident est qualifiée de lente, dans son contexte, si elle permet la mise en œuvre de mesures de sécurité suffisantes, dans le cadre d'un plan d'urgence externe, pour protéger les personnes exposées à l'extérieur des installations objet du plan d'urgence avant qu'elles ne soient atteintes par les effets du phénomène dangereux ».

2.1.3 Principe de l'APR

L'APR s'occupe dans un premier temps de recenser les éléments dangereux relatifs au système étudiée et cela après avoir effectué une décomposition fonctionnelle de ce dernier en sous-système.

Ces éléments dangereux peuvent être :

- Un produit ou un gaz dangereux (inflammable, explosive...etc.), mélange de produit ou de gaz dangereux susceptible de provoquer un phénomène dangereux ;
- Des équipements dangereux, par exemple : bac de stockage, pompe, soupape...etc. ;
- Des opérations dangereuses, par exemple : chauffage, revêtement avec une flamme chaude, traitement acide.

Pour chaque élément dangereux préalablement recensé, l'APR vise à identifier une ou plusieurs situations dangereuses susceptibles de se produire en présence d'une source de danger ou d'un élément causant la situation dangereuse.

Cette dernière peut engendrer un évènement non souhaité lorsqu'elle sera suivie d'un évènement initiateur ou un élément causant un évènement non souhaité.

Pour chaque situation dangereuse, il faut envisager les causes susceptibles de provoquer des évènements non souhaités et les conséquences qui découlent de leur apparition.

Ensuite l'APR est appelée à identifier les sécurités existantes sur le sous-système étudié, si ces dernières sont jugés insuffisantes pour réduire le risque à un niveau acceptable, des propositions d'amélioration doivent être envisagées. [02]

2.1.4 Domaine d'application

L'APR est applicable à tout type d'installation et comme son nom l'indique, c'est une méthode généralement utilisée afin d'identifier les risques au stade préliminaire de la conception d'une installation ou d'un projet.

Cette méthode est aussi appliquée dans le cadre des études de danger car elle ne nécessite pas une connaissance approfondie de l'installation étudiée.

En ce sens, cette méthode s'avère pertinente dans les situations suivantes :

- La phase conception d'une installation complexe
- La phase exploitation d'une installation complexe
- La phase conception/exploitation d'une installation simple.

2.2 Arbre de défaillance (AdD)

2.2.1 Historique et domaine d'application

L'analyse par arbre des défaillances fut historiquement la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques.

Elle a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine Bell Téléphone et fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir de missiles.

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

Elle est aussi 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. [2]

2.2.2 Principe

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif.

En effet, il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant finalement conduire à cet événement.

Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'événement redouté.

Les évènements de base correspondent généralement à des :

- Évènements élémentaires qui sont suffisamment connus et décrits par ailleurs pour qu'il ne soit pas utile d'en rechercher les causes. Ainsi, leur probabilité d'occurrence est également connue.

- Évènements ne pouvant être considérés comme élémentaires mais dont les causes ne seront pas développées faute d'intérêt.
- Évènements dont les causes seront développés ultérieurement au gré d'une nouvelle analyse par exemple.
- Évènements 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 évènements 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 évaluée.

Ainsi, l'analyse par arbre des défaillances permet d'identifier les successions et les combinaisons d'évènements qui conduisent des évènements de base jusqu'à l'évènement indésirable retenu.

Les liens entre les différents évènements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques (de type « ET » et « OU » par exemple).

Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente.

Les conventions de présentation sont proposées dans la norme CEI 61025 :1990 « Analyse par Arbre de Panne (APP) ».

À l'aide de règles mathématiques et statistiques, il est alors théoriquement possible d'évaluer la probabilité d'occurrence de l'évènement final à partir des probabilités des évènements de base identifiés.

L'analyse par arbre des défaillances d'un évènement 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.

Nous verrons que cette dernière est primordiale pour mener l'analyse et qu'elle nécessite le plus souvent une connaissance préalable des risques.

2.2.3 Définition de l'évènement redouté

La définition de l'événement final, qui fera l'objet de l'analyse, est une étape cruciale pour la construction de l'arbre.

On conçoit que plus cet événement est défini de manière précise, plus simple sera l'élaboration de l'arbre des défaillances.

Par ailleurs, s'agissant d'une méthode qui peut se révéler rapidement lourde à mener, elle doit être réservée à des événements jugés particulièrement critiques.

En ce sens, l'utilisation préalable de méthodes inductives (SADT, APR, AdD, HAZOP) permet d'identifier les événements qui méritent d'être retenus pour une analyse par arbre des défaillances.

De manière classique, les événements considérés peuvent concerner :

- le rejet à l'atmosphère de produits toxiques ou inflammables,
- le risque d'incendie,
- le risque d'explosion...

2.2.4 Élaboration 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.

L'élaboration de l'arbre des défaillances suit le déroulement suivant :

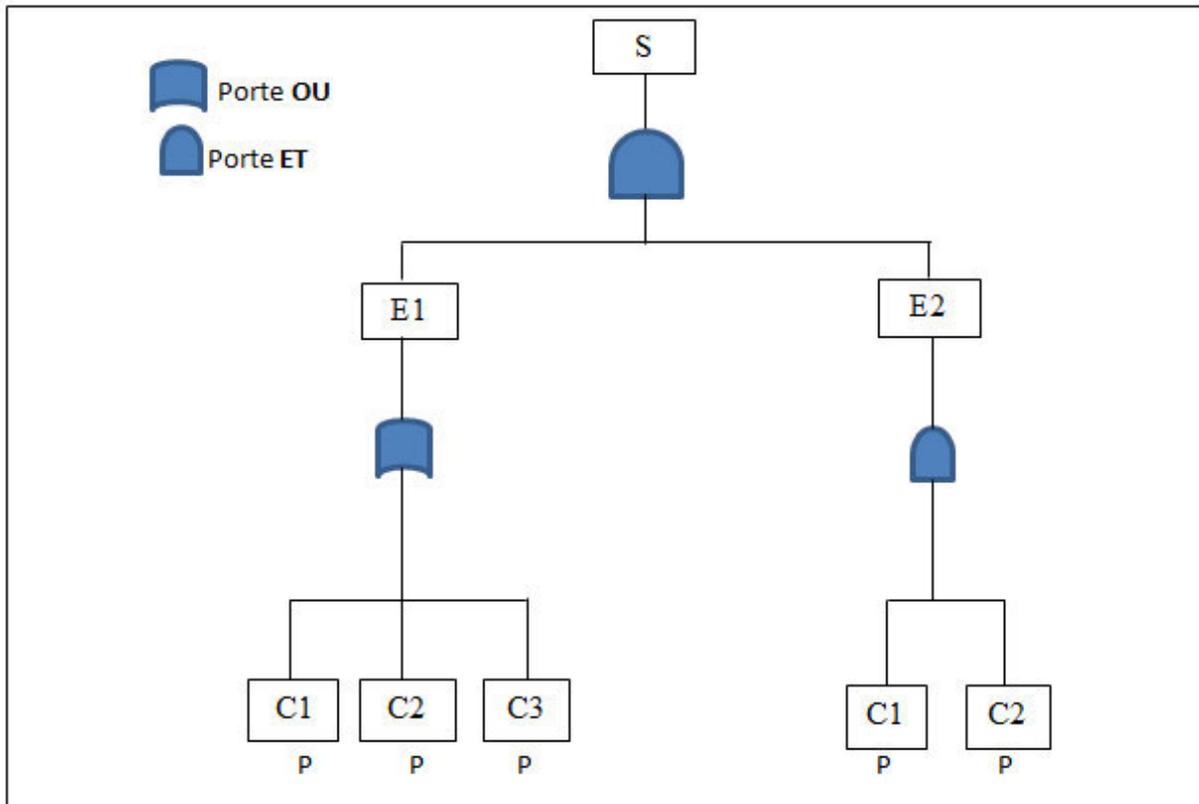


Figure 2-1 : Démarche de l'ADD

L'événement de sortie d'une porte « ET » est associé au produit des variables booléennes correspondant aux événements d'entrée.

L'événement de sortie d'une porte « OU » est associé à la somme des variables booléennes correspondant aux événements d'entrée.

- S : l'événement de sortie (événement redouté)
- E : événement(s) intermédiaire
- C : événement de base (cause)
- P : probabilité

Le calcul de l'évènement redouté ou l'élément d sortie se fait par deux méthodes :

- Méthode mathématique
- Méthode simplifiée

La première méthode se base sur le calcul de probabilité de défaillance des équipements de base, et en absence de ces probabilités, la méthode simplifiée peut être utilisée comme c'est notre cas.

Méthode simplifié

Les niveaux de probabilités sont établis et appliqués à chaque événement :

- P = 1 : Improbable
- P = 2 : Événement extrêmement rare
- P = 3 : Événement très rare
- P = 4 : Événement rare
- P = 5 : Événement possible mais peu fréquent
- P = 6 : Événement fréquent
- P = 7 : Événement très fréquent

2.2.5 Limites et avantages

Le principal avantage de l'analyse par arbre des défaillances est qu'elle permet de considérer des combinaisons d'événements pouvant conduire in fine à un événement redouté.

Cette possibilité permet une bonne adéquation avec l'analyse d'accidents passés qui montre que les accidents majeurs observés résultent le plus souvent de la conjonction de plusieurs événements qui seuls n'auraient pu entraîner de tels sinistres.

Par ailleurs, en visant à l'estimation des probabilités d'occurrence des événements conduisant à l'événement final, elle permet de disposer de critères pour déterminer les priorités pour la prévention d'accidents potentiels.

L'analyse par arbre des défaillances porte sur un événement particulier et son application à tout un système peut s'avérer fastidieuse.

En ce sens, il est conseillé de mettre en œuvre au préalable des méthodes inductives d'analyse des risques.

Ces outils permettent d'une part d'identifier les événements les plus graves qui pourront faire l'objet d'une analyse par arbre des défaillances et d'autre part, de faciliter la détermination des causes immédiates, nécessaires et suffisantes au niveau de l'élaboration de l'arbre.

Depuis une dizaine d'années, des logiciels informatiques sont commercialisés afin de rendre plus aisée l'application de l'arbre des défaillances.

Ces outils se montrent très utiles pour la recherche des coupes minimales, la détermination des probabilités ainsi que pour la présentation graphique des résultats sous forme arborescente.

2.3 Méthode HAZOP

La méthode HAZOP, pour *HAZard and OPerability Studies*, est une méthode d'analyse des risques qui a été développée par la société *Imperial Chemical Industries* (ICI) au début des années 1970 (Lawley, 1974).

Elle a depuis été adaptée dans différents secteurs d'activité L'Union des Industries Chimiques (Uich, 1980) a publié en 1980 une version française de cette méthode.

Considérant de manière systématique les dérives des paramètres d'une installation en vue d'en identifier les causes et les conséquences.

Cette méthode est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo-hydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, le niveau, la concentration... sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation. [9]

De par sa nature, cette méthode requiert notamment l'examen de schémas et plans de circulation des fluides instrumentés ou schémas PID (*Piping and Instrumentation Diagramme*).

2.3.1 Principe général

La HAZOP suit une procédure qui considère une à une les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation.

Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne ou maille), la génération des dérives est effectuée de manière systématique par l'application :

- De mots clés comme par exemple « Pas de » ; « Plus de » ; « Moins de » ; « Trop de »,
- Sur des paramètres associés au système étudié. Des paramètres couramment rencontrés concernent la température, la pression, le débit, la concentration mais également le temps ou des opérations à effectuer.

Le groupe de travail doit ainsi s'attacher à déterminer les causes et les conséquences potentielles de chacune de ces dérives et à identifier les moyens existants permettant de détecter cette dérive, d'en prévenir l'occurrence ou d'en limiter les effets.

Le cas échéant, le groupe de travail pourra proposer des mesures correctives à engager en vue de tendre vers plus de sécurité.

À l'origine, l'HAZOP n'a pas été prévue pour procéder à une estimation de la probabilité d'occurrence des dérives ou de la gravité de leurs conséquences.

Cet outil est donc qualifié de qualitatif.

Néanmoins, dans le domaine des risques accidentels majeurs, une estimation à priori de la probabilité et de la gravité des conséquences des dérives identifiées s'avère souvent nécessaire.

Dans ce contexte, l'HAZOP doit donc être complétée par une analyse de la criticité des risques sur les bases d'une technique quantitative simplifiée.

Dans une première approche, une démarche semi-quantitative pourra être retenue.

Cette adaptation semi-quantitative de l'HAZOP est explicitée dans la norme CEI 61882 (2001) « Études de danger et d'exploitabilité (études HAZOP) - Guide d'application ».

Après avoir défini le système à étudier, l'organisation de l'étude HAZOP peut s'articuler autour de trois étapes principales : une phase préparatoire permettant entre autre de choisir l'équipe de travail, une phase d'examen avec la mise en œuvre de la méthode à proprement parler et une phase de suivi des résultats, comme il est présenté dans la figure 2-1 suivante :

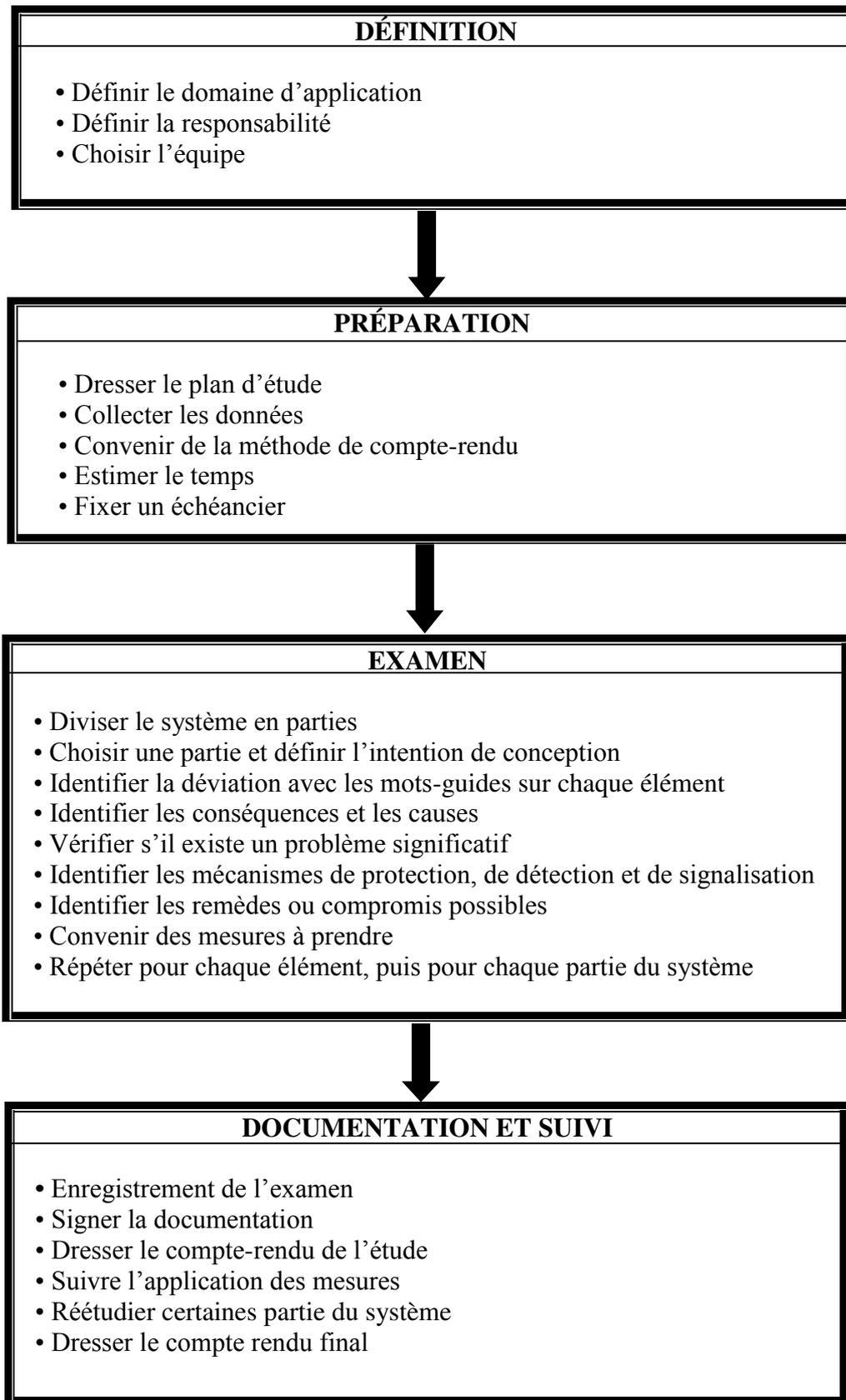


Figure 2-2 : Différentes phases d'une étude HAZOP

2.3.2 Définition de la phase préparatoire

- Exigences de conception et intentions de conception

Avant de mettre en œuvre la méthode, il est nécessaire de définir les contours du système à étudier ainsi que les exigences de conception qui comprennent des exigences qualitatives et quantitatives auxquelles le système doit satisfaire.

Il convient d'identifier toutes les conditions d'utilisation correcte et de mauvaise utilisation raisonnablement prévisibles de la part de l'utilisateur.

- Constitution de l'équipe de travail

La constitution de l'équipe de travail est un élément déterminant pour la réussite de la mise en œuvre de la méthode HAZOP.

En effet, cette méthode est uniquement basée sur l'observation et la réflexion d'un groupe de personnes ayant une connaissance plus ou moins précise de l'installation ou du projet.

Ainsi il est bénéfique de choisir des intervenants ayant des visions complémentaires face au problème posé, l'interdisciplinarité est en outre un atout de taille.

Il est évidemment conseillé de compter par miles membres de l'équipe des spécialistes du procédé étudié ainsi que des spécialistes de la sécurité.

L'encadrement de l'équipe est également un point clé : le chef de séance doit mener les débats, structurer la réflexion et s'assurer que les conclusions finales prennent en compte l'ensemble des avis émis par tous les participants.

Le secrétaire de séance tient un rôle primordial, puisqu'il consigne au fur et à mesure de la réflexion les différentes observations et décisions du groupe de travail.

Enfin, il est également important de porter attention au nombre d'intervenants : il faut trouver un équilibre entre une assez grande diversité et complémentarité des points de vues et un cadre propice au dialogue dans lequel chacun aura la liberté d'exprimer ses idées.

- Constitution des documents de travail

Les réunions HAZOP nécessitent un travail préalable conséquent car il est nécessaire de collecter et mettre à jour l'ensemble des informations techniques sur le procédé.

En effet, ces informations et l'ensemble des documents doivent être accessibles à l'équipe durant la session de travail.

En particulier, une des conditions préalables à la réalisation de l'examen est de disposer d'une représentation précise et complète de la conception du système étudié.

Les documents de travail doivent inclure le plan de conception, qui est un modèle descriptif du système montrant de façon qualitative et quantitative la fonction de chaque partie et élément d'un système.

Ils doivent également décrire les interactions du système avec d'autres systèmes, avec son utilisateur et son environnement.

Enfin, il faut également disposer d'un schéma ou diagramme représentant avec précision les systèmes d'écoulement (en général un PID) et comportant les schémas des canalisations et de l'instrumentation ainsi que les spécifications du matériel et des équipements standards

- Session de travail et mise en œuvre de la méthode HAZOP

La mise en œuvre de l'étude HAZOP se déroule sur une ou plusieurs sessions de travail. Réunies autour du PID et de l'ensemble des documents collectés lors de la phase préparatoire et après que le chef d'étude ait présenté les grands traits du plan de conception ainsi que les dangers et problèmes d'exploitation déjà répertoriés, l'équipe passe à l'examen de chaque élément du système pour y rechercher les déviations par rapport à l'intention de conception susceptibles d'entraîner des déviations indésirables.

Pour cela, le chef d'étude oriente le débat autour d'un système de questions dans lequel interviennent des « mots-guides » prédéfinis.

Le rôle du mot-guide est de stimuler l'imagination et de soulever des idées et des discussions afin d'augmenter les chances de réalisation d'une étude complète.

Dans un souci d'exhaustivité et afin de ne pas passer à côté d'une déviation potentiellement dangereuse du système, l'étude HAZOP procède d'une démarche systématique. Celle-ci est décrite sous forme de diagramme.

Tableau 2-3 : Principaux mots guides et signification générale

Mots guide	Signification
NE PAS	Négation totale de l'intention de conception
PLUS	Augmentation quantitative
MOINS	Diminution quantitative
EN PLUS DE	Modification/augmentation qualitative
PARTIE DE	Modification/diminution qualitative
INVERSE	Contraire logique de l'intention de conception
AUTRE QUE	Remplacement total

- Enregistrement et suivi des résultats

Il convient que l'étude HAZOP aboutisse au moins aux résultats suivants :

- Des détails sur les dangers et problèmes d'exploitabilité identifiés ainsi que des détails sur les dispositions prises, le cas échéant, pour leur détection et/ou leur atténuation
- Les mesures nécessaires pour résoudre les incertitudes découvertes au cours de l'étude,
- Des recommandations pour l'atténuation des problèmes identifiés, basées sur la connaissance que l'équipe a du système.

L'ensemble des points évoqués durant la réunion, la liste des parties considérées pendant l'analyse, la liste de tous les schémas, le nom des participants...doivent figurer dans un compte rendu détaillé.

Par contre, les résultats des études de déviations et les principales conclusions et dispositions requises peuvent être consignés sous forme de tableaux ou de formulaire afin de visualiser clairement et rapidement les risques du système et les actions à mettre en œuvre.

2.3.3 Limites et avantages

La HAZOP est un outil particulièrement efficace pour les systèmes faisant intervenir des circulations de fluide. Cette méthode présente tout comme l'AMDEC un caractère systématique et méthodique.

Considérant, de plus, simplement les dérives de paramètres de fonctionnement du système, elle évite de considérer, contrairement à l'AMDEC, tous les modes de défaillances possibles pour chacun des composants du système.

En revanche, l'HAZOP permet difficilement d'analyser les événements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances.

Par ailleurs, il est parfois difficile d'affecter un mot clé à une portion bien délimitée du système à étudier.

Cela complique singulièrement l'identification exhaustive des causes potentielles d'une dérive.

En effet, les systèmes étudiés sont souvent composés de parties interconnectées si bien qu'une dérive survenant dans une ligne ou maille peut avoir des conséquences ou à l'inverse des causes dans une maille voisine et inversement.

Bien entendu, il est possible a priori de reporter les implications d'une dérive d'une partie à une autre du système, toutefois cette tâche peut rapidement s'avérer complexe.

2.4 Méthode SADT

La méthode SADT (*Structured Analysis and Design Technic*) est une méthode graphique qui démarre du général pour arriver au particulier. On va l'appliquer pour décrire le système et le décomposer et définir ses principales fonctions ainsi que les interactions entre elles.

2.4.1 Origine de la méthode

La SADT est une méthode développée pour Softech par *Doug Ross* en 1977, d'origine américaine, puis introduite en France à l'année 1982 par *Michel Galinier*, elle se répandit vers la fin des années 1980 comme l'un des outils standards de description graphique d'un système complexe par analyse fonctionnelle descendante.

Aussi appelée l'analyse descendante (Méthode SADT), cette méthode permet de réaliser la description d'un système technique de façon structurée et hiérarchisée.

Elle s'appuie sur une représentation graphique qui met en évidence l'organisation fonctionnelle et structurelle du système en allant du plus général au plus détaillé.

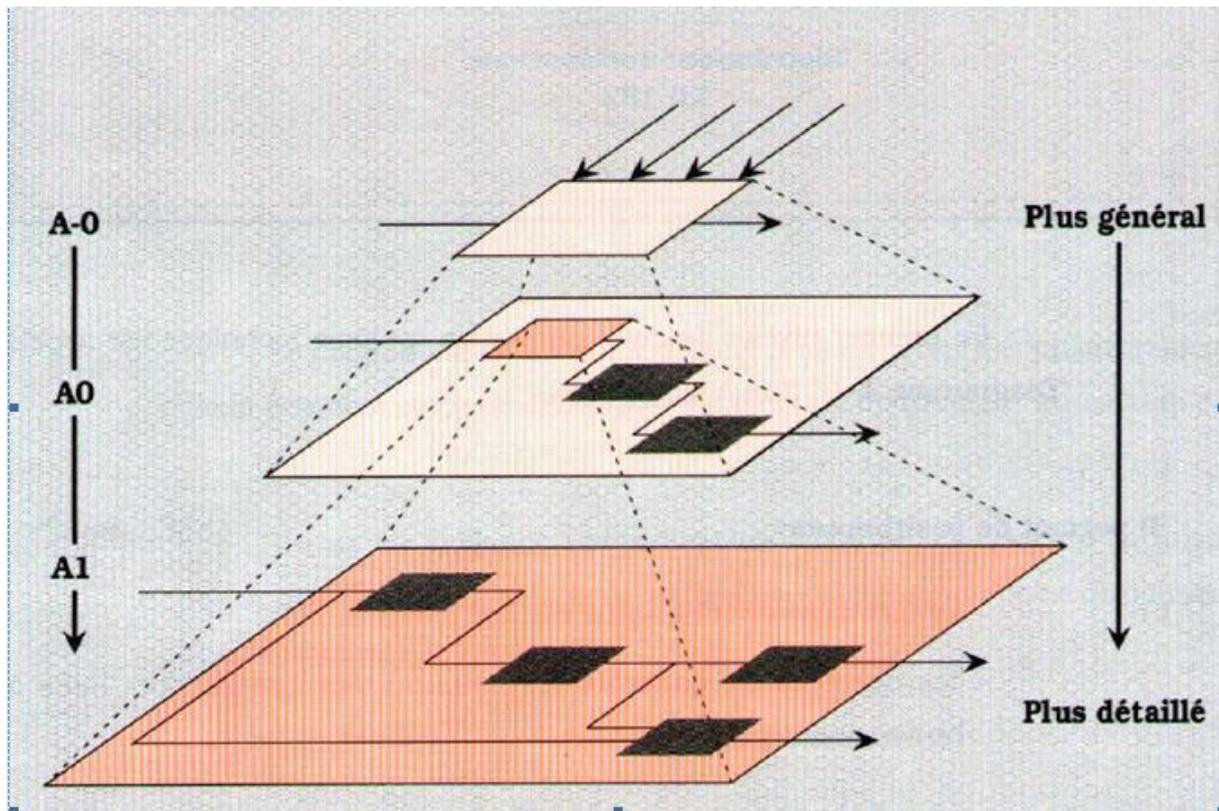


Figure 2-3 : Représentation graphique de la méthode SADT(INERIS)

2.4.2 Objectifs de la méthode

- Spécification fonctionnelle de système complexe,
- Délimiter le cadre de l'analyse,
- Procéder par analyse descendante
- Permettre les échanges aisés avec l'utilisateur,
- Favoriser le travail de groupe (Communication).

2.4.3 Modélisation systémique

La modélisation systémique, issue de la SADT permet de donner une représentation graphique qui permet de mettre en évidence toutes les informations relatives à ce système.

On représente un système par une « boîte » à l'intérieur de laquelle on inscrit la « fonction globale » du système.

L'analyse doit être délimitée à partir d'une étude préalable qui permet d'établir la boîte du premier diagramme.

Cette boîte représentative du système global se numérote A-0 (lire A moins zéro). Niveau A-0 (A moins zéro) Il définit : La frontière d'isolement du système La fonction globale du système qui permet d'apporter de la valeur ajoutée à la matière d'œuvre.

2.4.4 Avantages et Inconvénients de la méthode

✓ Avantages

Être un outil de communication pour :

- L'équipe SADT : répartir le travail et coordonner les efforts,
- Le client (expression des besoins),
- La hiérarchie (direction et suivi du projet) - maîtrise de la réalisation et du suivi.

Permettre la spécification :

- De la qualité,
- Précise,
- Complète.

Structure hiérarchisée par niveau permettant une clarification et une décomposition analytique de la complexité.

✓ Inconvénients

- Pas de représentation séquentielle
- Ne remplace pas l'analyste
- Impossibilité d'une vue globale, sauf au niveau le plus haut
- Ne propose pas de formalisme permettant des vérifications sémantiques.

2.4.5 Représentation des fonctions

Chaque fonction est représentée par une boîte (ou un bloc). Une boîte SADT est située dans son contexte avec les autres boîtes ou modules, par l'intermédiaire de flèches de relation. Ces flèches symbolisent les contraintes de liaisons entre boîtes.

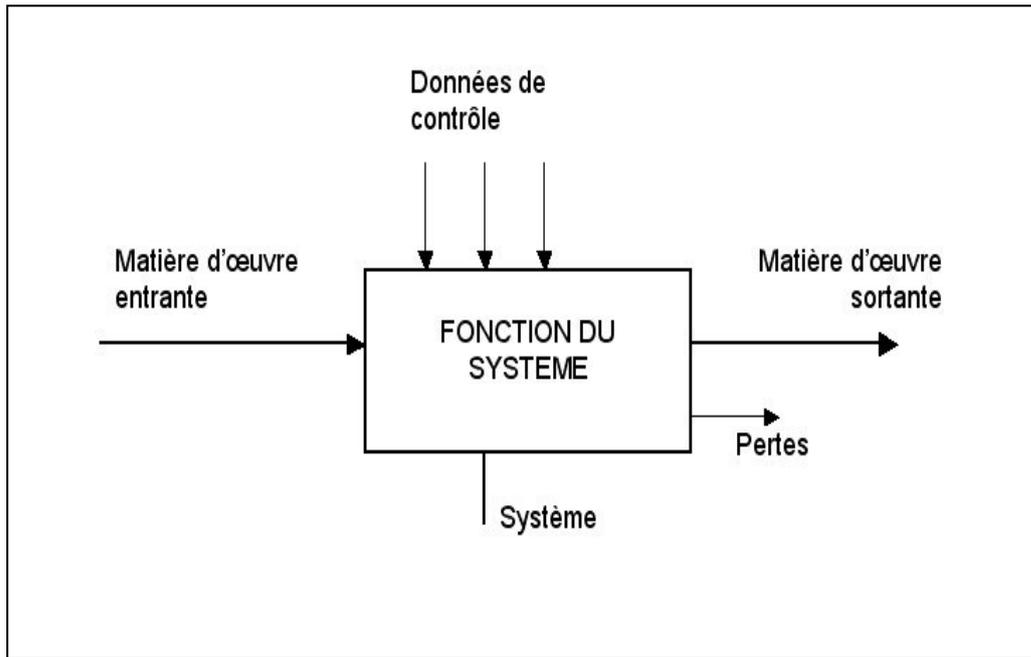


Figure 2-4 : Représentation des fonctions

Définition des éléments représentés

Matière d'œuvre

C'est l'élément sur lequel agit le système pour lui donner une valeur ajoutée. On définit la matière d'œuvre entrante (M.O.E.), avant qu'elle n'ait été transformée par le système, et la matière d'œuvre sortante (M.O.S.) après sa transformation.

Il existe plusieurs types de matière d'œuvre :

- matérielles : pièces, constituants, marchandises...
- informationnelles : données, valeurs, fichiers...
- énergétiques : électricité, énergie mécanique...

Ce chapitre nous a permis d'abordé tous les éléments en relation avec l'analyse des risques.

Dans le chapitre suivant nous allons appliquer les méthodes d'analyse des risques sur les deux zones.

Chapitre 3 : Application des méthodes d'analyse des risques

Chapitre 3 : Application des méthodes d'analyse des risques

Dans le présent chapitre, nous allons appliquer l'SADT et les méthodes d'analyses des risques utilisées : APR, AdD et l'HAZOP.

L'SADT est appliquée pour une bonne connaissance de l'ensemble des activités.

3.1 Décomposition fonctionnelle (équipement et composants) SADT

Le centre CE061 est composé en plusieurs zones comme nous intéressons aux opérations de dépotage nous avons considéré deux systèmes en relations avec les activités de centre.

- ✓ Système 1 : Dépotage.
- ✓ Système 2 : Stockage.

La décomposition de ces deux systèmes est dans le tableau suivant :

Tableau 3-1 : Composition fonctionnelle du dépotage et le stockage

N°	Système	Sous système	Équipements	Composants
1	Dépotage	Poste de déchargement /chargement	- Bras de dépotage mixte (butane – propane)	- Indicateur de pression
			- Bras vrac	- Soupapes
			- Bras butane	- Vannes
			- Bras propane	- Couronne d'incendie
			- Canalisation	
			- Systèmes de détection	- Flamme, fuite
			- Réseaux incendie	- Couronne
2	Stockage	Sphères, cigares et canalisations	-Trois cigares 150 M ³	- Vannes de purge
			-Neuf cigares 150 M ³	
			-Une sphère 1000 M ³	- Clapets hydraulique
			-Une sphère 1450 M ³	- Clapets anti-retour
			-Deux sphères 2000 M ³	Soupapes
			-Une sphère 3000 M ³	
			- Canalisation	Q = (6, 4, 3,2) P''
			-Système de contrôle des paramètres	PT < 6 bar, 15C° < TT < 45C° 15% < LT < 85%
			- Systèmes de détection	- Flamme, fuite
			réseaux incendie	Couronne

Après avoir décomposé tout le système, on passe à l'application de notre méthode SADT sur l'opération de dépotage comme il est présenté dans la figure suivante :

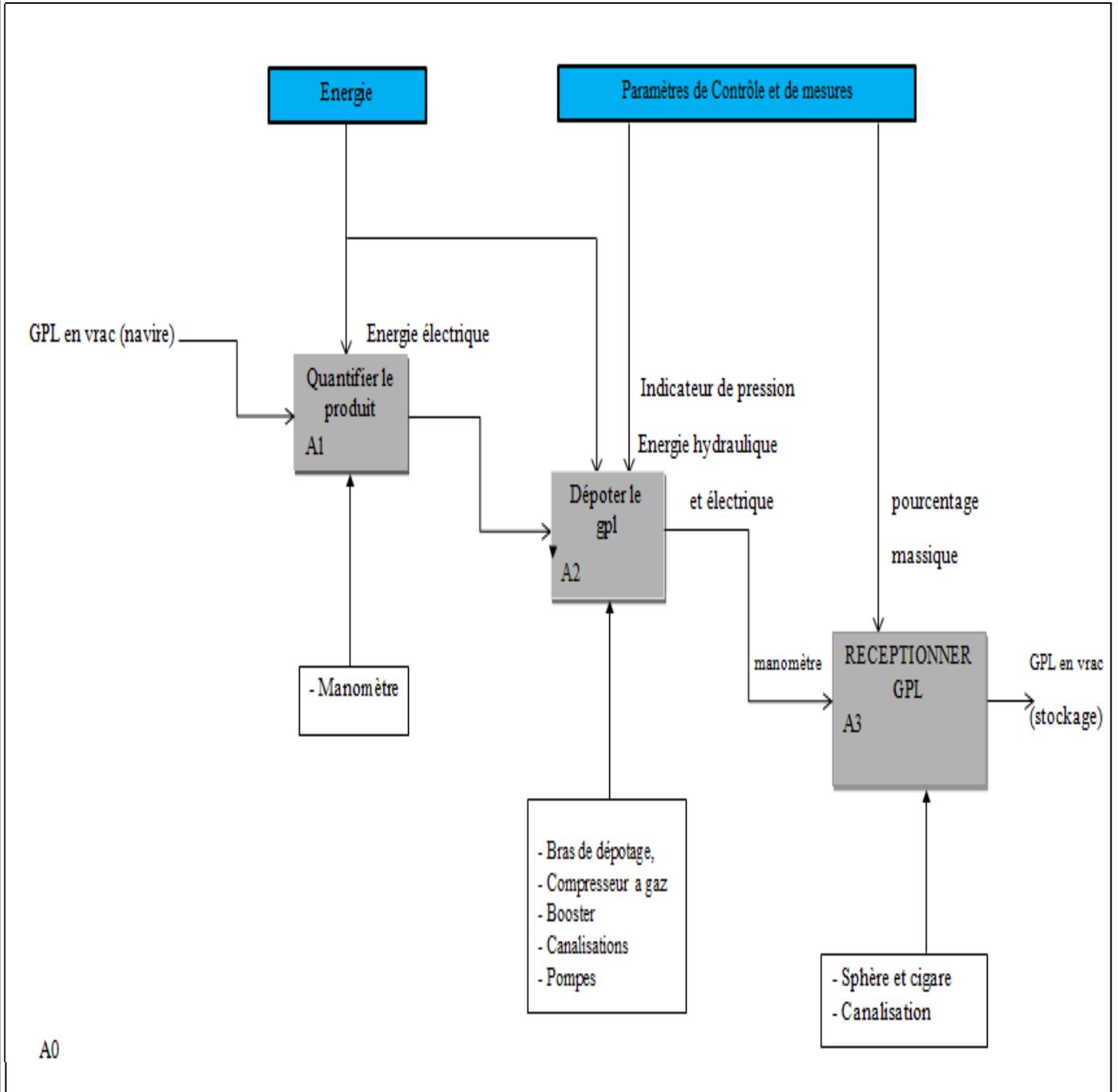


Figure 3-1 : Sous-systèmes fonctionnels

D'après la décomposition fonctionnelles de tout le système, on possède à détailler la composition de l'opération de dépotage comme la figure ci-dessous le présente :

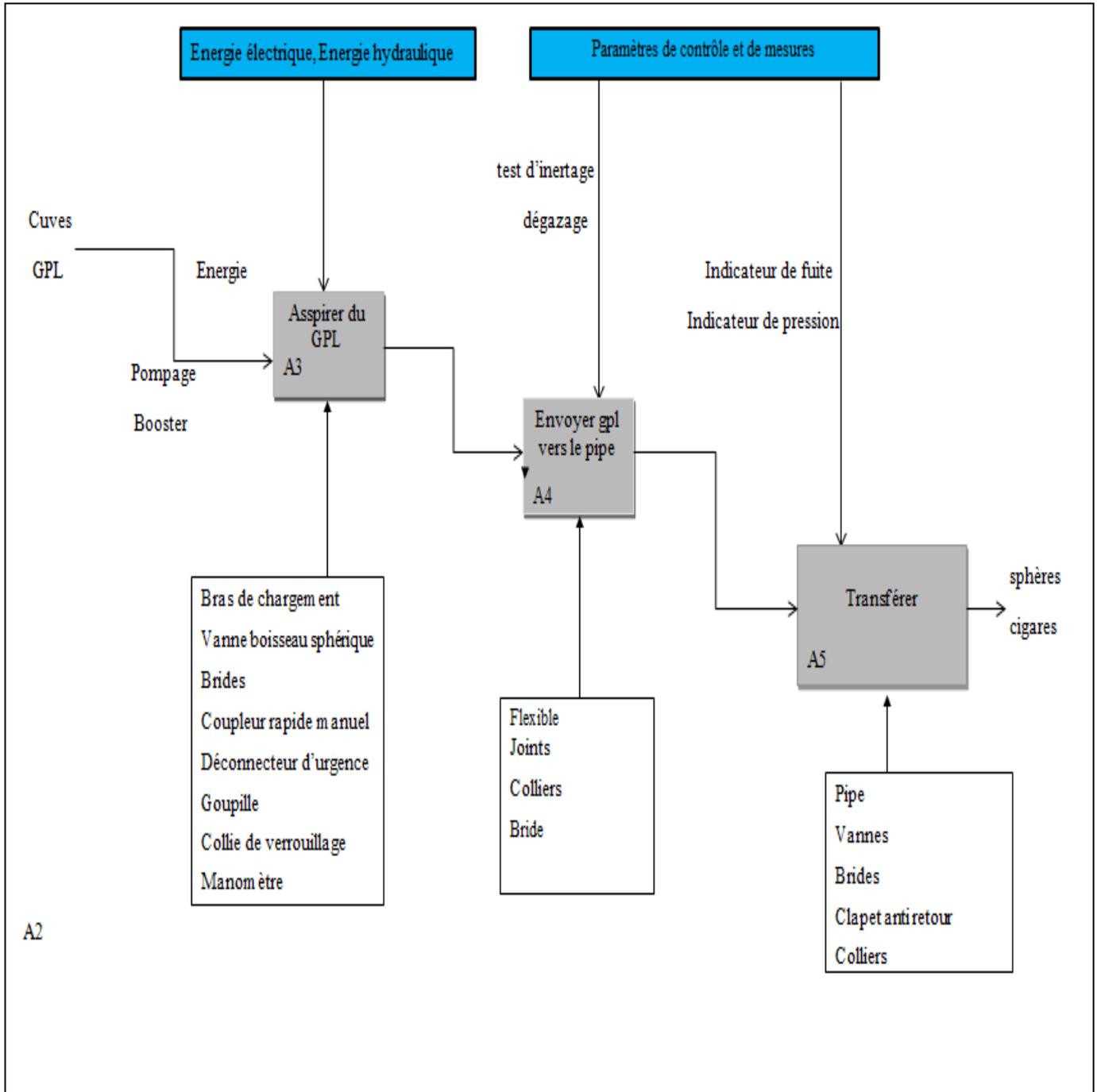


Figure 3-2 : Sous-systèmes fonctionnels de l'opération de dépotage

3.2 Analyse préliminaire des risques (APR)

L'application de la méthode APR se déroule sur l'ensemble du quai et du navire, comme il est montré dans la figure 3-3 suivante :

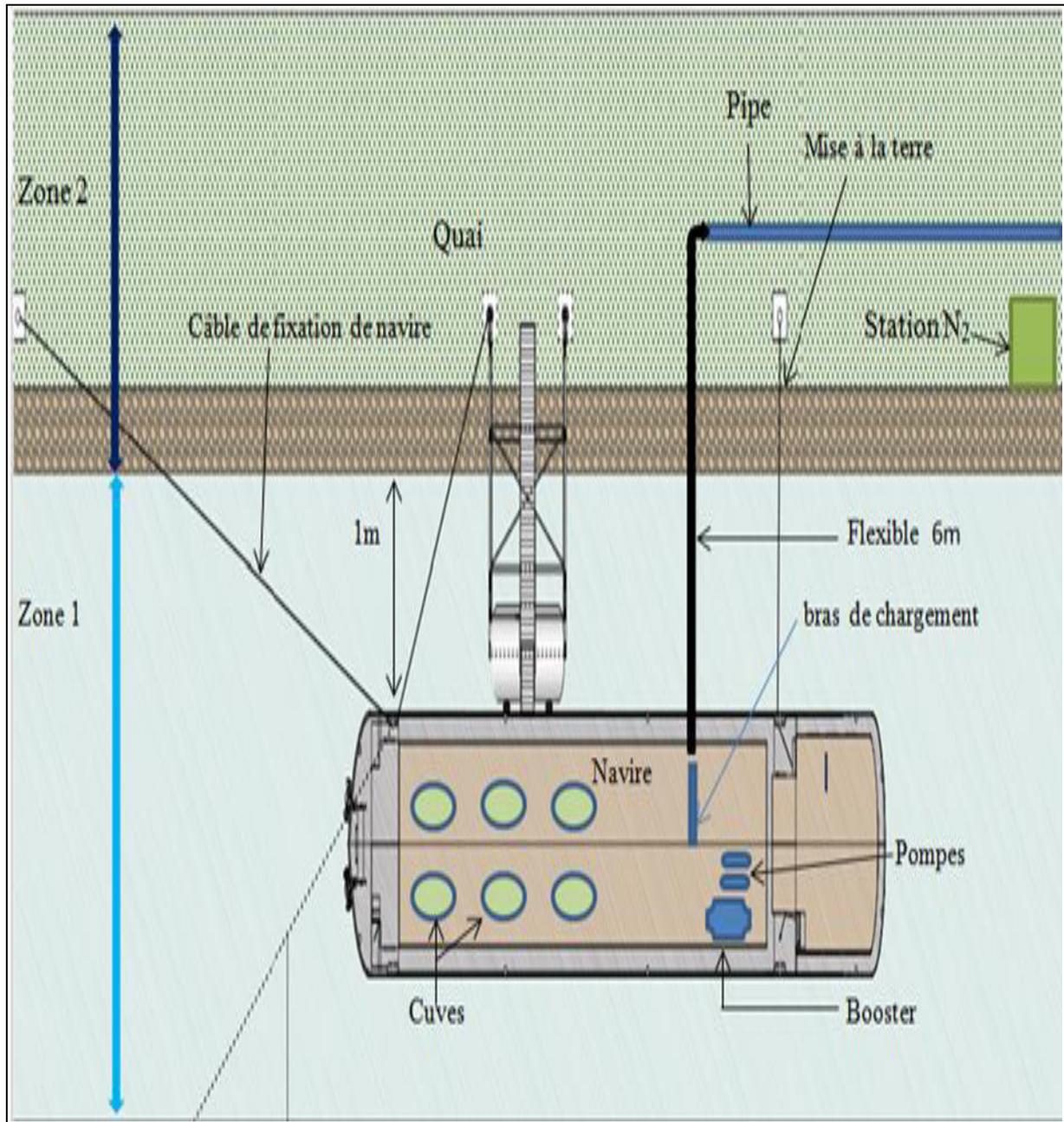


Figure 3-3 : Deux zones étudiées.

Nous avons élaboré L'APR sur l'ensemble (quai et navire) et ce dans le but de déterminer la zone la plus critique dans le sens de risques inacceptables. **Annexe 01**

Nous avons déterminé notre champ d'étude et les différentes grilles (gravité, fréquence et criticité) qui ont été validé par l'équipe de département HSI de Naftal, et l'encadreur, les tableaux sont représentés ci-dessous :

Tableau 3-2 : Grille de gravité

Cotation	Gravité	Signification
1	Événement mineur	Perte de produit
2	Événement significatif	Blessé léger, dégâts aux installations
3	Événement grave	Blessé grave, forte dégâts aux installations, atteinte grave à l'environnement
4	Événement catastrophique	Morts, destruction totale de l'installation, explosion, incendie, atteintes catastrophiques à l'environnement

Tableau 3-3 : Grille de fréquence

Cotation	Fréquence
1	Rare
2	Peu fréquent
3	Fréquent

Tableau 3-4 : Criticité, et le critère de décision

Fréquence		Gravité			
		Catastrophique	Grave	Significatif	Mineur
		4	3	2	1
Rare	1	Inacceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
Peu fréquent	2	Inacceptable	Inacceptable	Acceptable	Acceptable
Fréquent	3	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable	Acceptable

3.2.1 Déploiement de l'APR

Les résultats sont représenté dans les tableaux suivant :

Tableau 3-5 : Nombre de risques avant la mise en place de mesures de sécurité

	Zone 1	Zone 2	total
Nb de risques	4	2	6
Pourcentage %	60	40	100

Tableau 3-6 : Nombres de risques inacceptables

	Zone 1	Zone 2
Nb de risques	4	2
Risque inacceptable	2	2
Pourcentage de risque inacceptable	50	50

Tableau 3-7 : Nombres de risques après la mise en place de mesures de sécurité

	Zone 1	Zone 2
Nb de risques	4	2
Nb de risque inacceptable	2	0

Le résultat de cette analyse nous a permis de justifier le choix de la zone (1) qui est la plus critique au dépotage qui est la principale opération, soit 50 % des risques.

Les évènements redoutés sont :

- Collision
- Rupture
- Fuite

Nous remarquons la plus part des évènements redoutés sont la fuite et la rupture qui nous donne des résultants des risques critiques inacceptable, ayant comme cause l'augmentation de pression sur la canalisation et sur ses accessoires (vannes, brides, soupapes, etc.)

Nous remarquons également qu'avant la mise en place de mesures de sécurité, (4) risques inacceptables repartis entre les deux zones à 50 %.

Après la mise en place de mesures de sécurité nous remarquons qu'ils ont reste que (2) risques inacceptable localisé sur la zone (1), et les évènements redoutés les plus sont la fuite et la rupture.

Afin de poursuivre notre analyse de risque nous proposons d'effectuer l'arbre des défaillances AdD sur l'évènement redouté **fuite**, ce choix est motivé par le fait que la fuite est prioritaire (sournoise) sur la rupture.

3.3 Arbre de défaillance AdD

Nous avons déterminé l'évènement redouté suivant le déploiement de l'APR.

Huit évènements sont responsables de la fuite est qui sont :

- ✓ **Vieillessement de bride**
- ✓ **Vibration de canalisation**
- ✓ **Corrosion de vanne organe d'étanchéité**
- ✓ **Choc physique**
- ✓ **Relâchement de collier**
- ✓ **Rupture de collier**
- ✓ **Défaut de système de détection**
- ✓ **Non surveillance**

L'élaboration de l'AdD a été faite grâce à la décomposition SADT.

L'AdD de la figure 3-4 illustre la combinaison de ses évènements.

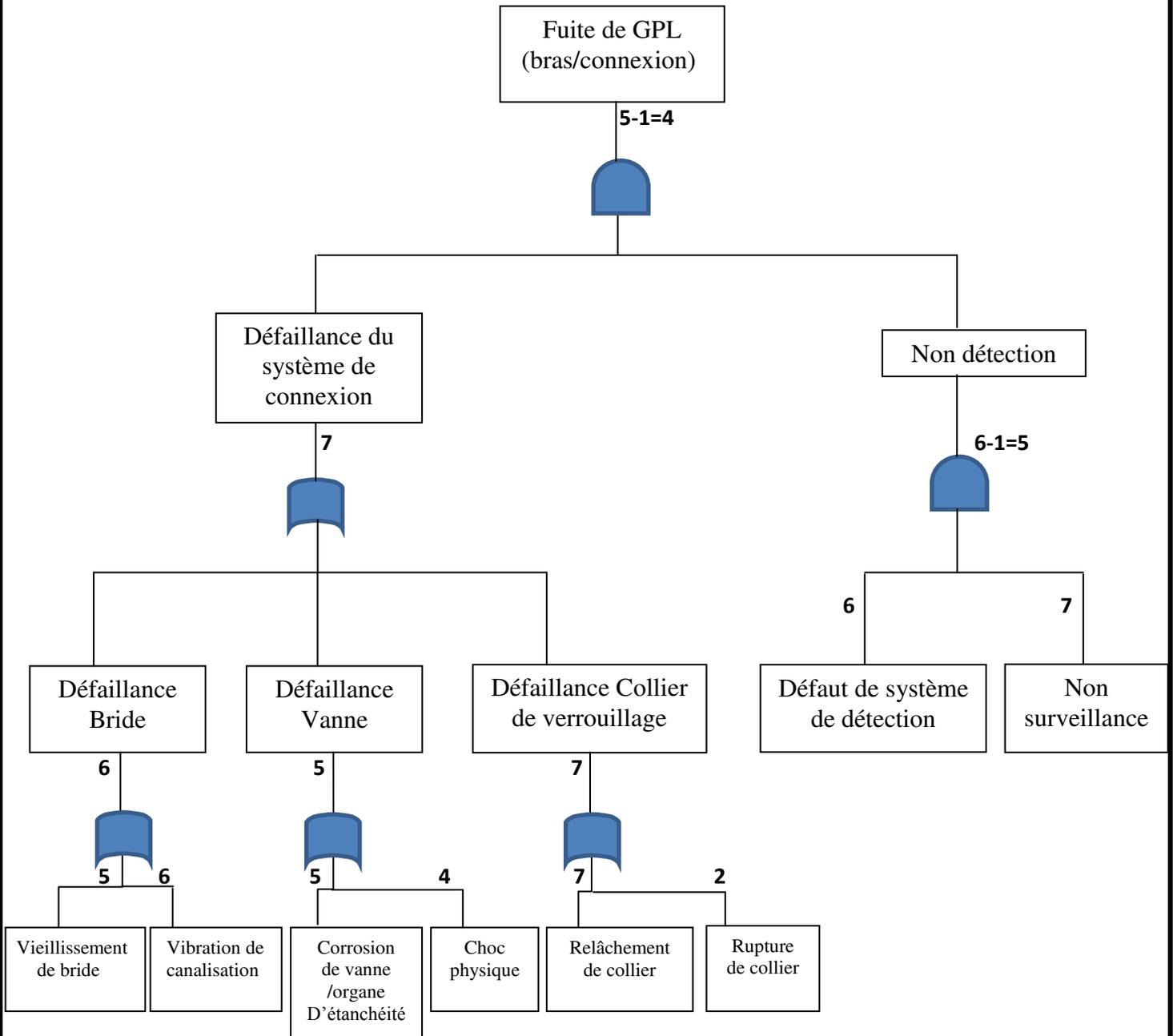


Figure 3-4 : Arbre de défaillance d'évènement non souhaité « Fuite de GPL ».

3.3.1 L'interprétation de l'Add

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que la fuite c'est l'évènement le plus présent, mais selon la grille donnée il est considéré comme un évènement rare.

L'APR et l'Add ayant montré que l'installation présentant des risques suite à l'évènement redouté fuite est précisément au niveau de bras de déchargement.

De là nous proposons d'analyser le risque suite au transfert de GPL, pour cela l'appel à la méthode HAZOP s'avère nécessaire pour compléter l'analyse.

3.4 Méthode HAZOP

3.4.1 Schématisation de bras de déchargement

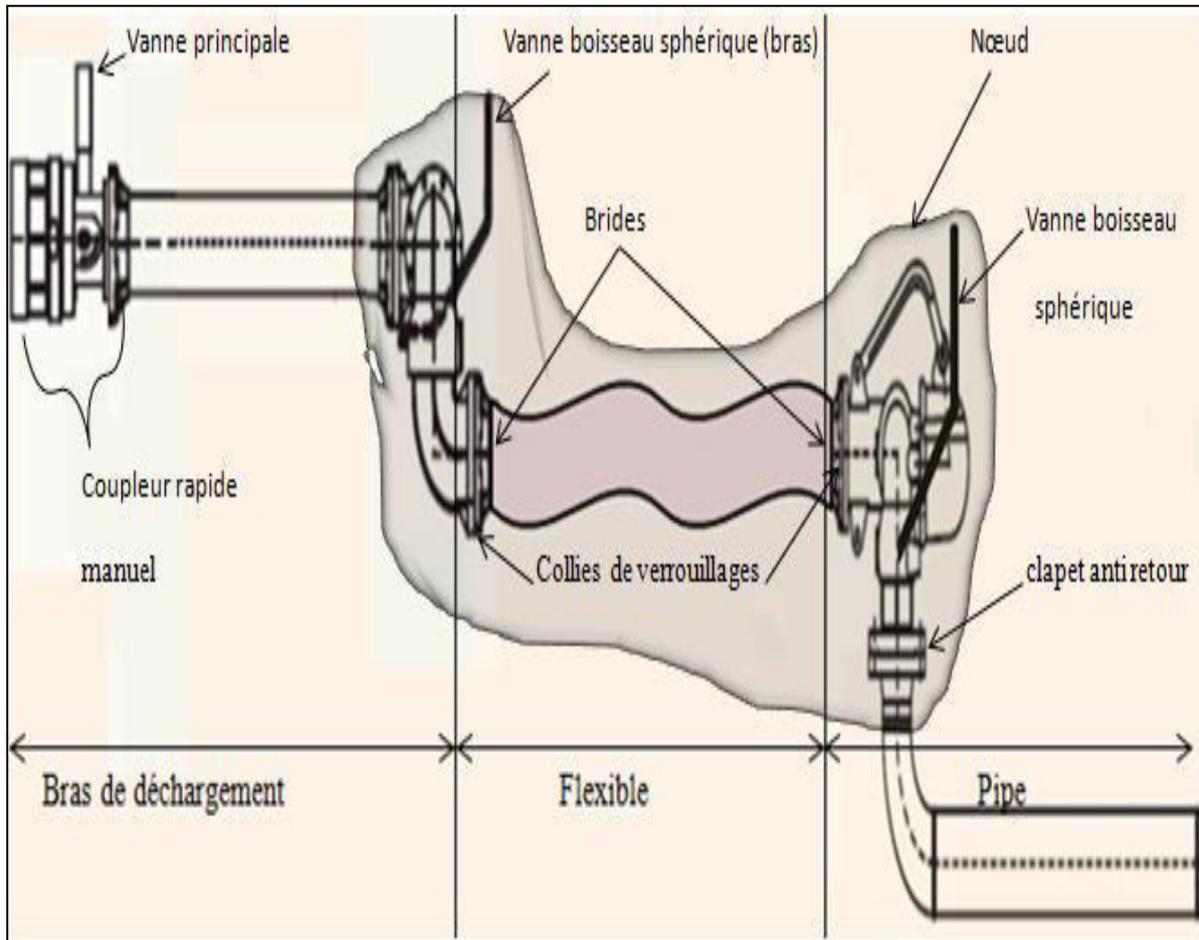


Figure 3-5 : Schéma de nœud utilisé dans la Méthodes HAZOP

3.4.2 Résultat de la HAZOP

La HAZOP nous a permis d'identifier les différentes dérives qui peuvent exister lors des deux phases de manipulation des GPL (dépotage, transfert) et qui engendrent des accidents plus ou moins graves, qui ont pour origine différentes causes directes ou même indirectes, provoquant des conséquences importantes, dont des pertes humaines, ainsi matériels et économiques, les résultats obtenus des niveaux d'acceptabilités sont illustrés dans **annexe 03**.

3.4.3 Interprétation des résultats

Nous remarquons que les dérives inacceptables enregistré liés à la variation de la pression, qui a été la cause de survenance de deux principaux événement qui sont la fuite et la rupture instantané de l'un des organes de connexion.

La plupart des fuites étudiées se sont produites sur la canalisation elle-même et sur les accessoires (vannes, brides, soupapes, collier de verrouillage, etc.).

Parmi les accidents qui se sont produites sur la canalisation, les causes les plus courantes sont, par ordre décroissant, les agressions externes, les erreurs opératoires et les défaillances mécaniques.

Les défaillances sur les colliers de verrouillages sont les premières causes de fuites provenant des accessoires. Les vannes et les brides sont ensuite mises en cause.

Cette section nous a permis à partir de la première étape d'analyse (APR), d'identifier les événements redoutés et les zones les plus critiques du quai, qui sont : la fuite et la rupture dans la canalisation, par ailleurs nous avons constaté dans la deuxième étape, lors de l'emploi de la méthode d'arbres de défaillance AdD sur l'événement redouté pour regrouper l'ensemble des événements initiateurs ainsi que leurs combinaisons qui sont responsables sur l'apparition des événements redoutés centraux et qui sont la cause du phénomène dangereux.

De ce fait, nous avons été amené à appliquer la méthode HAZOP, que la majorité des scénarios ont pour causes perte de confinement au niveau des organes de connexion et qu'ils sont toujours suivis par d'autres phénomènes dangereux.

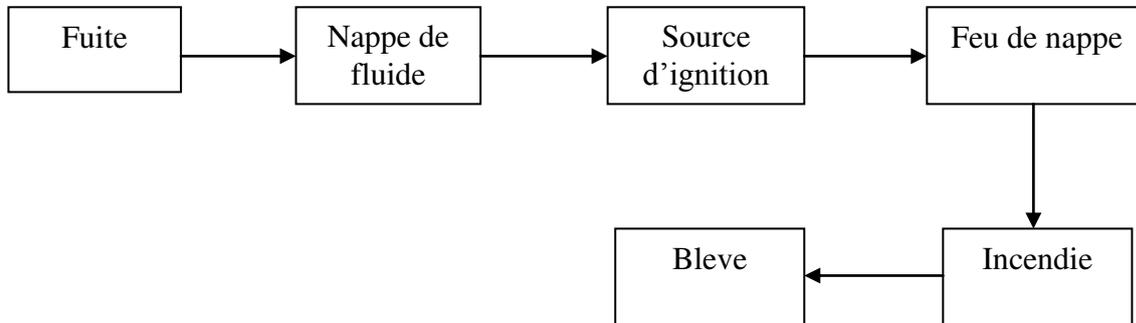
Les résultats obtenus selon les méthodes d'analyse des risques sont présenté dans le tableau suivant :

Tableau 3-8 : Résultats des méthodes utilisées

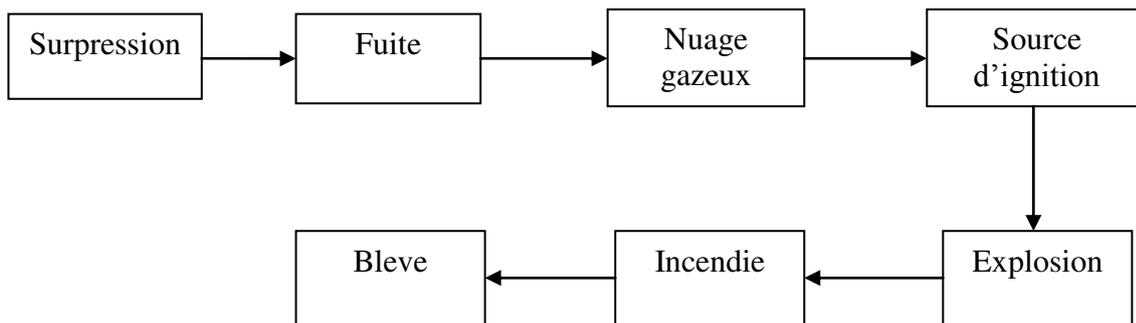
Méthodes	Résultants
APR	Zone critique : 01. Évènement redouté : Fuite, rupture.
AdD	Causes de la fuite : Vieillessement de bride, vibration de canalisation, corrosion de vanne, organe d'étanchéité, choc physique, relâchement ou rupture de collier, défaut de système de détection, non surveillance
HAZOP	Suppression dû à : l'augmentation de la capacité de pompage, ou le mauvais dégazage.

– Scenarios retenue :

✓ **Scenario 01** : Cas de liquide



✓ **Scenario 02** : Cas de gaz



Ses scenarios nous donnent une vision sur la gravité de l'ER la fuite, et la possibilité de se développer en un accident grave tel que le Bleve, d'une autre part la négligence de cette fuite peut nous causer des phénomènes dangereux difficile à maitriser.

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

Chapitre 04 : Évaluation des effets, et action de maîtrise

Chapitre 04 : Évaluation des effets, et action de maîtrise

Dans le présent chapitre nous allons utiliser le logiciel PHAST pour modéliser les effets du phénomène dangereux retenu dans le chapitre précédent le BLEVE.

4.1 Modélisation des effets et simulation

Les effets d'un Phd se propagent sur le long de l'étendue en détruisant tout ce qui se trouve sur le chemin. Les conséquences de ces effets sont parfois destructives pour les structures et mortelles pour les personnes.

Pour cela il est primordial de connaître les effets qui pourraient être émis par un phénomène dangereux généré par une installation afin de mettre en place des mesures adéquates pour s'en prévenir.

4.1.1 Sélection du phénomène dangereux

Du fait du caractère très inflammable du GPL, les phénomènes accidentels les plus probables sont des explosions et/ou des incendies. Ces accidents ont tous une cinétique rapide, c'est-à-dire qu'ils surviennent et se développent instantanément.

Tous les stockages de gaz liquéfiés sous pression sont susceptibles d'être le siège de phénomène d'explosion de type BLEVE comme nous l'avons bien constaté lors de l'étude détaillée de l'analyse des risques et la schématisation des scénarios.

Pour étudier ce phénomène-là, nous allons modéliser ces effets à l'aide du logiciel PHAST et des modèles mathématiques pour prendre les distances d'effets les plus grandes pour des fins de haut niveau de sécurité.

De ce fait, nous allons dans ce qui suit décrire ce phénomène avant de le modéliser pour recenser sa gravité à partir des distances atteintes par les flux dégagés lors de l'éclatement des réservoirs des navires.

4.1.2 Rappel théorique du phénomène « BLEVE »

Une explosion est un type de combustion ou de surpression violente qui met en œuvre des réactions chimiques et des phénomènes dynamiques inhérents aux écoulements de fluide. Elle se crée une expansion rapide du mélange accompagnée de phénomènes soniques. [7]

Donc, c'est une évolution rapide d'un système avec libération d'énergie qui peut avoir une origine physique ou chimique avec production d'effets mécaniques et/ou thermiques.

On distingue deux types d'explosion qui génèrent une énergie d'origine physique :

- la rupture d'un récipient pressurisé par un gaz (BLEVE Froid).
- la vaporisation brutale d'un liquide surchauffé (BLEVE Chaud).

4.1.3 Description du BLEVE

Le BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*) ou explosion de vapeur en expansion par ébullition d'un liquide est le scénario d'accident majeur le plus redouté pour les réservoirs de gaz liquéfiés. Il peut être défini comme la vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température d'ébullition à la pression atmosphérique.

Tous les stockages de gaz liquéfiés sous pression sont susceptibles d'être le siège d'un BLEVE. En effet, le BLEVE est associé avant tout à un changement d'état à caractère explosif, et non à une réaction de combustion. Aussi, il n'est pas nécessaire que le produit concerné soit inflammable pour parler de BLEVE.

Les effets d'un BLEVE sur l'environnement se manifestent généralement de trois manières :

- ✓ **Effets missiles** : projection de fragments à des distances parfois très importantes.
- ✓ **Effets thermiques** : dans le cas d'un BLEVE de gaz liquéfié inflammable, rayonnement de la boule de feu.
- ✓ **Effets de surpression** : propagation d'une onde de choc.

Les principales causes d'un BLEVE qui ont été identifiées, dont deux sont liées à des agressions externes :

- ✓ **Agression mécanique** : Un réservoir ayant subi une corrosion est plus faible qu'un réservoir neuf, il suffit que la température excède les 35°C pour qu'elle survienne ;
- ✓ **Agression thermique** : le feu de torche, feu de nappe ou hausse de la température durant l'été peut causer un "BLEVE" si le réservoir de GPL est mal entretenu ;
- ✓ **Sur-remplissage du réservoir.**

4.1.4 Types de BLEVE

Il y'a deux types de BLEVE :

- BLEVE Froid

Le BLEVE se produit avec un réservoir qui contient un liquide sous pression, liquide qui, s'il n'était pas sous pression, serait à l'état gazeux ; le réservoir n'est jamais complètement rempli, il y a un «ciel gazeux» qui maintient cette pression.

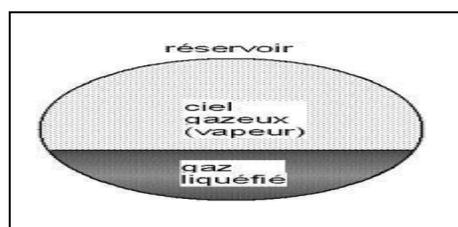


Figure 4-1 : Réservoir rempli d'un gaz liquéfié avec un ciel gazeux sous pression

Le BLEVE froid survient lorsque le réservoir qui contient le liquide se rompt à cause d'un choc, à une mauvaise manipulation, ou à une fragilisation.

Lorsqu' une fissure se crée, la pression de l'air, qui était à pression atmosphérique, passe brusquement à la pression du réservoir, il y a donc une première onde de surpression, un «bang». Puis, le gaz s'échappe par cette fissure, sous la forme d'un jet.

La pression baisse donc rapidement dans le réservoir, le liquide se met à bouillir, non pas sous l'effet de la chaleur, mais sous l'effet de la chute de pression.

Puisque le liquide bout, il se transforme rapidement en gaz, et la pression augmente de manière très importante dans le réservoir.

Cette pressurisation catastrophique provoque la propagation de la fissure puis la rupture totale du réservoir avec une deuxième onde de surpression, c'est le BLEVE froid.

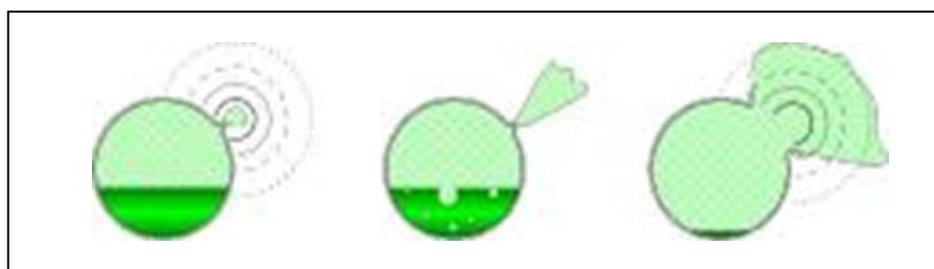


Figure 4-2 : Différents ondes de pression

- BLEVE chaud

Dans les cas les plus graves, la rupture du réservoir est due à un échauffement par un feu extérieur. Sous l'effet de la chaleur, le liquide dans le réservoir se met à bouillir, la pression dans le réservoir augmente ; le gaz s'échappe alors par une soupape de sécurité (qui joue le rôle d'une fissure permettant de retarder l'accident et de laisser plus de temps aux secours pour évacuer et combattre le sinistre), pouvant produire à cette occasion un jet de feu. Par conséquence, le niveau du liquide baisse dans le réservoir.

Comme le gaz conduit moins la chaleur que le liquide, la partie de la paroi du réservoir qui se trouve au-dessus du liquide s'échauffe de manière très importante tandis que dans la partie basse, la chaleur de la paroi est évacuée de l'autre côté par la convection du liquide. La paroi surchauffée s'affaiblit, puis finit par se rompre en provoquant l'accident.

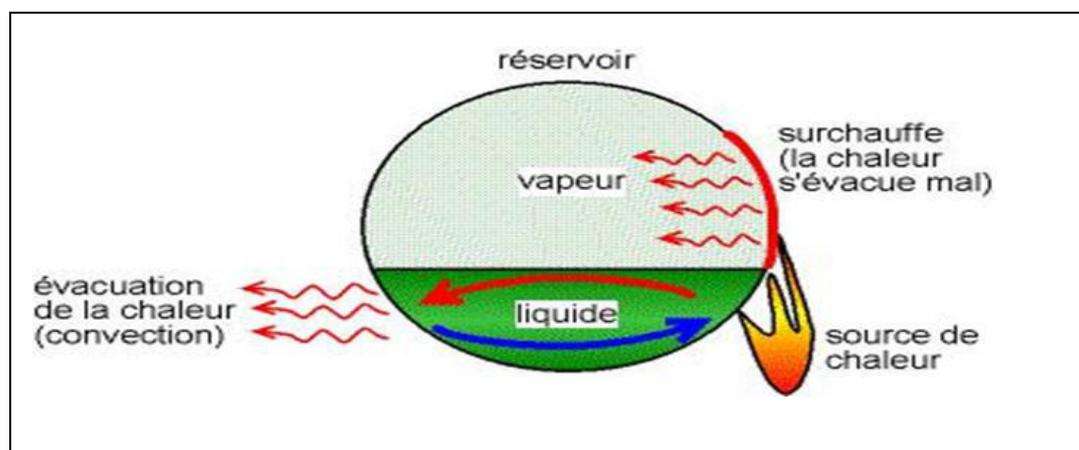


Figure 4-3 : Mécanisme de surchauffe d'une sphère de stockage

Lorsque la paroi se rompt, il y a :

- Une onde de surpression, due à la libération du gaz suite à la rupture du réservoir.
- L'apparition d'une boule de feu : si le gaz qui s'échappe est inflammable. Il se mélange avec l'air et peut s'enflammer instantanément sous l'effet de la chaleur ou d'une étincelle.
- Lorsque le gaz s'échappe, il y aura une diminution de pression dans le réservoir ce qui permet au reste du liquide de bouillir et de venir alimenter la boule de feu. Il y a donc une énorme chaleur libérée.

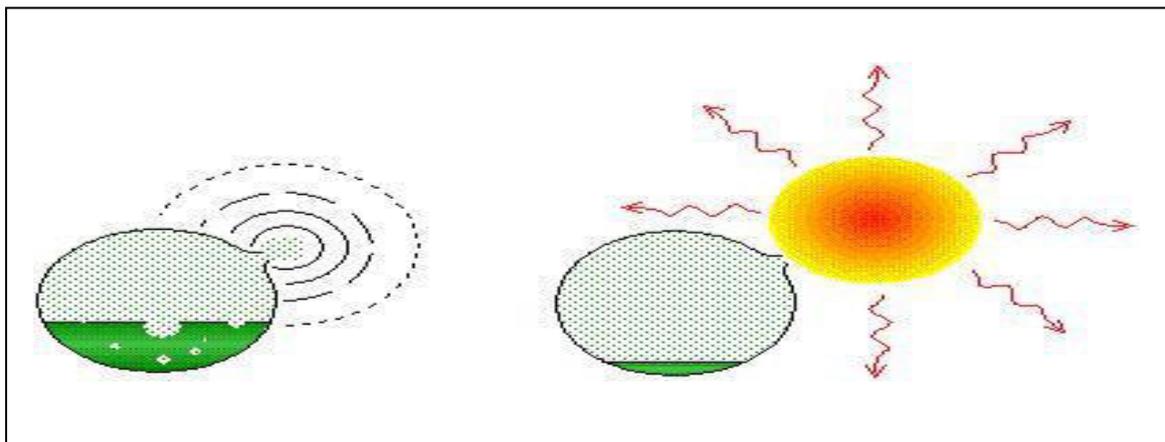


Figure 4-4 : Conséquences de la combustion du mélange gaz/air avec rayonnement intense

Dans notre cas on travaille sur le BLEVE chaud.

4.2 Modélisation des effets d'explosion

Les effets d'une explosion sont caractérisés principalement par une onde de pression de forte intensité mais de courte durée, qui se propage dans l'environnement et balaye tout sur son passage.

L'onde peut avoir des effets directs sur les individus et indirects lors de l'effondrement des structures.

Les effets d'une explosion sont désastreux, en particulier si celle-ci a lieu dans le cas d'un équipement dans un site industriel, ce qui conduit à l'amplification des phénomènes initiateurs par effet domino.

Dans le cadre du développement de la sécurité industrielle, il nous est très tôt apparu la nécessité de caractériser les effets des explosions malgré leur complexité apparente.

La modélisation des effets des surpressions d'une explosion, se fait par plusieurs méthodes de calcul.

- ✓ Model de l'équivalent TNT.
- ✓ Model Multi-énergie ou TNO.
- ✓ Model de *Strehlow-Baker*, du nom de ses principaux auteurs.
- ✓ Model CAM (*Conjetion Assessment Model*), proposé par Shell.

- ✓ Model CFD (*Computational Fluid Mechanics*).

Dans notre cas, nous avons choisi d'appliquer le modèle TNT afin d'obtenir l'étendu des effets de surpressions aux alentours de l'explosion.

4.2.1 Application sur le logiciel PHAST

PHAST (*Process Hazard Analysis software tool*) qui peut se traduire par Outil logiciel d'analyse de risque de procédé, est le plus connu et compréhensif des logiciels d'analyse de risques de procédé dans le monde.

PHAST examine la progression d'un accident potentiel depuis la libération de l'énergie jusqu'au plus loin point de dispersion utilisant des modèles d'épandage et évaporation de fluides d'un réservoir, et les effets inflammables et toxiques des substances et des gaz.

L'outil d'analyse des conséquences est pris comme standard industriel d'analyse des risques d'inflammabilité, incendie, explosion et toxicité, et est utilisé par près de 800 organisations dans le monde, ce logiciel est développé continuellement depuis 30 ans.

Pour atteindre les objectifs de la gestion des risques, il faut avoir une connaissance approfondie des dangers présents dans l'installation, le PHAST est l'outil rapide et précis dans l'évaluation des menaces et phénomènes dangereux générés par les différents types de danger.

- Avantages de l'utilisation du logiciel PHAST

- ✓ Faciliter l'élaboration et la mise en œuvre des évaluations des risques pour des fins d'études de danger.

Faciliter les études pour la réduction des coûts en termes de pertes et d'assurances.

- ✓ Permettre l'optimisation de la conception du site et des procédés.
- ✓ Aider l'industrie à se conformer à la législation.
- ✓ Permettre la détermination des niveaux de gravité en tenant compte des conséquences.

- Pour la modélisation des conséquences

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

Nous avons simulé et modélisé les effets du phénomène de BLEVE sur le réservoir de navire 4300 t.

La modélisation nécessite les paramètres suivants :

- Le volume ou la masse de GPL contenu dans le navire.
- La température et la pression de rupture de réservoir.
- Les conditions météorologiques : la vitesse et direction de vent, la température de la région et l'humidité (contenue dans l'étude de dangers 2005).

Dans notre cas, nous avons collecté les données utiles pour l'application du modèle TNT sur le logiciel PHAST.

Les données nécessaires à la réalisation de cette simulation sont :

- Capacité de navire 4300 t.
- Taux de remplissage à 80% de GPL.
- Pression de service est de 15 bar.
- Une pression d'éclatement > 15 bar pression de tarage des soupapes et une température de rupture de 50°C.
- Catégorie 5/D, Vitesse de vent 1,5m/s en direction sud-ouest et classe de climat D.
- Température de la région 28 °C.
- Hauteur élévation des réservoirs par rapport à l'eau est de H= 1m.

4.2.2 Résultats obtenus à l'aide du logiciel PHAST sur les réservoirs de GPL (navire)

Les seuils critiques de surpressions données par le logiciel PHAST sont dans le tableau suivant :

Tableau 4-1 : Surpressions en fonction des distances

Surpression [mbar]	Distance [m]
210	66,1
140	86,65
20	348,94

Les périmètres correspondant à des seuils de surpression sont représentés ci-dessous dans la carte de localisation géographique de la figure suivante. L'épicentre de l'explosion dans notre cas, c'est le réservoir de navire qui se situe au quai.

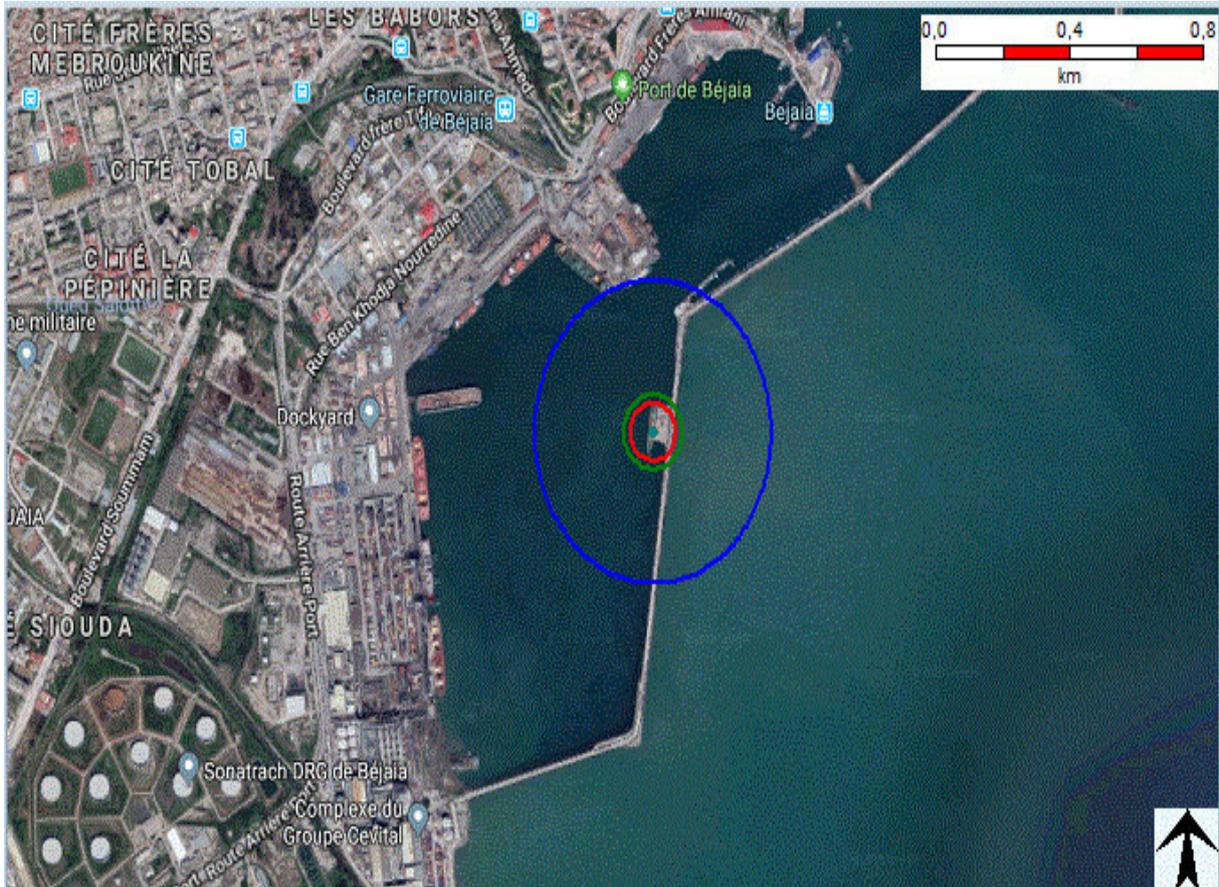


Figure 4-5 : Distances des effets de surpression d'un BLEVE sur le navire

La figure ci-dessous illustre les rayons associés à des seuils critiques de surpression P :

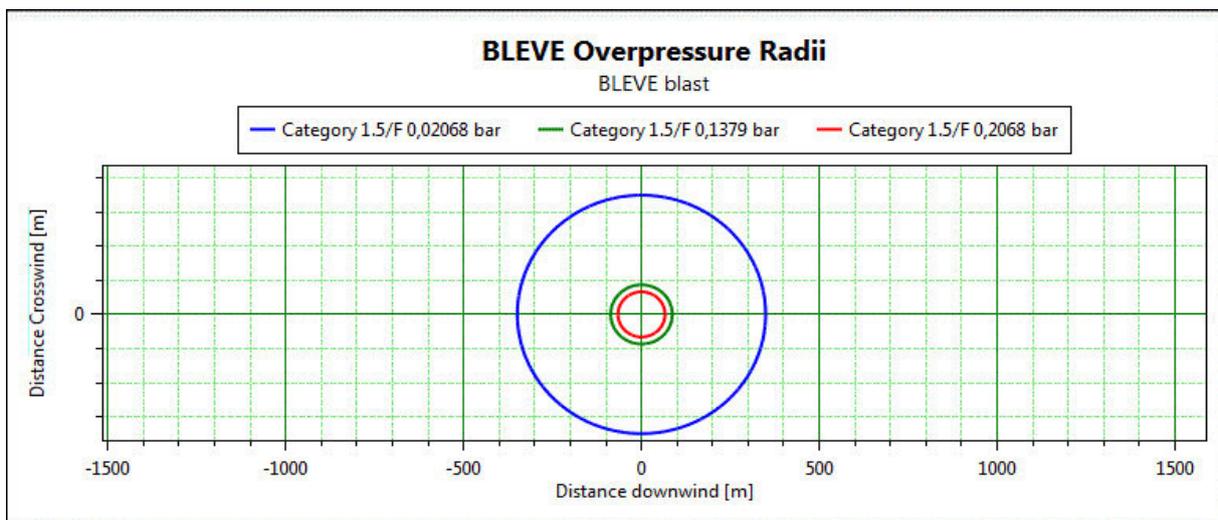


Figure 4-6 : Différents niveaux de surpression selon PHAST.

La courbe représentative de ce nuage de point est présentée dans la figure suivante :

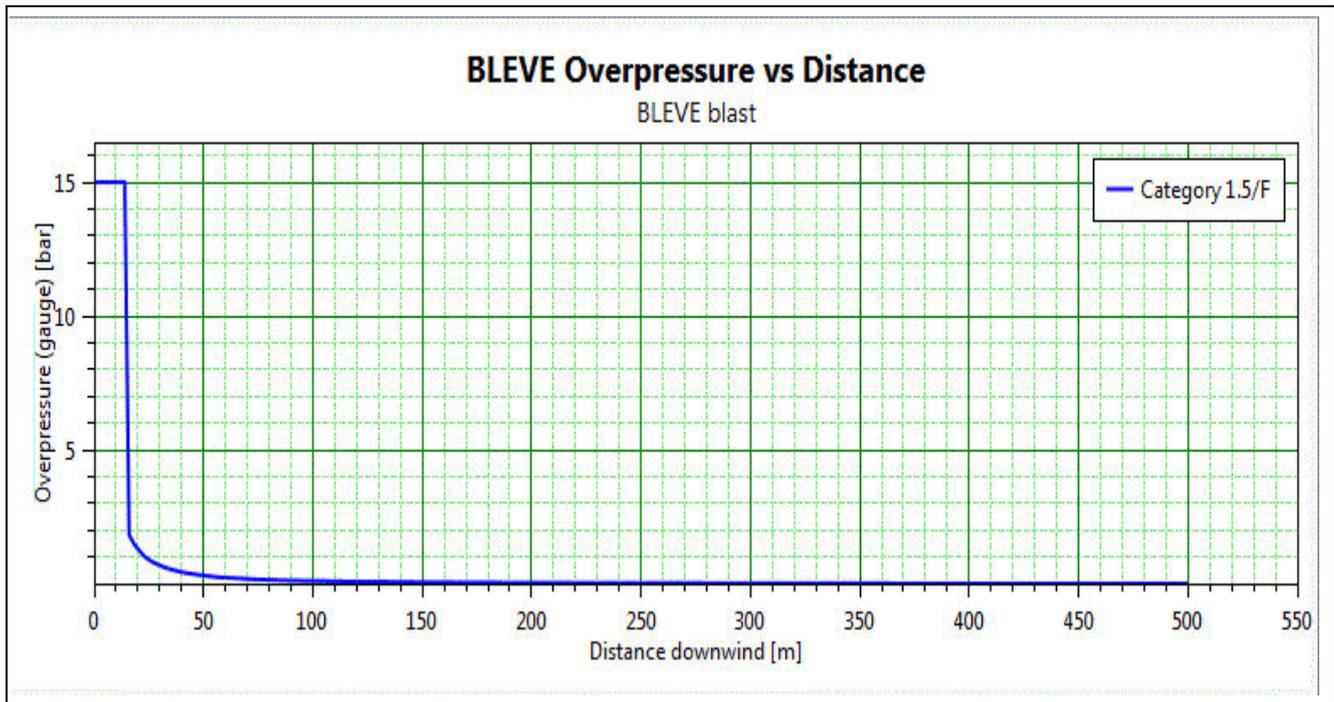


Figure 4-7 : Courbe variation de la surpression en fonction de la distance (PHAST)

4.2.3 Interprétation des résultats du logiciel PHAST

Le rayon bleu est caractérisé par une distance de 348,94 m et une surpression de 0,02 bar, ainsi que le rayon vert qui est caractérisé par une distance de 86,65 m, et une surpression de 0,14 bar, et même le rayon rouge qui est caractérisé par une distance 66,1 m et de surpression de 0,21 bar, d'après les seuils d'effets de surpressions référencées retenus dans la littérature, ces limites de surpression ne présente pas des dommages sur les voisinages, mais elle est susceptible de provoquer des dommages irréversibles, entraînant la mort des employés et les responsables lors l'opération de dépotage, et aussi la destruction de navire, et les équipements sur le quai.

4.3 Théorie de la réduction des risques

La maîtrise des risques nécessite la mise en place des mesures aussi communément appelées barrières de sécurité.

Ces barrières ont pour objectif de réduire la criticité des risques. La réduction des risques passe généralement par la prévention dont le but est de minimiser la probabilité d'apparition

d'une situation dangereuse, et par la protection, dont le but est de limiter les conséquences dans le cas où la situation dangereuse n'aurait pu être évitée.

Pour la sécurité d'un navire, la protection est mise en œuvre sur le type de mesure :

- Protection active (les systèmes d'extinction ou de refroidissement).

Généralement, la combinaison de ces différentes possibilités, et en fonction du risque identifié, nous déterminons le choix des barrières de protection.

L'analyse de risque nous a identifié plusieurs conséquences graves la plus part de ces conséquences ont comme événement redouté central "la fuite" citons :

- Feu de nappe
- UVCE
- Feu de torche
- Dispersion d'un nuage gazeux

Pour réduire ces conséquences, on a eu recours à différents types de mesures de sécurité d'origine technique, ingénierie et organisationnelle parmi ces derniers, on s'est orienté vers l'idée de mise en place d'un Système de refroidissement et d'isolement et cela selon les résultats de notre analyse et la difficulté de la réalisation des barrières d'atténuation qui nous ont guidé vers le choix de la mise en place des barrières de protection, et plus essentiellement la protection des ESP contre les incendies et les flux thermiques qui présentent les causes principales du phénomène dangereux tel que le BLEVE.

Dans notre cas la réduction des risques se présente sur les équipements de connections, comme la méthode AdD nous l'a déterminé lors notre analyse.

Au début, l'évènement redouté fuite est présenté comme un évènement rare, mais important par rapport au danger qui se présente.

Visiblement sur notre travaille, la fuite c'est la cause principale de BLEVE.

C'est pour cela, ce qui est représenté sur les deux scénarios nous pousse à refaire une analyse par la méthode AdD après la mise en place des mesures de sécurité, dans le but de réduire les causes de cette fuite pour diminuer sa probabilité.

Phast nous permis de confirmer que le BLEVE n'a pas d'effets dévastateur sur le quai.

La grande zone d'effets ayant un seuil de 210 mbar, et 348,94 m.

6 mesures de préventions ont été recommandées, et 4 mesures de protections pour une forte sécurité face à cet événement comme suite :

✓ **Sur le plan de prévention**

Obligation de diminuer la probabilité l'ER fuite, ceci doit se faire par la mise en place des mesures de préventions qui sont situés dans les éléments suivants :

- Doubler les équipements de sécurité, comme les colliers de verrouillages et les goupilles etc.
- Vérification périodique des systèmes de détection.
- Amélioration de la fiabilité et la disponibilité des soupapes de sûreté de vanne de remplissage.
- La surveillance permanente au niveau de toute l'installation durant la phase de dépotage par un agent.
- Sensibilisation de personnes concernées de cette opération.
- Formation du personnel pour gérer des situations anormales

Après la mise en place de ces moyens de préventions qui ont influencé sur la réduction de la probabilité de l'ER, on distingue que cette dernière qui est considérée comme un événement rare, est devenue un événement très rare comme la figure 4-8 le montre ci-dessous :

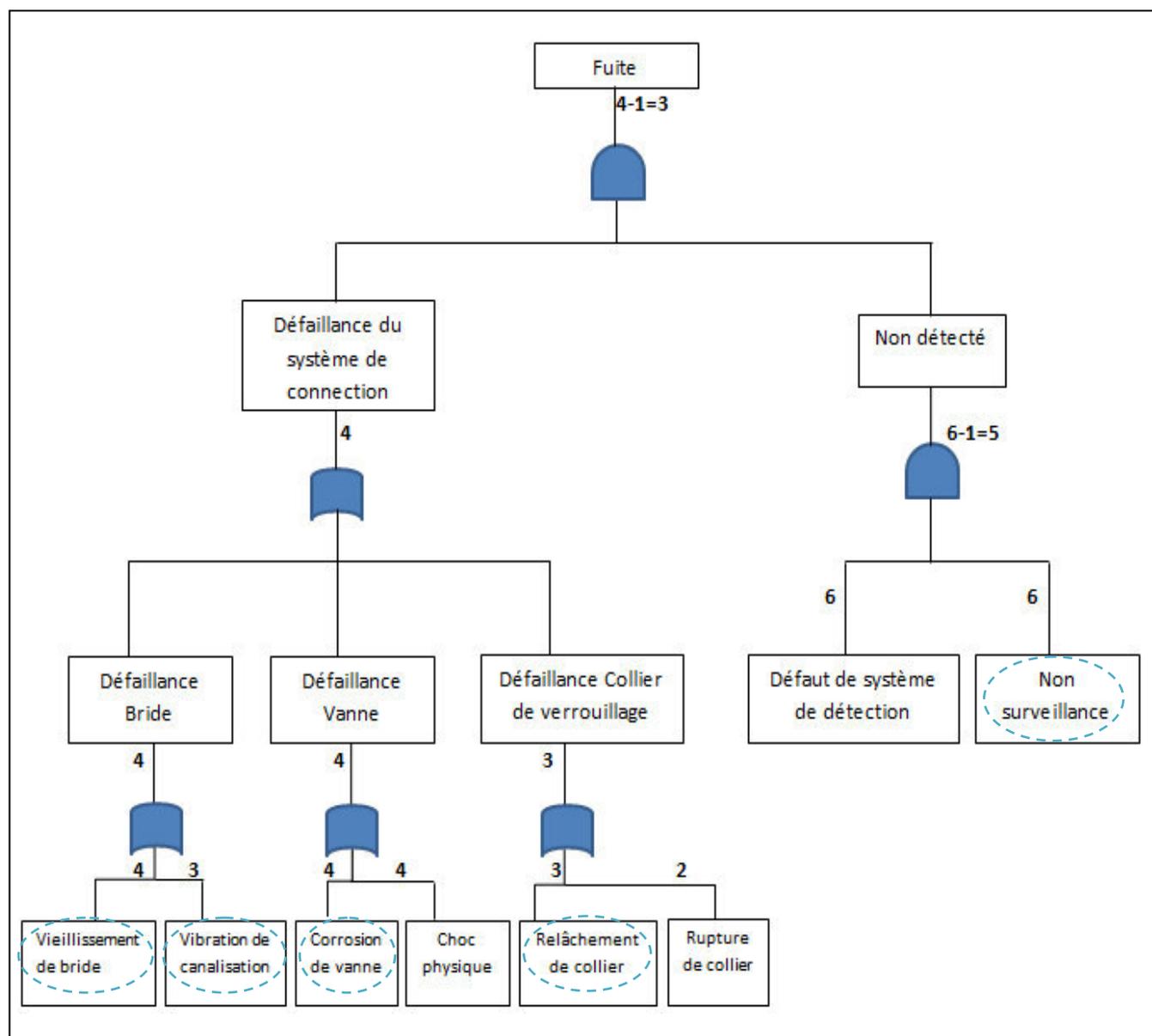


Figure 4-8 : Arbre de défaillance ER « Fuite de GPL » après la mise en place de moyens de prévention.

Interprétation

Nous remarquons d'après la mise en place des mesures de sécurité sur les équipements, la probabilité de l'évènement redouté fuite a été réduite à P3 ce qui est acceptable.

Les éléments encadrés sont ceux lesquels sur quoi on a renforcé la sécurité pour atteindre notre objectif de réduire la probabilité de l'ER.

✓ **Sur le plan de protection :**

Les effets de surpression ne sont pas dévastateurs sur les trois zones (Phast), néanmoins nous proposons les moyens de protections suivants :

- Mettre en place une alarme a haut température au niveau des navires.
- Renforcement de réseau incendie et augmentation de débit de refroidissement de la canalisation.
- Élimination de risque de fuite de GPL à la source, prévention des risques surtout au niveau des installations sur le navire contre les défaillances mécanique, la bonne vérification de l'étanchéité après une intervention sur les vannes, joints et brides.
- Sensibilisation de personnes concernées de cette opération.

Ce chapitre nous a permis d'avoir une estimation et une démonstration de la gravité des effets d'un BLEVE susceptible de survenir lors une rupture instantanée d'un réservoir de navire, et cela avec l'application de la modélisation des effets des phénomènes dangereux par le logiciel PHAST.

Conclusion Générale

Conclusion

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer les risques d'incendie et d'explosion par l'application des méthodes d'analyse des risques.

Pour cela, notre étude a été consacrée à l'analyse approfondie par l'entremise de celle-ci, au niveau de l'opération de dépotage, de centre emplisseur Naftal de Bejaia.

Dans la première partie, à l'aide de l'analyse des risques effectuée, nous avons recensé tous les phénomènes dangereux qui peuvent se produire dans les équipements de connexion. Nous avons ensuite simulé les effets de ces phénomènes par le logiciel PHAST.

Pour atteindre cet objectif, nous avons tracé une méthodologie avec des outils adaptés en alignant notre démarche sur le processus de maîtrise des risques de la norme ISO 31000.

Cette démarche est constituée de quelques étapes enchaînées chronologiquement pour identifier, analyser et évaluer les risques critiques, et mettre les solutions adéquates pour la maîtrise.

Le déploiement de notre analyse s'est effectué en trois étapes l'application de l'APR et l'AdD ainsi que la HAZOP.

Pour l'APR et à l'aide d'une décomposition SADT nous avons confirmé que:

La zone (1) représente plus de la moitié des risques critiques avec un pourcentage de 60%, la plus part des conséquences ont comme événement redouté central « **la fuite** », ces fuites étudiées se sont produites à cause de plusieurs événements initiateur repartis sur deux groupes : agressions externe ou interne, erreurs humaines défaillances mécanique, surpression.

De ce fait, nous avons été appelé à appliquer la AdD pour regrouper l'ensemble des événements initiateurs ainsi que leur combinaisons qui sont responsables sur l'apparition des fuites et qui sont les causes des phénomènes dangereux susceptible de se produire, et nous avons tiré quatre groupe de causes qui se répètent à chaque fois :

- Surpression ;
- agression interne ou externe tel que la corrosion et les chocs mécaniques et physiques ;

- les erreurs humains et d'opérateur puisque la majorité des activités se fait manuellement ;
- défaillances des équipements de sécurité.

Le déploiement de la HAZOP vu les avantages qu'elle apporte est sa spécificité aux systèmes thermo-hydrauliques nous a permis de déterminer, **3 déviations** qui ont pour cause l'apparition des événements non souhaités, car elle nous a montré que les dérives inacceptables présente **33,3%** des dérives totales, et **66,7%** de ces deux derniers l'une est lié à l'absence de pression, et l'autre lié l'inversement de pression.

Enfin pour répondre au besoin de notre maîtrise des risques, notre analyse et les résultats du Phast nous ont montré que des mesures de préventions de type surveillance des équipements peuvent être la démarche de protection des navires, et la lutte contre les phénomènes dangereux, vu que les effets ne peuvent pas atteindre les voisinages donc on a basé sur la protection de navire et le quai.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Analyse des risques et prévention des accidents majeurs (DRA-007) septembre 2002.
- [2] État de l'art des méthodes expérimentales d'analyse de risque (DRA-005) juin 2000.
- [3] Journal Officiel de la République Populaire Algérienne.
- [4] Noyes, D., Gestion des risques par retour d'expérience dans le processus de réponse à appel d'offres. Institut National Polytechnique de Toulouse / Génie industriel 2014. 212.
- [5] Journal officiel de la république Algérienne N°84, 17 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 29 décembre 2004, Loi n°04-20 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, Edition original, p.14.
- [6] International Organization for Standardization (ISO), 25 Juillet 2009, ISO 31000 : Management du risque-Principes et lignes directrices, Edition original.
- [7] Les phénomènes dangereux associés aux GPL dans les établissements de stockage hors raffineries et pétrochimie LE BLEVE. 7 Décembre 2006.
- [8] la base des données ARIA.
- [9] Méthode HAZOP et conduite des revues HAZOP ENSPM 2006. 28.
- [10] Norme SOLAS organisation des navires gaziers.
- [11] Décret exécutif n°14-349 du 8 décembre 2014.

ANNEXES

Annexe 01 : APR sur la zone 1 (navire)

N°	ID	Système	Evénements redoutés	Causes	Conséquences	F	G	C	Mesures de prévention	F'	Mesures de protection	G'	C'	Propositions Remarques
1	1	Stationnement	Collision (navire/navire)	Choc, mauvais plan de circulation, absence de signalisation	Bris, epandage, explosion, incendie, bleve	1	4	4	Tour de garde, détecteur de mouvement, Déclaration d'entrée/sortie	1	Equipe d'intervention, système d'éloignement des navires dans la zone, réseau incendie	3	3	
1	2	Stationnement	Collision (navire/quai)	Choc, mauvais plan de stationnement, mauvaise visibilité	Déséquilibre de navire, bris, explosion, incendie, bleve	1	4	4	Appareil de capteur de distance sur le navire, suffisamment éclairé, Déclaration d'entrée, guidage de la manœuvre	1	Equipe d'intervention, système d'éloignement des navires par rapport au quai,	3	3	
2	3	Dépotage	Fuite	Défaillance des organes de connection de bras (bride, vanne, collier de verouillage, coupleur rapide manuel, goupille), corrosion	Formation de nuage gazeux, nappe de fluide, source d'ignition, explosion, incendie, UVCE, pollution	3	4	12	Contrôle de pression, contrôle périodique de l'installation, maintenance, détecteur de fuite, détecteur de flamme	2	Fermer la vanne principale, système de vidange, réseau incendie,	1	9	
2	4	Dépotage	Rupture	Choc, défaut de fonctionnement des organes, vieillissement des équipements	Epondage du gpl, pollution, explosion, incendie	3	4	12	Maintenance, contrôle des installations, teste de fiabilité, détecteur de pression, isolation électrique	2	Réseau incendie, arrêt d'urgence de dépotage	2	9	

Annexe 02 : APR sur la zone 2 (quai)

N°	ID	Système	Evénements redoutés	Causes	Conséquences	F	G	C	Mesures de prévention	F'	Mesures de protection	G'	C'	Propositions Remarques
1	1	Dépotage	Rupture	Surpression en cas de fermeture intempestive, dégradation de la qualité, défaillance de clapet anti retour, défaut de surveillance ou d'entretien des installations	Epanchage du gpl, nuage de vapeur, explosion, incendie	2	3	6	Maintenance, contrôle de pression, contrôle périodique de l'installation, isolation thermique, installation d'inertage	1	Système de vidange, fermeture de vannes, déconnection et dégazage de flexible, déconnecteur d'urgence, réseau incendie, extincteurs	2	1	
1	2	Dépotage	Fuite	Corrosion, défaillance des organes de connexion de flexible (bride, collier de verrouillage, clapet anti retour, goupille, vanne)	Formation d'un nuage gazeux, nappe de fluide, source d'ignition, explosion, incendie	3	2	6	Maintenance, détecteur de fuite, détecteur de flamme, vérification périodique par un opérateur	2	Si une vanne se trouve en amont, fermer celle-ci si possible pour interrompre la fuite, arrêt de dépotage, réseau incendie, réparation	1	1	

Annexe 03 : Tableau de la HAZOP

Paramètre	Mot guide	Dérive	cause	conséquence	Moyens de détection	Remarque
Pression	Pas de	Absence de pression	<ul style="list-style-type: none"> - Défaillance d'un équipement (pompe, compresseur, booster) - Lignes encrassées, partiellement bouchées 	<ul style="list-style-type: none"> - Fuite - Épanchage - Détérioration des pompes - Explosion - Incendie 	<ul style="list-style-type: none"> - Manomètre - Détecteur de fuite - Alarme - Détecteur de gaz - Détecteur de niveau 	Dérive critique
	Trop de	Excès de pression	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la capacité de pompage, - Mauvais dégazage 	<ul style="list-style-type: none"> - Fuite - Rupture - Éclatement - Nuage gazeux - Nappe du GPL - Explosion - Incendie 	<ul style="list-style-type: none"> - Manomètre - Détecteur de fuite - Alarme - Détecteur de gaz - Détecteur de niveau 	Dérive inacceptable
	Inverse	Inversion de débit	<ul style="list-style-type: none"> - Retour de produit (défaillance de clapet Anti retour - Double flux 	<ul style="list-style-type: none"> - Fuite - Épanchage - Éclatement - incendie - Explosion 	<ul style="list-style-type: none"> - Manomètre - Détecteur de fuite - Alarme - Détecteur de gaz - Détecteur de niveau 	Dérive critique