

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Filière QHSE-GRI

Mémoire de master

*Analyse des risques au niveau du bac I-901 de la zone de
stockage du complexe GL1/Z*

Faiçal Kamel ATTALA

Présenté et soutenu publiquement le 21/06/2016

Composition du Jury :

Président	Mme. Chahrazed BOUTEKEDJIRET,	Professeur	ENP
Rapporteur1	M. Aboubakr KERTOUS,	MA-B	ENP
Rapporteur2	M. Mohamed BOUBAKEUR,	MA-A	ENP
Examineur	M. Amin BENMOKHTAR,	MA-A	ENP
Examineur	M. Mohamed Tarek ATTOUCHI,	MA-A	ENP

ENP 2016

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Filière QHSE-GRI

Mémoire de master

*Analyse des risques au niveau du bac I-901 de la zone de
stockage du complexe GL1/Z*

Faiçal Kamel ATTALA

Présenté et soutenu publiquement le 21/06/2016

Composition du Jury :

Président	Mme. Chahrazed BOUTEKEDJIRET,	Professeur	ENP
Rapporteur1	M. Aboubakr KERTOUS,	MA-B	ENP
Rapporteur2	M. Mohamed BOUBAKEUR,	MA-A	ENP
Examineur	M. Amin BENMOKHTAR,	MA-A	ENP
Examineur	M. Mohamed Tarek ATTOUCHI,	MA-A	ENP

ENP 2016

DEDICACE

J'ai le grand honneur de dédier ce travail à :

Ma très chère mère

Mon très cher père

Mes très chers frères

Ma chère Sœur

Tous les membres de ma famille,

Ainsi qu'à tous mes amis

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier, en premier lieu, Dieu le tout puissant m'ayant accordé santé, courage et bonne foi afin que je puisse achever ce modeste travail.

Si ce mémoire a connu le jour, c'est grâce à Monsieur A.KERTOUS, et Monsieur M.BOUBAKEUR, mes promoteurs académiques. A cet effet, j'aimerais vivement les remercier pour la qualité de leur conseil et pour avoir été aussi disponibles et patients.

J'exprime de sincères remerciements à Monsieur H.ZEDDAM, mon promoteur d'entreprise qui m'a fait confiance en me confiant ce sujet, et m'a épaulé et encouragé dans mon travail. Il a également beaucoup contribué à l'amélioration de mes connaissances.

Mes remerciements vont ensuite à Madame C.BOUTEKEDJIRET qui m'a fait l'honneur d'accepter d'être présidente de jury de ce travail. Je révèle également ma profonde gratitude à Monsieur A. BENMOKHTAR et Monsieur M.ATTOUCHI pour l'honneur qu'ils m'ont fait par leur acceptation de participer au jury.

En outre, Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué afin que je parvienne au bout de ce manuscrit

الملخص:

هذا العمل يتمثل في تحليل المخاطر على مستوى خزان الغاز الطبيعي المميع في مجمع GL1 / Z . ويتعلق بتحديد مصادر الخطر التي يمكن أن تؤثر على البيئة، الأشخاص والممتلكات من خلال تطبيق طريقة APR ثم رؤية تطور المخاطر بأخذ بعين الاعتبار حواجز السلامة. المرحلة التالية هي دراسة مفصلة عن فقدان الاحتواء في الخزان اين استعملنا شجرة الفشل التي تسمح بتحديد الاحداث التي تسلسلها يمكن أن يؤدي إلى فقدان الاحتواء

الكلمات الدالة:

الغاز الطبيعي المميع، تحليل أولي للمخاطر ، الظواهر الخطرة، شجرة الف، فقدان الاحتواء.

Abstract

This work consists of analyzing the risks in the LNG storage tank in the complex GL1 / Z. it was necessary to identify the sources of danger that could cause injuries to people or/and damage to property and environment by applying the APR method, then see the evolution of risks takes into account the safety barriers.

The next step is a detailed study of the loss of containment of the tank which was used fault tree that allows the identification of events whose sequence can lead to loss of containment.

Key words:

Liquefied Natural Gas, Preliminary risk analysis, dangerous phenomenon, fault tree, loss of containment

Résumé

Ce travail consiste à analyser les risques au niveau du bac de stockage du GNL au sein du complexe GL1/Z. Il s'agit d'identifier les sources de danger qui peuvent atteindre les personnes, les biens et l'environnement par l'application de la méthode APR, ensuite voir l'évolution des risques en tient compte les barrières de sécurité.

L'étape suivante est une étude détaillée de la perte de confinement du bac où on a utilisé l'arbre de défaillance qui permet l'identification des évènements dont l'enchaînement peut conduire à cette perte de confinement.

Mots clés :

Gaz Naturel Liquéfié, Analyse préliminaire de risque, Phénomènes dangereux, Arbre de défaillance, perte de confinement.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES A.BREVIATIONS	
INTRODUCTION GENERALE.....	10
Chapitre I Présentation du complexe GL1/Z	
I.1 Localisation et acces	13
I.2 historique.....	13
I.2.1 Capacité de production.....	14
I.2.2 Capacité totale de stockage	14
I.2.3 Procédé utilité.....	14
I.2.4 Carte d'identité de complexe	14
I.3 Principe de liquéfaction de Gaz Naturel	15
I.4 Description générale du procédé.....	15
I.4.1 Les étapes de traitement	15
I.5 Stockage et chargement du GNL	17
I.5.1 Description de l'installation réservoirs de stockage I-901/902/903.....	18
Chapitre II Analyse préliminaire des risques	
II.1 introduction.....	20
II.2 Objectifs de l'analyse des risque	20
II.3 Limites et avantages.....	20
II.4 Préparation de l'analyse préliminaire des risques.....	21
II.4.1 Documents pré-requis	21
II.4.2 Tableau APR.....	21
II.5 la realisation de tableau APR des bacs de stockage.....	29
II.6 Synthèse de l'APR	29
II.6.1 Liste des EIPS	31
II.6.2 L'effet des mesures de maitrise des risques.....	31
II.7 Interprétation des résultats	32
II.8 Conclusion	32

Chapitre III Arbre de Défaillance

III.1 Introduction	34
III.2 Objective de l'ADD.....	34
III.3 principes	34
III.3.1 Définition.....	35
III.4 Elaboration de l'arbre	36
III.5 Coupes minimales	36
III.6 Limites et avantages	37
III.7 Construction de l'Arbre de défaillance :	38
III.7.1 Représentation logicielle de l'Add	38
III.7.2 Choix de l'évènement redouté.....	38
III.7.3 Identification des événements intermédiaire	38
III.8 Analyse quantitative	40
III.8.1 Estimation des probabilités de la survenance des évènements de base.....	40
III.8.2 Coupes minimales	40
III.8.3 Recommandations :	40
III.9 Conclusion :.....	41
Conclusion générale	42
Bibliographie	43
Annexes	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Carte d'identité du complexe GL_1/Z	14
Tableau II.1: la forme du tableau APR.....	21
Tableau II.2: Echelle du niveau de probabilité.....	23
Tableau II.3: Echelle du niveau de gravité	24
Tableau III.1: Principale règles de l'algèbre de BOOLE	37

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: le complexe GL1/Z	13
Figure II.1: Matrice de criticité	25
Figure II.2: Matrice de criticité des risques potentiels	30
Figure II.3: Matrice de criticité pour les risques résiduels	31
Figure III.1: démarche d'élaboration d'un arbre de défaillance	36
Figure III.2: interface du logiciel Arbre-Analyste	38
Figure III.3: Arbre de défaillance d'une perte de confinement	39
Figure III.4: Pourcentage de la contribution des événements de bas à la survenance de l'E.R40	

LISTE DES A.BREVIATIONS

ADD	Arbre de défaillance
APR	Analyse Préliminaire de Risque
EIPS	Equipement important pour la sécurité
ER	Evènement redouté
GNL	Gaz Naturel Liquéfié
LQS	Liquéfaction
MCR	Multi Composant Réfrigérant
MEA	MonoEthanolAmine
MMR	Mesures de Maîtrise des Risques
NC	Niveau de Confiance
NGp	Niveau de Gravité potentielle
NGr	Niveau de Gravité résiduelle
NPp	Niveau de Probabilité potentielle
NPr	Niveau de Probabilité résiduelle
NRp	Niveau de Risque potentiel
NRr	Niveau de Risque résiduel
PFD	<i>Process Flow Diagram</i> (Plan de Circulation des Fluides)
PID	<i>Piping Instrumentation Diagram</i> (Diagramme des processus & de l'instrumentation)
Pp	<i>Probabilité potentielle</i>
UVCE	<i>Unconfined Vapour Cloud Explosion</i> (Explosion de vapeur en milieu non-confiné)

INTRODUCTION GENERALE

Le commerce international du gaz naturel est en plein développement. Ces dernières années l'Algérie y joue un rôle actif puisque son économie est basée essentiellement sur l'exportation des hydrocarbures, dont le GNL présente la plus grande partie.

En effet l'Algérie dispose de réserves importantes de 3000 milliards de mètres cubes et développe depuis quinze ans un important programme en vue d'exporter 60 milliards de mètres cubes de gaz par an dans les années 90.

Deux complexes GL1/Z et GL2/Z forment le plus grand ensemble de liquéfaction, connue sur la côte méditerranéenne. L'usine a été conçue pour permettre d'assurer le transport sous forme liquide du gaz naturel. Le but de liquéfaction du gaz naturel est de réduire son volume de 600 fois pour faciliter le transport.

Les avancées scientifiques et technologique ont apporté plus de confort et un meilleur niveau de vie à de nombreuses population .Néanmoins on ne peut masquer les risques qu'elles peuvent engendrer .il faut noter que, dans certains cas, leurs effets catastrophiques se trouvent renforcés par l'existence conjointe de risques naturels tels que les séismes, et les inondations. Les expériences de ces catastrophes conduisent le plus souvent à durcir la réglementation et à améliorer la sécurité des procédés. L'information et la formation du personnel restent le moyen le plus efficace.

La gestion des risques est une des composantes fondamentales de la réussite d'une entreprise ,que ce soit en terme économique ou environnement .Gérer un risque est un processus itératif fondé sur l'analyse des risques, étape qui permet d'identifier et de réaliser une première évaluation des risques.

Le présent rapport présente une approche permettant d'identifier a priori les risques générés par des installations industrielles.il s'inscrit dans une démarche de prévention afin d'identifier de la manière la plus exhaustive possible les risques liés à l'exploitation d'une installation industrielle.

L'objet de cette étude de réaliser une analyse de risques au niveau du bac de stockage de GNL par la méthode APR, et d'en attribuer les moyennes de préventions et de protection existant.

Problématique

Après l'accident survenu le 19 janvier 2004 au complexe de liquéfaction de gaz naturel de Skikda GL1/k qui a occasionné des dégâts considérables et provoqué la perte totale des trains 20, 30,40. La directive générale relative à la sécurité des installations et les travailleurs stipule que toutes les structures et unités du groupe Sonatrach à tous les niveaux, doivent mettre la prévention au cœur de la stratégie de la sécurité.

Elles doivent déployer tous les moyens humains et matériels afin d'éliminer ou réduire les risques identifiés ou potentiels la source en appliquant les meilleures techniques et pratiques disponibles en matière de prévention des incidents ou accidents et de limitation de leurs effets.

Vu la quantité énorme de GNL stocké au niveau du complexe GL1/Z, et dans un souci de conservation de la vie humaine, l'environnement et des installations, une identification et évaluation des risques est indispensable.

Organisation du mémoire

Ce mémoire se décompose en trois chapitres:

Dans Le premier chapitre on va présenter brièvement le complexe GL1/Z, le procédé de fabrication et une description du bac de stockage

Le deuxième chapitre est consacré pour définir et donner la démarche de la méthode d'analyse préliminaire des risques APR,

Dans Le troisième chapitre, on va procéder à l'élaboration d'un arbre de défaillance pour analyser la perte de confinement lié au stockage de GNL.

Chapitre I *Présentation du complexe $GL1/Z$*

Le complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1Z relève de l'activité Aval et de la branche LQS (Liquéfaction) de l'entreprise SONATRACH.

I.1 LOCALISATION ET ACCES

Le Complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1Z est situé dans la commune de Bethioua, dans la zone industrielle d'Arzew, à environ 6 km au Sud -Est de la ville d'Arzew et à 35 km au Nord -Est d'Oran, wilaya d'Oran chef-lieu de la wilaya du même nom sur le golfe d'Oran (l'Oranais), située au Nord-Ouest de l'Algérie.

Le complexe GL1Z s'étend sur une superficie de 72 hectares. Le site s'étend sur une largeur (entre la route et la mer) d'environ 800 m et d'une longueur (le long du front de mer) d'environ 900 m. L'altitude moyenne est de 3 m.

I.2 HISTORIQUE

Aucune activité industrielle n'a été enregistrée sur le site avant la construction de GL1Z. La date de démarrage des travaux de construction du complexe GL1Z est 1973. La mise en production a débuté le 20 février 1978.



Figure I.1: le complexe GL1/Z

I.2.1 Capacité de production

Le complexe traite $10,5.10^9$ m³ de gaz naturel par an avec production de Gaz Naturel Liquéfié et Gazoline.

GNL : 17 563 Millions m³/an (contractuelle) 19 425 Millions m³/an (installée).

Gazoline : 123 000 Tonnes/an (contractuelle) 136 000 Tonnes/an (installée).

I.2.2 Capacité totale de stockage

3 bacs aériens de stockage GNL : 100 000 m³ chacun.

1 sphère de gazoline de 3280 m³.

I.2.3 Procédé utilité

Le complexe comprend six trains de liquéfaction de gaz naturel.

Le procédé utilisé pour la liquéfaction du gaz naturel est le procédé Air-Product (APCI)

La construction du complexe a été réalisée par l'entrepreneur BECHTEL INC (USA)

I.2.4 Carte d'identité de complexe

Le complexe de liquéfaction du gaz naturel GL1/Z de Béthioua occupe une place privilégiée dans l'économie nationale, Il est présenté comme suite :

Tableau I.1: Carte d'identité du complexe GL1/Z

Date du projet	13 juin 1973.
Effectif	1000.
Procédé	APCI (air product and Chemical incorporated)
Superficie du complexe	72 Hectares.
Capacité de production	55.000 m ³ /jrs.
Nombre de trains	six trains en parallèle.
Capacité de stockage unitaire	3bacs d'une capacité de 100000m ³ de GNL.
Capacité de chargement	11000m ³ GNL/hr.
Production gazoline (C5+)	123000 tonnes /an .
Rénovation	1993-1996.
Début de la production	Le 20 février 1978 .
Capacité de production GNL/An	17.5 Millions de m ³
Source d'approvisionnement	Gaz naturel de hassi R'Mel .
Prise d'eau de mer	6 X 35000 m ³ /heure.

I.3 PRINCIPE DE LIQUEFACTION DE GAZ NATUREL

Le principe de liquéfaction de gaz naturel consiste à abaisser son enthalpie par réfrigération jusqu'à une température de stockage de -162°C.

Basé sur ce principe, le complexe de liquéfaction du gaz naturel GL1/Z a été conçu pour assurer le transport de gaz naturel provenant de Hassi R'mel sous forme liquide.

L'usine comprend six trains de production indépendants. Dans chaque train, le gaz naturel d'alimentation est traité pour éliminer le gaz carbonique, la vapeur d'eau ainsi que le mercure. Il est ensuite réfrigéré pour extraire les hydrocarbures lourds afin d'être liquéfié.

Une fois le gaz naturel liquéfié, il est envoyé par pompage dans trois réservoirs de stockage de capacité atteignant 100.000 m³ qui desservent l'ensemble de six trains. Il est prévu que chaque train de production produit l'équivalent de 53 millions de thermies de GNL par jour. [1]

I.4 DESCRIPTION GENERALE DU PROCEDE

Le gaz naturel entrant dans chaque train doit être traité avant d'être liquéfié [1].

I.4.1 Les étapes de traitement

Le gaz d'alimentation passe par trois (03) différentes étapes de traitement :

Section de traitement de gaz : Elle comprend trois (03) sous- sections:

- Décarbonatation : élimination du CO₂.
- Déshydratation : élimination de l'eau.
- Démercurisation : élimination de mercure.

Section de séparation et de liquéfaction : Elle comprend deux (02) sous- sections:

- Séparation des hydrocarbures lourds.
- Liquéfaction du gaz naturel.

Section de fractionnement : comprend quatre (04) sous- sections:

- Déméthanisation : récupération de méthane.
- Dééthanisation : récupération de l'éthane.
- Dépropanisation : récupération du propane.
- Débutanisation : récupération du butane.

I.4.1.1 Section de traitement de gaz

Les composants du gaz naturel tels que le gaz carbonique, la vapeur d'eau et les hydrocarbures lourds tendraient à se condenser et à se solidifier aux basses températures bien avant la température de liquéfaction du gaz naturel (-162°C), provoquant ainsi l'obstruction des tuyauteries et des équipements froids. C'est pour cette raison que l'on doit éliminer ces composants gênants.

I.4.1.1.1 Décarbonatation

Le gaz carbonique est extrait du gaz naturel par lavage de celui-ci à contre-courant dans une colonne par une solution aqueuse à 15% de monoéthanolamine (MEA). Cette élimination s'effectue selon la réaction réversible suivante :



A la température ambiante et une pression de 40 bars, la MEA et le CO₂ forment un mélange instable correspondant au second membre à la réaction, tandis qu'à chaud et sous une basse pression, le mélange se détruit en libérant le CO₂ et régénérant ainsi la MEA.

La solution aqueuse de MEA agit comme un agent d'absorption dans le système de décarbonatation et réduit la teneur du CO₂ présent dans le GN de 1400 ppm à 90 ppm.

I.4.1.1.2 Déshydratation

Le système de déshydratation sert à éliminer les vapeurs d'eau par adsorption par l'intermédiaire des sécheurs pour éviter la formation de bouchons de glace qui causeraient des bouchages des équipements de liquéfaction.

I.4.1.1.3 Démercurisation

Lors du réchauffage des installations, le mercure a un comportement particulier en matière de corrosion. Il devient très agressif vis-à-vis de l'aluminium matériaux utilisés pour la plupart des équipements cryogéniques. Après séchage, le gaz passe dans un démercuriseur utilisant du charbon actif imprégné de soufre afin d'éliminer le mercure jusqu'à une teneur de 0.001 g/Nm³l.

I.4.1.2 Section de séparation et de liquéfaction

I.4.1.2.1 Séparation

La section de séparation est conçue pour séparer les hydrocarbures lourds du gaz naturel d'alimentation, afin de pouvoir le liquéfier et par la suite, de le stocker, les hydrocarbures lourds ainsi extraits sont envoyés vers la section de fractionnement.

Le gaz d'alimentation venant de la section de traitement du gaz est refroidi à -26°C par deux échangeurs à propane. Il est ensuite injecté au milieu de la tour de lavage où les produits lourds sont condensés et séparés du méthane, sous l'action d'un courant de reflux et de deux rebouilleurs, l'un au propane et l'autre à vapeur, puis sont recueillis sous forme liquide au bas de la colonne et dirigés vers la section de fractionnement.

La phase vapeur quittant la colonne est associée à un débit de recyclage de propane provenant de la section de fractionnement permettant ainsi de retenir les dernières traces de pentane et de maintenir un débit de reflux acceptable dans la colonne pour l'envoi à la section liquéfaction.

I.4.1.2.2 Liquéfaction

L'échangeur principal liquéfie le gaz naturel traité (GNT) en utilisant le MCR comme réfrigérant. Le GNT pénètre en bas de l'échangeur principal et progresse vers le haut où il traverse les douches de MCR, et quitte l'échangeur sous forme liquide à une pression de 28,3 bars et une température de -148°C.

La liquéfaction du GN se fait en deux temps :

Tout d'abord, le GN pénètre dans le faisceau central de l'échangeur principal où il est réfrigéré à -110°C par échange thermique avec les faisceaux du MCR liquide et du MCR vapeur; puis le gaz partiellement condensé est liquéfié complètement dans le faisceau froid de l'échangeur principal par échange thermique avec le MCR vapeur condensé et se dirige vers l'échangeur à -148°C et sous une pression de 24 bars, en se combinant à la sortie avec un courant de propane et d'éthane en provenance du fractionnement, refroidi dans l'échangeur de rejet.

Ensuite, ce mélange liquide/gaz est détendue dans une vanne jusqu'à 1,5 bars et sa température est abaissée à -158°C puis subit une deuxième détente jusqu'à 1 bar dans le ballon déazoteur pour éliminer l'azote dissous dans la phase liquide du gaz naturel liquéfié.

Les composants légers, essentiellement l'azote, sont extraits par vaporisation et montent le long de la colonne. La phase liquide GNL débarrassée de l'azote est récupérée au fond du déazoteur d'où elle est acheminée vers le stockage à l'aide des pompes GNL.

I.4.1.3 Section fractionnement

Elle est constituée essentiellement de quatre (04) colonne de distillation en cascade qui sont:

- La colonne de déméthanisation
- La colonne de déethanisation
- La colonne de dépropanisation
- La colonne de débutanisation

I.5 STOCKAGE ET CHARGEMENT DU GNL

Le GNL produit par les six (06) trains du procédé est pompé vers la zone de stockage constitué de trois (03) bacs à double paroi métallique ayant une capacité de 100 000 m³ chacun sous une pression atmosphérique et une température de -162°C.

Le chargement s'effectue au moyen de cinq (05) pompes de chargement du GNL fonctionnant en parallèle et transférant le GNL du réservoir de stockage au navire en passant

par les bras de chargement. Les vapeurs résiduelles du navire sont renvoyées au collecteur des vapeurs des réservoirs par la soufflante des gaz résiduels.

I.5.1 Description de l'installation réservoirs de stockage I-901/902/903

Il y a trois réservoirs de stockage, à double paroi, de 100 000 m³.

L'enveloppe intérieure est en acier à 9 % de nickel, son diamètre est de 65,8 m, la hauteur de la paroi est de 32,1 m. L'enveloppe extérieure est en acier au carbone, son diamètre est de 67,6 m, la hauteur de sa paroi est de 33,8 m. La hauteur maximale de remplissage est de 29,52 m. Le dôme du réservoir dont la hauteur maximale est de 44,8 m est en acier au carbone ; il est protégé du contact direct avec les vapeurs froides par une couverture en aluminium, isolée par de la laine minérale et de la perlite, suspendue au-dessus de l'enveloppe intérieure. L'espace annulaire entre les deux enveloppes est rempli d'une isolation en perlite expansée, sauf une couverture souple en fibre de verre contre les parois du réservoir. Cette disposition permet à l'enveloppe intérieure de se dilater et de se contracter sans compacter et tasser la perlite, ce qui augmenterait les entrées de chaleur et pourrait éventuellement endommager les parois du réservoir. L'espace annulaire est la communication avec le gaz plus chaud situé entre le dôme de toiture et la couverture suspendue. Une couche de laine de verre recouvre la perlite, dans l'espace annulaire.

Le réservoir intérieur repose sur une couche isolante de blocs de verre expansé placée entre les fonds intérieur et extérieur du réservoir. La dalle de fondation en béton est supportée par environ 880 pieux en béton armé et se trouve à environ 1,50 m au-dessus du sol.

Les réservoirs de stockage sont munis de quatre sorties d'azote raccordées à un anneau de purge de 3" placé dans l'espace annulaire entre les enveloppes intérieure et extérieure.

Les réservoirs de stockage de GNL sont entourés de digues de sécurité [2].

La capacité de la zone entourée pour chaque réservoir de stockage est égale au volume du réservoir. Chaque réservoir de stockage est aussi équipé d'un collecteur circulaire d'eau incendie, commandé par une vanne de régulation et qui peut fournir de l'eau de mer pour refroidir les réservoirs en cas d'exposition au feu d'un réservoir contigu. Un équipement de lutte contre l'incendie par poudre sèche et des générateurs de mousse sont prévus pour la protection de la zone de stockage et des pompes de GNL.

Chapitre II *Analyse préliminaire des risques*

II.1 INTRODUCTION

L'analyse préliminaire de risques (APR) est une démarche, un processus dont l'objectif est d'évaluer les problèmes à résoudre en matière de maîtrise des risques. La méthode APR est dédiée à cette démarche qui peut prendre des formes très différentes dans sa mise en œuvre suivant le domaine technique ou la filière industrielle considérée [3].

L'analyse préliminaire de risques est essentielle et très structurante, surtout en matière de sécurité, pour tout projet innovant, qu'il s'agisse de modifications de systèmes connus ou de nouveaux systèmes.

II.2 OBJECTIFS DE L'ANALYSE DES RISQUE

L'analyse des risques doit permettre :

- d'identifier et de caractériser les Evénements Redoutés,
- d'identifier l'ensemble des scénarios menant à un Evénement Redouté,
- de caractériser les mesures de prévention, de limitation et de protection existantes relatives à chaque Evénement Redouté,
- de quantifier, en termes d'occurrence et de gravité, chaque conséquence des Evénements Redoutés selon les échelles définies par le présent guide,
- de valider ou non la suffisance des barrières de maîtrise des risques,
- de sélectionner les Eléments Importants Pour la Sécurité (EIPS) afin de permettre de vérifier leur fiabilité et leur disponibilité.

La méthodologie présentée permet l'identification des différents scénarios possibles menant à un événement redouté.

En général, plusieurs scénarios peuvent mener à un même phénomène dangereux qui peut conduire à un accident : on dénombre autant de scénarios qu'il existe de combinaisons possibles d'événements y aboutissant.

II.3 LIMITES ET AVANTAGES

Le principal avantage de l'analyse préliminaire des risques est de permettre un examen relativement rapide des situations dangereuses sur des installations.

Par rapport aux autres méthodes, elle apparaît comme relativement économique en terme de temps passé et ne nécessite pas un niveau de description du système étudié très détaillé. Cet avantage est bien entendu à relier au fait qu'elle est généralement mise en œuvre au stade de la conception des installations [5].

En revanche, l'APR ne permet pas de caractériser finement l'enchaînement des événements susceptibles de conduire à un accident majeur pour des systèmes complexes.

Comme son nom l'indique, il s'agit d'une méthode préliminaire d'analyse qui permet d'identifier des points critique devant faire l'objet d'études plus détaillé. Elle permet ainsi de mettre en lumière les équipements ou installations qui peuvent nécessiter une étude plus fine menée grâce à des outils tels que l'AMDEC, L'HAZOP ou analyse par arbre de défaillance. Toutefois, son utilisation seule peut être jugée suffisante dans le cas d'installations simples ou lorsque le groupe de travail possède une expérience significative de ce type d'approches.

II.4 PREPARATION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

II.4.1 Documents pré-requis

Les documents nécessaires à la préparation des analyses de risque sont notamment :

- Plan d'implantation du site.
- Description des installations,
- Informations process (T°, débits, pression, produits, temps de fonctionnement...) en fonction des différents systèmes - Disponibilité demandée lors des analyses de risque,
- Schéma général process,
- PCF et PID,
- Accidentologie des unités,
- Liste des produits présents dans l'unité et fiches de données de sécurité associées.

II.4.2 Tableau APR

Le tableau utilisé dans ce rapport [4] est propre à l'entreprise, comprend les colonnes suivantes :

Tableau II.1: la forme du tableau APR

#	RISQUES	CAUSES	CONSEQUENCES	Risque potentiel				MESURES DE MAITRISE DES RISQUES	NC	Risque résiduel actuel			EIPS	COMMENTAIRES
				Pp	NPp	NGp	NRp			NPr	NGr	NRr		

Risque :

Cette colonne regroupe tous les risques propres à l'installation étudiée

Causes

Pour chaque risque, les différentes causes possibles sont décrites et indiquées dans cette colonne.

Les causes peuvent être des défaillances de régulation ou d'équipements, des erreurs humaines ou autres.

Conséquences

Cette colonne permet d'identifier l'ensemble des conséquences: brèche sur ligne et/ou éclatement de capacité entraînant une fuite de produit inflammable et/ou toxique pouvant conduire à un phénomène dangereux (tel qu'un feu de nappe et/ou un jet enflammé et/ou un UVCE et/ou un flash fire et/ou une dispersion toxique, etc.).

Elle décrit les conséquences potentielles maximales, c'est-à-dire que la description ne tient compte que de la présence des barrières dites « passives » (exemples : cuvette de rétention, mur, double enveloppe ...) mais ignore les barrières actives (exemples : chaîne de sécurité, soupape,...).

Risque potentiel

Cette rubrique concerne la cotation du niveau de risque potentiel, c'est-à-dire dans une situation où toutes les barrières actives seraient indisponibles. Elle comprend 4 colonnes :

Pp (Probabilité potentielle)

Cette première étape de cotation en probabilité est l'évaluation de l'occurrence de la cause. Cette colonne a été ajoutée dans le but d'expliciter le calcul de la probabilité résiduelle, notamment pour les probabilités potentielles supérieures à 10^{-2} .

L'évaluation de la probabilité potentielle (Pp) est réalisée en groupe de travail pendant l'analyse de risque à partir :

- de données génériques issues de bases de données, telles qu'en (annexe 1) ;
- de l'estimation réalisée pendant le travail, qui s'appuie sur le retour d'expérience du groupe.

Elle est exprimée en nombre d'occurrence par an.

NPp (Niveau de Probabilité potentielle)

Il s’agit de la traduction de la probabilité potentielle en niveau de probabilité selon l’échelle à cinq niveaux suivante :

Tableau II.2: Echelle du niveau de probabilité

Echelle de probabilité	1	2	3	4	5
Appréciation quantitative (par unité et par an)	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	
Appréciation qualitative	« événement possible mais extrêmement peu probable » : n’est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d’années d’installations.	« événement très improbable » : s’est déjà produit dans ce secteur d’activité mais a fait l’objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité.	« événement improbable » : un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d’activité ou dans ce type d’organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	« événement probable sur site » : s’est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	« événement courant » : se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d’éventuelles mesures correctives.

NGp (Niveau de Gravité potentielle)

La gravité est évaluée en comptant les personnes susceptibles d’être atteintes par les effets des phénomènes dangereux. On distingue deux types d’effets :

- les effets létaux où les personnes exposées sont susceptibles de décéder ;
- les effets irréversibles, où les personnes exposées garderont des séquelles de l’accident de façon permanente.

Pour chaque système identifié, un ou plusieurs scénarios peuvent être définis pour évaluer le niveau de gravité associé au système.

L'évaluation de la gravité s'appuie sur l'échelle ci-dessous.

Tableau II.3: Echelle du niveau de gravité

Niveau de gravité		Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
E	Désastreux	Plus de 100 personnes exposées en externe	Plus de 1000 personnes exposées en externe
D	Catastrophique	Externe : Entre 10 et 100 personnes exposées Interne : Plus de 100 personnes exposées	Externe : Entre 100 et 1 000 personnes exposées Interne : Plus de 1000 personnes exposées
C	Important	Externe : Entre 1 et 10 personnes exposées Interne : Entre 10 et 100 personnes exposées	Externe : Entre 10 et 100 personnes exposées Interne : Entre 100 et 1000 personnes exposées
B	Sérieux	Externe : Au plus 1 personne exposée Interne : Entre 1 et 10 personnes exposées	Externe : Moins de 10 personnes exposées Interne : Entre 10 et 100 personnes exposées
A	Modéré	Au plus 1 personne exposée	Pas d'effet externe Interne : Au plus 10 personnes exposées

NRp (Niveau de Risque potentiel)

Le couple (NPp; NGp) permet d'évaluer le risque potentiel et le couple (NPr; NGr) permet d'évaluer le risque résiduel. Ces deux couples peuvent être placés dans la matrice de hiérarchisation ci-dessous :

		Gravité des conséquences sur les personnes exposées au risque					
		Seuil des Effets Irréversibles	Externe : pas de personne Interne : au plus 10 personnes	Externe : moins de 10 personnes Interne : entre 10 et 100 personnes	Externe : entre 10 et 100 personnes Interne : entre 100 et 1000 personnes	Externe : entre 100 et 1000 personnes Interne : plus de 1000 personnes	Plus de 1 000 personnes externes
		Seuil des Effets Létaux	au plus 1 personne	Externe : au plus 1 personne Interne : entre 1 et 10 personnes	Externe : entre 1 et 10 personnes Interne : entre 10 et 100 personnes	Externe : entre 10 et 100 personnes Interne : plus de 100 personnes	Externe : plus de 100 personnes
			Modéré (A)	Sérieux (B)	Important (C)	Catastrophique (D)	Désastreux (E)
Probabilité	> 10⁻² / an	Courant (5)	II	III	III	III	
	entre 10⁻² et 10⁻³	Probable (4)	I	II	III	III	
	entre 10⁻³ et 10⁻⁴	Improbable (3)	I	II	II	III	
	entre 10⁻⁴ et 10⁻⁵	Très improbable (2)	I	I	II	II	
	< 10⁻⁵ / an	Extrêmement peu probable (1)	I	I	II	II	

Figure II.1: Matrice de criticité

Dans la matrice, trois zones sont définies :

- **Zone III - zone où le risque est jugé inacceptable** : pour un risque résiduel (NPr; NGr) situé dans cette zone, une action supplémentaire visant à réduire le niveau de risque doit être proposée.
- **Zone II - zone ALARP** : zone de risque intermédiaire, dans laquelle une démarche d'amélioration continue est particulièrement pertinente, en vue d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances, des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement.
- **Zone I - zone acceptable** : un risque résiduel (NPr; NGr) situé dans cette zone est jugé acceptable et ne nécessite pas de mesure de réduction du risque supplémentaire.

Mesures de Maîtrise des Risques actuelles

Cette colonne permet d'identifier les barrières ou mesures de maîtrise des risques. Les mesures de sécurité (ou barrières de sécurité ou mesures de maîtrise des risques) sont l'ensemble des éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité.

On distingue :

- les mesures (ou barrières) de prévention, visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont du phénomène dangereux ;
- les mesures (ou barrières) de limitation, visant à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux ;
- les mesures (ou barrières) de protection, visant à limiter les conséquences sur les cibles potentielles par diminution de la vulnérabilité.
- Dans le cadre de l'APR, les barrières de protection (moyens incendie,...) n'ont pas été prises en compte pour la cotation car participant essentiellement à limiter le risque d'effet domino.

Niveau de Confiance (NC)

Cette colonne sert à la cotation de la probabilité résiduelle en accordant à chaque mesure de maîtrise des risques un niveau de confiance lié à la fréquence de défaillance de la mesure.

Le niveau de confiance est attribué en fonction de la fiabilité et de l'architecture (redondance) des barrières, qui peuvent être préventives ou protectives :

- les barrières préventives agissent en amont de l'événement redouté (exemple : perte de confinement), en empêchant la ou les causes de se produire (exemple : sécurité de pression haute) ;
- les barrières protectives agissent entre l'événement redouté et les phénomènes dangereux (UVCE, incendie...) en limitant les effets des conséquences (exemple : détection gaz). Généralement, elles ne sont pas prises en compte pour la cotation de la probabilité. Elles peuvent éventuellement l'être pour la cotation de la gravité.

D'une façon générale, un niveau de confiance est donné à toutes les barrières actives préventives qui sont adaptées au scénario envisagé. Par exemple une alarme avec une action opérateur de sécurité est prise en compte si l'opérateur a effectivement la possibilité d'agir efficacement entre la cause initiale et l'évènement redouté.

Le niveau de confiance (NC) est l'indice de probabilité de défaillance de la barrière à la sollicitation (PFD : Probability of Failure on Demand) tel que :

$$PFD = 10^{-NC}$$

A titre indicatif, une liste de niveaux de confiance des mesures de maîtrise des risques est fournie en annexe 2.

Risque résiduel actuel

Cette rubrique concerne la cotation du niveau de risque résiduel actuel : c'est le risque subsistant après que les mesures de prévention existantes aient été prises en compte. Elle comprend 3 colonnes :

NPr (Niveau de Probabilité résiduelle)

Le niveau de probabilité résiduelle (NPr) est évalué en tenant compte de l'efficacité et de la probabilité de défaillance des barrières préventives.

Le niveau de confiance associé à chaque barrière permet de décoter la probabilité potentielle (Pp) pour obtenir la probabilité résiduelle (Pr) traduite ensuite en niveau de probabilité résiduelle (NPr) :

$$Pr = Pp * 10^{-\Sigma NC}$$

La méthodologie et les valeurs références proposées ont permis de définir les probabilités ainsi que les gravités des scénarios identifiés.

Exemple : Suppression de bac de stockage

Défaillance de PIC-80025, n'ouvre pas la vanne PV-80025	$Pp = 6.10^{-2}$ $NPp = 5$	} $NRp = III$
Eclatement de capacité		
Formation d'un nuage inflammable et nappe GNL	$NGp = E$	
Risque d'une explosion, jet enflammé		
Alarme PAH-800001 + Action opérateur	$PFD = 10^{-0,5}$ $NC = 0,5$	} $NRr = II$
Soupapes à l'atmosphère:		
PSV-800123	$PFD = 10^{-3}$	
PSV-800124	$NC = 3$	
PSV-800125	$\Rightarrow NPr = 1$	
Event de secours 20" (avec contre- poids)	$PFD = 10^{-2}$ $NC = 2$	

NGr (Niveau de Gravité résiduelle)

L'évaluation du niveau de gravité est effectuée à deux niveaux :

- Niveau de gravité potentielle (NGp), sans prise en compte des barrières actives ;
- Niveau de gravité résiduelle (NGr).

En règle générale, le niveau de gravité résiduelle est pris égal au niveau de gravité potentielle sur des phénomènes d'inflammation (UVCE, feu de nappe, jet enflammé ...).

Pour des phénomènes de dispersion toxique, différents cas peuvent être envisagés en fonction de la durée de fuite estimée avec la prise en compte ou pas des barrières protectives.

Par exemple, une détection de fuite de gaz avec asservissement limite la quantité de gaz émise mais la gravité finale en tenant compte de cette barrière de protection n'est pas nulle.

NRr (Niveau de Risque résiduel)

Les couples gravités résiduelle et probabilité résiduelle sont reportés sur la même grille de hiérarchisation des risques potentiels.

Eléments Importants Pour la Sécurité (EIPS)

Cette colonne permet d'indiquer les mesures de maîtrise des risques sélectionnées comme EIPS.

Actions / Commentaires

Cette dernière colonne permet de mentionner les points importants relevés au cours de l'analyse en groupe de travail, et notamment les possibles axes d'amélioration de la sécurité proposés par le groupe.

II.5 LA REALISATION DE TABLEAU APR DES BACS DE STOCKAGE

L'étude APR a été réalisée sur la base des plans de circulation des fluides (PCF) et des plans instrumentés (PID) fournis par SONATRACH

Le tableau de réalisation de l'APR se trouve dans l'annexe 3.

II.6 SYNTHÈSE DE L'APR

L'APR a été réalisée sur un seul bac et est applicable aux autres bacs. L'APR du système bac de stockage a permis de traiter 8 scénarios

La répartition des risques résiduels actuels est présentée dans le tableau ci-dessous :

		Seuil des Effets Irréversibles	Externe : pas de personne Interne : au plus 10 personnes	Externe : moins de 10 personnes Interne : entre 10 et 100 personnes	Externe : entre 10 et 100 personnes Interne : entre 100 et 1000 personnes	Externe : entre 100 et 1000 personnes Interne : plus de 1000 personnes	Plus de 1 000 personnes externes
		Seuil des Effets Létaux	au plus 1 personne	Externe : au plus 1 personne Interne : entre 1 et 10 personnes	Externe : entre 1 et 10 personnes Interne : entre 10 et 100 personnes	Externe : entre 10 et 100 personnes Interne : plus de 100 personnes	Externe : plus de 100 personnes
			Modéré (A)	Sérieux (B)	Important (C)	Catastrophique (D)	Désastreux (E)
Probabilité	> 10 ⁻² / an	Courant (5)	1	0	0	0	6
	entre 10 ⁻² et 10 ⁻³	Probable (4)	0	0	0	0	1
	entre 10 ⁻³ et 10 ⁻⁴	Improbable (3)	0	0	0	0	0
	entre 10 ⁻⁴ et 10 ⁻⁵	Très improbable (2)	0	0	0	0	0
	< 10 ⁻⁵ / an	Extrêmement peu probable (1)	0	0	0	0	0

Figure II.2: Matrice de criticité des risques potentiels

L'analyse APR a permis de mettre en évidence 7 scénarios critiques à améliorer, c'est-à-dire les couples de probabilité et gravité résiduelles (5,E) et (4,E).

II.6.1 Liste des EIPS

La liste des EIPS choisis à l'issue de l'APR est fournie en annexe 4.

II.6.2 L'effet des mesures de maîtrise des risques

Dans le tableau ci-dessous on prend en considération l'action des EIPS sur l'évolution des risques identifiés

		Seuil des Effets Irréversibles	Externe : pas de personne Interne : au plus 10 personnes	Externe : moins de 10 personnes Interne : entre 10 et 100 personnes	Externe : entre 10 et 100 personnes Interne : entre 100 et 1000 personnes	Externe : entre 100 et 1000 personnes Interne : plus de 1000 personnes	Plus de 1 000 personnes externes
		Seuil des Effets Létaux	au plus 1 personne	Externe : au plus 1 personne Interne : entre 1 et 10 personnes	Externe : entre 1 et 10 personnes Interne : entre 10 et 100 personnes	Externe : entre 10 et 100 personnes Interne : plus de 100 personnes	Externe : plus de 100 personnes
			Modéré (A)	Sérieux (B)	Important (C)	Catastrophique (D)	Désastreux (E)
Probabilité	> 10 ⁻² / an	Courant (5)	1⇒0	0	0	0	6⇒0
	entre 10 ⁻² et 10 ⁻³	Probable (4)	0	0	0	0	1⇒0
	entre 10 ⁻³ et 10 ⁻⁴	Improbable (3)	0	0	0	0	0
	entre 10 ⁻⁴ et 10 ⁻⁵	Très improbable (2)	0	0	0	0	0
	< 10 ⁻⁵ / an	Extrêmement peu probable (1)	0⇒1	0	0	0	0⇒7

Figure II.3: Matrice de criticité pour les risques résiduels

II.7 INTERPRETATION DES RESULTATS

Les scénarios de gravité désastreuse (E) ont été atténués en réduisant leur probabilité d'occurrence du fait de mesure de maîtrise de risque existant. La gravité des conséquences ne peut être changée. Ces scénarios restent critiques

II.8 CONCLUSION

Cette étude nous a permis d'identifier plusieurs scénarios d'accident et de vérifier l'efficacité des EIPS qui les maîtrise. Elle a montrée aussi que la perte de confinement du bac est la conséquence commune entre les scénarios déterminé et qu'elle peut conduire à une catastrophe, et par le biais de ce problème on va réaliser une étude approfondie par l'utilisation de l'arbre de défaillance pour déterminer l'enchaînement des événements susceptibles de conduire à cette perte de confinement

Chapitre III *Arbre de Défaillance*

III.1 INTRODUCTION

La maîtrise des risques, décrit des mécanismes qui conduisent aux incidents et aux accidents. On trouve donc naturellement dans cette discipline des méthodes destinées à représenter la logique des combinaisons de faits ou de conditions qui ont conduit, conduisent ou pourraient conduire à des incidents ou accidents. Rien d'étonnant donc que des représentations arborescentes fassent partie des outils usuels de la maîtrise des risques [6].

Nous présentons dans ce chapitre la méthode: arbre de défaillance, elle représente de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui, dans certaines conditions produisent un événement donné, point de départ de l'étude.

Construire un arbre de défaillance revient à répondre à la question « comment tel événement peut-il arriver ? », ou encore « quels sont tous les enchaînements possibles qui peuvent aboutir à cet événement ?

III.2 OBJECTIVE DE L'ADD

L'objectif « qualitatif » est de construire une synthèse de tout ce qui peut conduire à un événement redouté et d'évaluer l'effet d'une modification du système, de comparer les conséquences des mesures qui peuvent être envisagées pour réduire l'occurrence de l'événement redouté étudié.

L'objectif « quantitatif » est d'évaluer la vraisemblance de la survenue de l'événement étudié à partir des combinaisons d'événements élémentaires qui peuvent le produire. Si on connaît les probabilités de ces événements on peut en déduire la probabilité de l'événement étudié et l'impact sur celle-ci d'une réduction (ou augmentation) de telle ou telle des probabilités élémentaires.

III.3 PRINCIPES

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. 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'événement indésirable retenu [5].

Les liens entre les différents évènements sont réalisés grâce à des portes logiques (« ET » et « OU ») Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente. 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.

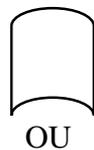
III.3.1 Définition :

Évènement redouté : Évènement conventionnellement défini, dans le cadre d'une analyse de risque, au centre de l'enchaînement accidentel. Généralement, il s'agit d'une perte de confinement pour les fluides et d'une perte d'intégrité physique pour les solides.

Événements intermédiaires : L'évènement étudié étant défini, l'étape suivante est de le décrire en une combinaison logique (conjonction ou disjonction) de deux ou plusieurs évènements plus réduits.

Connecteurs logiques :

Les deux connecteurs logiques de base sont ET et OU .Toutes les combinaisons logiques s'expriment avec ces deux connecteurs.



Événements de base :

Un événement de base est un événement qui ne se décompose plus en événements plus fins.

III.4 ELABORATION DE L'ARBRE

Démarche pour l'élaboration d'un arbre de défaillance :

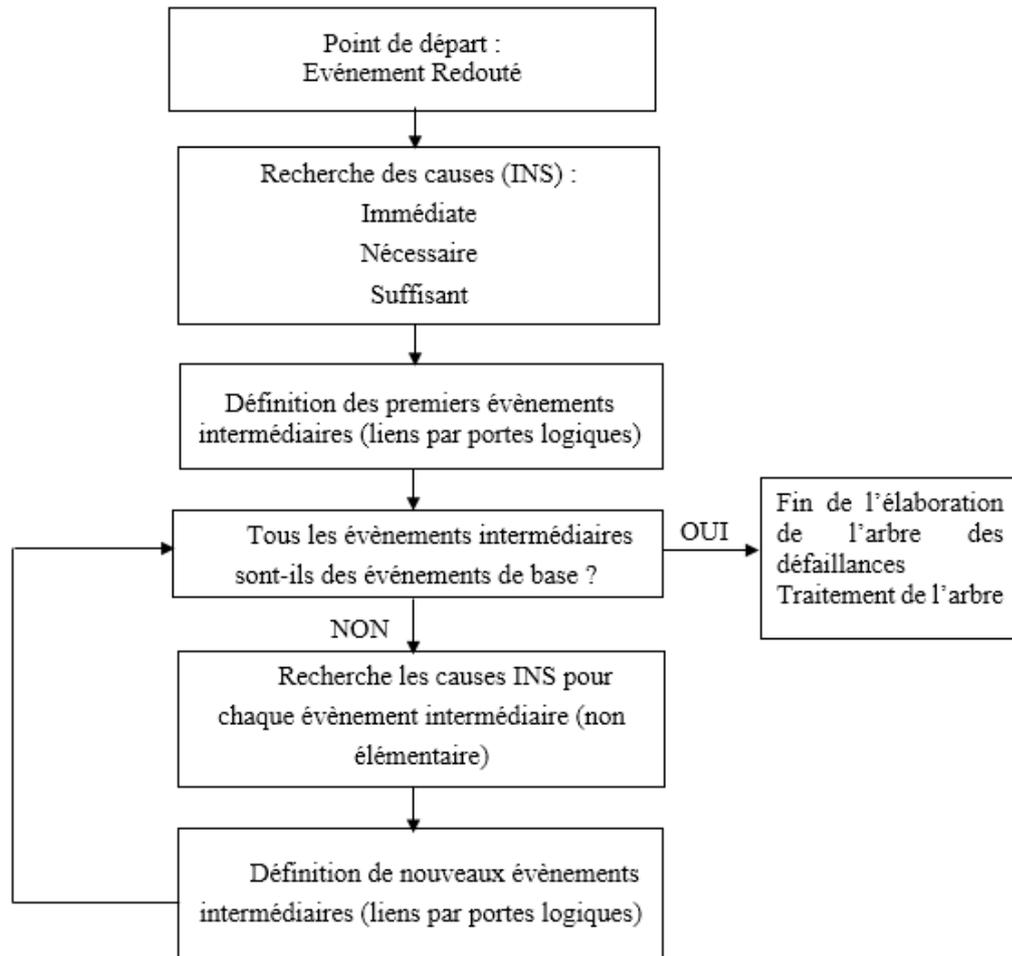


Figure III.1: démarche d'élaboration d'un arbre de défaillance

III.5 COUPES MINIMALES

Une coupe minimale représente la plus petite combinaison d'évènements pouvant conduire à l'événement indésirable ou redouté. On parle parfois également de « chemin critique ».

La recherche des coupes minimales est effectuée à partir des règles de l'algèbre de BOOLE en considérant que :

- à chaque événement de base correspond une variable booléenne.
- 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,

Quelques-unes des principales règles de l'algèbre de BOOLE sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau III.1: Principales règles de l'algèbre de BOOLE

propriétés	Produit(ET)	Somme(ou)
Commutativité	$A.B = B.A$	$A+B=B+A$
Idempotence	$A.A = A$	$A+A=A$
Absorption	$A. (A+B) = A$	$A+A.B=A$
Association	$A. (B.C) = (A.B).C$	$A+ (B+C) = (A+B) +C$
Distributivité	$A. (B+C)=A.B+A.C$	$A+B.C = (A+B). (A+C)$

III.6 LIMITES ET AVANTAGES

Le principal avantage de l'analyse par arbre des défaillances est qu'elle permet de considérer des combinaisons d'évènements pouvant conduire 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 évènements qui seuls n'auraient pu entraîner de tels sinistres [5].

Par ailleurs, en visant à l'estimation des probabilités d'occurrence des évènements conduisant à l'évènement redouté, elle permet de disposer des 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

III.7 CONSTRUCTION DE L'ARBRE DE DEFAILLANCE :

III.7.1 Représentation logicielle d'Arbre-Analyse :

Nous avons utilisé le logiciel Arbre-Analyse pour la construction de l'ADD.

Arbre-Analyste est un nouvel logiciel Open-Source dont le but est de standardiser et de pérenniser les modélisations par arbre de défaillances en s'appuyant sur deux piliers : le format Open-PSA et le moteur de calcul XFTA. On a utilisé la Version 1.1.1 Stable - 17/04/2015 [7].

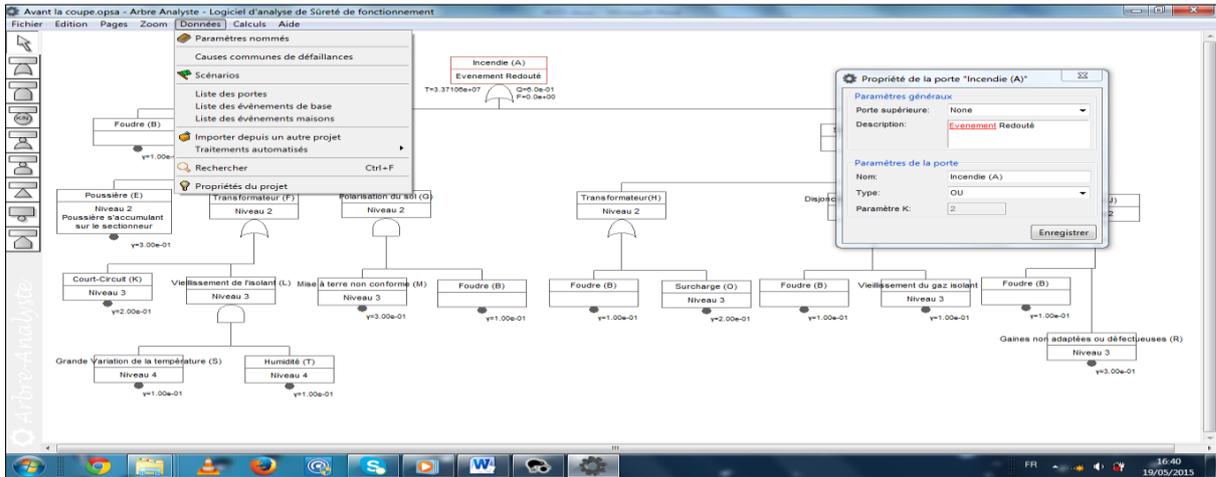


Figure III.2: interface du logiciel Arbre-Analyste

III.7.2 Choix de l'évènement redouté

Le choix de l'E.R. s'est porté sur la perte de confinement au niveau du bac du stockage de GNL.

III.7.3 Identification des événements intermédiaire

On a identifié deux évènements pouvant causer la perte de confinement au niveau de niveau du bac de stockage de GNL :

- Défaillance matérielle.
- Défaillance de procédé.

L'arbre de défaillance est donné dans la figure ci-dessous :

Projet: Entreprise: Auteur: user
 Nom: Page 1 Page 1/1 Version: version 1 Créé le: 13/06/16 à 00:17 Modifié le: 13/06/16 à 01:08
 Arbre Analyste - version 1.1.1 - 2014-15

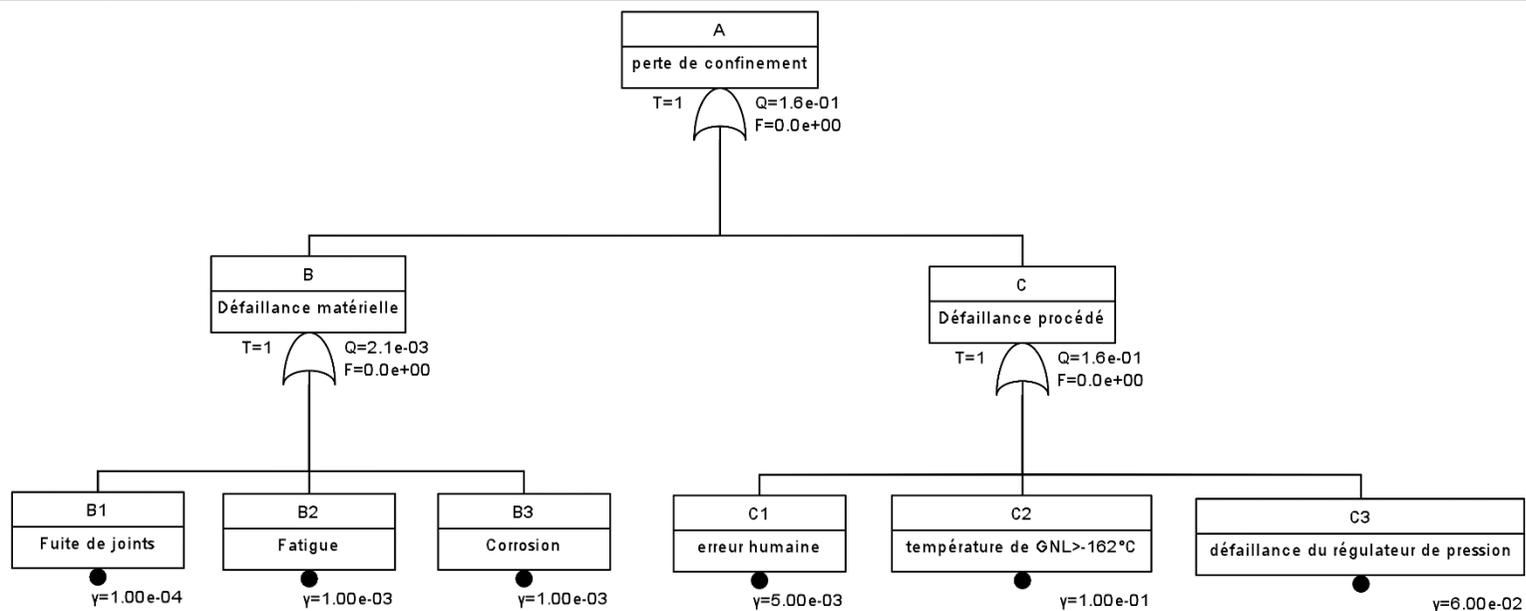


Figure III.3: Arbre de défaillance d'une perte de confinement

III.8 ANALYSE QUANTITATIVE

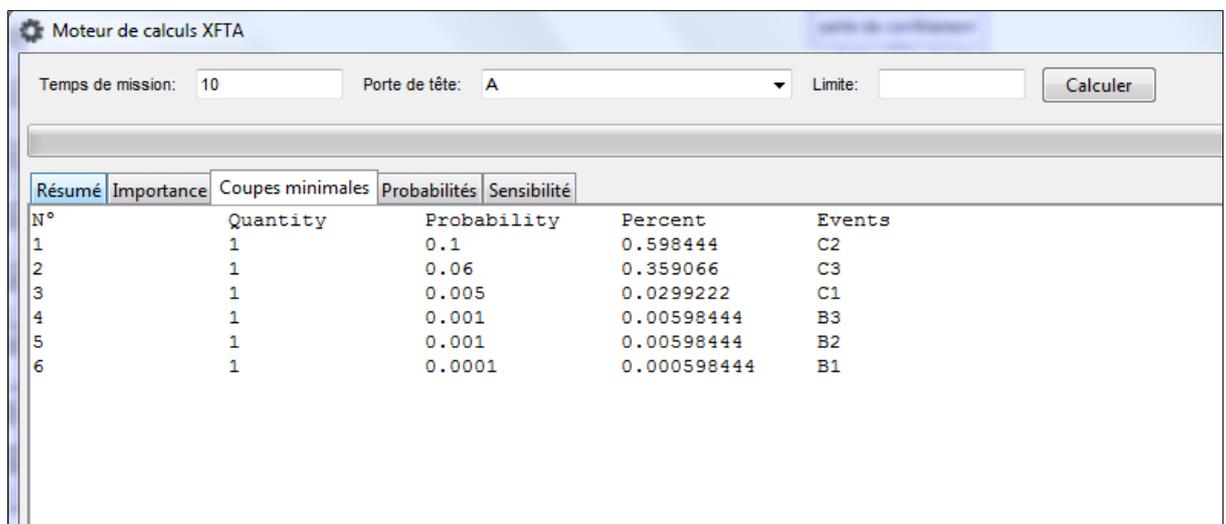
III.8.1 Estimation des probabilités de la survenance des évènements de base

Afin de tendre vers une estimation plus juste de la probabilité des évènements de bases, nous nous sommes inspirés des données contenues dans la documentation de SONATRACH, (consulté l'annexe 1)

La probabilité de la perte de confinement résultante : $1.6 \cdot 10^{-1}$

III.8.2 Coupes minimales

L'une des méthodes d'effectuer une coupe est de calculer les pourcentages de la contribution des évènements de base à la survenance de l'E.R. (c'est-à-dire sa probabilité).



N°	Quantity	Probability	Percent	Events
1	1	0.1	0.598444	C2
2	1	0.06	0.359066	C3
3	1	0.005	0.0299222	C1
4	1	0.001	0.00598444	B3
5	1	0.001	0.00598444	B2
6	1	0.0001	0.000598444	B1

Figure III.4: Pourcentage de la contribution des évènements de bas à la survenance de l'E.R

On trouve que deux évènements (température de GNL $> -162^{\circ}\text{C}$ et défaillance du régulateur de pression) de base contribuent à eux seuls avec 95% ($0.59444+0.359066$) à la survenance de l'E.R.

III.8.3 Recommandations :

Afin de réduire la probabilité d'apparition de l'évènement redouté, on pourrait se suffire d'agir sur les coupes minimales. En agissant sur les deux évènements ressortis, on réduira cette probabilité de 95%.

III.9 CONCLUSION :

On constate qu'une des variantes du principe de Pareto est appliquée à notre cas : 33% des causes (2 événements de base sur un total de 6) provoquent approximativement 95% des effets.

L'Arbre de défaillance reste une méthode très utilisée dans les études de sécurité et de fiabilité des systèmes, car présentant plusieurs avantages :

- Son aspect graphique constitue un moyen efficace de représentation de la logique de combinaison des défaillances
- Le processus de construction de l'arbre basé sur une méthode déductive permet à l'analyste de se focaliser uniquement sur les événements contribuant à l'apparition de l'événement redouté.
- Une fois la construction de l'arbre terminée, deux modes d'exploitation sont possibles : quantitative et qualitative.
- L'approche analytique offerte par l'arbre de défaillances a l'avantage de pouvoir réaliser des calculs rapides et exacts.

Conclusion générale

Les substances chimiques et les installations industrielles présentent des dangers intrinsèques, qui engendrent des risques. Malgré toutes les mesures de prévention prises, le risque zéro n'existe pas surtout lorsqu'il est question d'accidents industriels majeurs, il est important de spécifier les difficultés liées à l'évaluation des composantes du risque, à savoir les difficultés d'associer à chaque événement indésirable, une probabilité de survenance et un montant de dommage précis.

Un accident, quel que soit sa nature peut entraîner des conséquences fâcheuses sur le plan social et économique pour l'être humain, le matériel et l'environnement qui sont exposés aux différents risques engendrant de graves accidents allant de la blessure simple jusqu'à une catastrophe écologique énorme.

Le travail présenté dans ce mémoire donne un aperçu sur les grands axes relevant des différents risques liés au stockage de GNL au niveau du complexe GL1/Z Arzew

La méthodologie développée suit deux étapes principales :

La première partie de notre travail a été consacrée à faire une analyse préliminaire de risque, et voir l'évolution du niveau du risque en tenant compte des barrières de sécurité existantes.

La deuxième partie, on a élaboré une étude approfondie où on a traité la perte de confinement comme un événement redouté central par l'application de la méthode arbre de défaillance,

On a trouvé que 33% des causes provoquent approximativement 95% des effets, ce qui signifie si on agit sur les causes représentées par ces 33% on peut réduire la probabilité de l'apparition de l'événement redouté de 95 %

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BECHTEL LIMITED COMPANY, *Manuel Opérateur Manuel Opérateur globale de fonctionnement*, Rev1, février 2001
- [2] BECHTEL LIMITED COMPANY, *Manuel Opérateur globale de stockage*, Rev1, février 2001
- [3] Yves MORTUREUX, *Analyse préliminaire de risques*, technique de l'ingénieur, Réf : SE4010, 2002
- [4] HSE_GL1/Z, *ANALYSE DES RISQUES PROCÉDES « APR -HAZOP - AMDEC - LOPA»*, Rev0, juillet 2010
- [5] Bruno DEBRAY, *Omega 7 Méthode d'analyse des risques généré par une installation industrielle*, INIRIS, 2006.
- [6] Yves MORTUREUX, *Arbres de défaillance, des causes et d'événement*, Technique de l'ingénieur, Réf : SE4050, 2002.
- [7] Emmanuel CLEMENT « ARBRE ANALYSTE: UN OUTIL D'ARBRES DE DEFAILLANCES » ,19e Congrès de Maîtrise des Risques et Sécurité de Fonctionnement - Dijon 21-23 octobre 2014

ANNEXES

Annexe 1 : Fréquence des causes possibles.

Annexe 2 : Niveau de confiance des mesures de maîtrise des risques.

Annexe 3 : Tableau APR.

Annexe 4 : Liste des EIPS.

ANNEXE 1

Type de cause	Cause	Fréquence d'occurrence (/an)	NP retenu	Source
Défaillance de régulation	Régulation de pression	$6.0 \cdot 10^{-2}$	5	<i>TNO Purple book</i>
	Régulation de température	$6.3 \cdot 10^{-2}$	5	
	Régulation de débit	$8.9 \cdot 10^{-2}$	5	
	Régulation de niveau	$6.1 \cdot 10^{-2}$	5	
	Séquence automatique	$2 \cdot 10^{-2}$	5	
Défaillance d'équipement	Vanne manuelle fermée	$3 \cdot 10^{-2}$	5	
	Vanne de sécurité (MOV) fermée	$5 \cdot 10^{-2}$	5	
	Défaillance de pompe centrifuge électrique	$2.1 \cdot 10^{-1}$	5	<i>TNO Purple book</i>
	Défaillance de pompe centrifuge entraînée par une turbine	$7.8 \cdot 10^{-1}$	5	<i>Guidelines for Process Equipment Reliability Data (Ccps of AIChE)</i>
	Compresseur centrifuge entraînée par une turbine	$1.3 \cdot 10^{-1}$	5	
	Défaillance d'aérocondenseur électrique	$8.0 \cdot 10^{-2}$	5	
	Rupture de tube	$2.5 \cdot 10^{-3}$	4	
	Fuite sur bride	10^{-4}	3	
Erreur humaine	Opération de routine (opération quasi réflexe à la suite d'une formation et d'une pratique intensive) 1fois /jour	10^{-3} / op	5	
	Opération avec procédure (exécution des tâches en suivant des procédures écrites et connues) 1fois/mois	10^{-2} / op	5	
	Opération avec procédure (exécution des tâches en suivant des procédures écrites et connues) 1fois/an	$5 \cdot 10^{-3}$	4	
	Opération exceptionnelle (diagnostic d'une procédure complexe et élaboration d'une stratégie) 1fois/mois	10^{-1} /op	5	
	Opération exceptionnelle (diagnostic d'une procédure complexe et élaboration d'une stratégie) 1fois/an	$5 \cdot 10^{-2}$	5	
Agressions externes	Corrosion		2 à 3	
	Agression externe	$5 \cdot 10^{-6}$	1	<i>TNO Purple book</i>
	Incendie en zone de stockage	10^{-4}	3	
	Incendie en zone de procédé	10^{-3}	4	

ANNEXE 2

Annexes

Type de mesure	Mesure	NC retenu	Exemple	Explication	
Barrière technique <u>avec</u> intervention humaine	Alarme + Action opérateur	0 à 0,5 (1 à 10e-0,5)	PAH, PAL, LAH		
	Détecteur gaz	0,5 (10e-0,5)		L'activation d'un détecteur gaz est assimilé à une alarme	
Barrière technique <u>sans</u> intervention humaine	Soupape	2 (10e-2)		Une soupape est supposée n'être défaillante qu'une fois sur 100 sollicitations Sous réserve que la soupape soit dimensionnée pour évacuer le débit/surpression en question	
	Soupape (1 redondance ou plus)	3 (10e-3)		Un système de 2 soupapes ou plus est supposé n'être défaillant qu'une fois sur 1000 sollicitations	
	Disque de rupture	3 (10e-3)		Un disque de rupture est supposé n'être défaillant qu'une fois sur 1000 sollicitations	
	Régulation (indépendance avec la cause)	1 (10e-1)	Boucle de contrôle (LIC, TIC...) activée par un transmetteur indépendant de la boucle défaillante	Une régulation est supposée n'être défaillante qu'une fois sur 10 sollicitation	
	Chaîne de sécurité simple (indépendant du système de conduite)	1 (10e-1)	LAHH, PAHH	Alarme suivie d'une action automatique, sans intervention humaine Une chaîne de sécurité simple est supposée n'être défaillante qu'une fois sur 10 sollicitations	
	Chaîne de sécurité (indépendant du système de conduite avec redondance)	2 à 3 (de 10e-2 à 10e-3)	LAHH (2oo3)	Le NC est défini en fonction du niveau SIL de la chaîne de sécurité	
	Détection vibrations sur compresseur	2		Généralement plusieurs capteurs sur chaque palier	
	Détecteurs gaz avec action	1 (10e-1)		L'activation de 3 détecteurs gaz déclenche l'ESD	
	Détecteur incendie avec action	1 (10e-1)		L'activation d'un détecteur incendie déclenche l'ESD	
	Clapet anti-retour	0,5			
	Mesure organisationnelle de type Prévention	Maitrise des sources d'ignition	0 à 1 (de 0 à 10e-1)	Procédure d'intervention Pemis de feu Matériel ATEX	
		Plan d'inspection	1 (10e-1)	Plan de maintenance	
Procédure		de 0 à 1 (de 0 à 10e-1)	Procédure d'intervention Plan de gestion de crise	Plus le nombre d'intervenants, pouvant à lui seul arrêter le phénomène, est important, plus le NC est élevé	
Mesure de type Intervention - Protection		Pas de NC considéré Mesure agissant sur NGr (Niveau Gravité Résiduel)			
Mesure passive		Pas de NC considéré Directement pris dans le risque potentiel NPp			

ANNEXE 3

	RISQUES	CAUSES	CONSEQUENCES	Risque potentiel				MESURES DE MAITRISE DES RISQUES	NC	Risque résiduel actuel			EIPS	COMMENTAIRES
				Pp	NPP	NGp	NRp			NPr	NGr	NRr		
	Surpression	Défaillance du régulateur de pression	Perte de confinement Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	6,0E-02	5	E	III	Alarme PAH-800001 + Action opérateur Soupapes à l'atmosphère: PSV-800123 PSV-800124 PSV-800125 Event de secours 20" (avec contre-poids)	0,5 3 2	1	E	II	PAH-800001 PSV-800123 PSV-800124 PSV-800125	
	Surpression	Augmentation de température due à la faible isolation (transfert thermique)	Evaporation. Perte de confinement. Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	1,0E-01	5	E	III	Alarme PAH-800001 + Action opérateur PIC-80025 régule PV-80025 vers torche BOG Soupapes à l'atmosphère: PSV-800123 (69 mmbarg) PSV-800124 (62 mmbarg) PSV-800125 (62 mmbarg) Event de secours 20" (avec contre-poids)	0,5 1 3 2	1	E	II	PAH-800001 PSV-800123 PSV-800124 PSV-800125	Aucune alarme de température

Annexes

Surpression	arrivée du GNL à une température supérieure a -162°C(problème dans le procès)	Evaporation. Perte de confinement Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	1,0E-01	5	E	III	Alarme PAH-800001 + Action opérateur PIC-80025 régule PV-80025 vers torche BOG Soupapes à l'atmosphère: PSV-800123 (69 mmbarg) PSV-800124 (62 mmbarg) PSV-800125 (62 mmbarg) Event de secours 20" (avec contre-poids)	0,5 1 3 2	1	E	II	PAH-800001 PSV-800123 PSV-800124 PSV-800125	Aucune alarme de température
Surpression	Arrivée du GNL du deuxième complexe avec une composition différente à celle au bac	Evaporation soudaine Perte de confinement Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	1,0E+00	5	E	III	Procédure de transfert pour homogénéiser le produit Alarme PAH-800001 + Action opérateur PIC-80025 régule PV-80025 vers torche BOG Soupapes à l'atmosphère: PSV-800123 (69 mmbarg) PSV-800124 (62 mmbarg) PSV-800125 (62 mmbarg) Event de secours 20" (avec contre-poids)	1 1 0,5 1 3 2	1	E	II	PAH-800001 PSV-800123 PSV-800124 PSV-800125	GNL GL1Z plus lourd que GNL GL2Z Transfert de 10 000 à 20 000 m3, 2 fois par an en moyenne

Annexes

	Surpression	Long durée du stockage du GNL	Augmentation de pression Roll-over (basculement de couches dans le réservoir) Perte de confinement Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	1,0E-03	4	E	III	PIC-80025 régule PV-80025 vers torche BOG Soupapes à l'atmosphère: PSV-800123 (69 mmbarg) PSV-800124 (62 mmbarg) PSV-800125 (62 mmbarg) Event de secours 20" (avec contre-poids) Mesures de température sur la hauteur du bac (présence de 100 thermocouples)	1 3 2 2	1	E	II	PAH-800001 PSV-800123 PSV-800124 PSV-800125	Déchargement des bacs tous les 2-3 jours
	Diminution de pression	Aspiration par compresseur au cours de l'opération de déchargement	Création de vide Collapse du réservoir de stockage GNL 810-I-901 Perte de confinement Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	6,0E-02	5	E	III	Alarme PAL-80026A + Action opérateur Alarme + Action PSSL-800001: PSD Casse-vide PSV-800118/119/120/121/122	0,5 1 1 3	1	E	II	PSSL-800001 PSV-800118 PSV-800119 PSV-800120 PSV-800121 PSV-800122	

Annexes

Augmentation de niveau	Givrage de la vanne d'entrée du bac (refus de fermeture) problème dans les quais de chargement défaillance de l'indicateur de niveau Défaillance d'une pompe de chargement	Débordement du bac Fragilisation de la paroi externe Perte de confinement Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	1,0E+00	5	E	III	Alarme LAH-80002 + Action opérateur Alarme LAH-800245 + Action opérateur Transfert intercomplexe GL2Z Alarme + Action LAHH-80002 Alarme + Action LAHH-800245	1	1	E	II	LAH-80002 LAH-800245 LAHH-80002 LAHH-800245	Réduction de la production.
Corrosion	Taux de l'humidité élevé(Le complexe se trouve au bord de la mer)	Corrosion de la paroi externe	1,0E-01	5	A	II	Peinture anti-corrosive Plan d'inspection	1	4	A	I		

ANNEXE 4

Annexes

Intitulé/Tag	Description	PID
PAH-800001	Alarme pression haute dans réservoir de stockage de GNL 810-I- 901	30-810-10.1 rév 4
PSV-800123	Soupape de sécurité du réservoir de stockage de GNL 810-I-901 (69 mbarg)	30-810-10.1 rév 4
PSV-800124	Soupape de sécurité du réservoir de stockage de GNL 810-I-901 (62 mbarg)	30-810-10.1 rév 4
PSV-800125	Soupape de sécurité du réservoir de stockage de GNL 810-I-901 (62 mbarg)	30-810-10.1 rév 4
PSLL-800001	Sécurité pression basse dans réservoir de stockage de GNL 810-I-901	30-810-10.1 rév 4
PSV-800118	Soupape casse vide dans réservoir de stockage de GNL 810-I-901	30-810-10.1 rév 4
PSV-800119	Soupape casse vide dans réservoir de stockage de GNL 810-I-901	30-810-10.1 rév 4
PSV-800120	Soupape casse vide dans réservoir de stockage de GNL 810-I-901	30-810-10.1 rév 4
PSV-800121	Soupape casse vide dans réservoir de stockage de GNL 810-I-901	30-810-10.1 rév 4
PSV-800122	Soupape casse vide dans réservoir de stockage de GNL 810-I-901	30-810-10.1 rév 4
LAH-80002	Alarme niveau haut dans réservoir de stockage de GNL 810-I-901	30-810-10.1 rév 4
LAH-800245	Alarme niveau haut dans réservoir de stockage de GNL 810-I-901	30-810-10.1 rév 4
LAHH-80002	Sécurité niveau haut dans réservoir de stockage de GNL 810-I-901	30-810-10.1 rév 4
LAHH-800245	Sécurité niveau haut dans réservoir de stockage de GNL 810-I-901	30-810-10.1 rév 4
Sécurité haut ampérage	Sécurité haut ampérage sur les pompes de GNL	-
Détecteurs de gaz	Détecteurs de gaz dans la fosse des pompes GNL	-
Détecteurs de température	Détecteurs de température dans la fosse des pompes GNL	-
LAH-80073	Alarme niveau haut dans réservoir de purge de GNL 831-G-904	30-810-11.1 rév 6
PMS	Détection de mouvement des navires	-
Système PERC	Système de déconnexion d'urgence des bras de chargement	-
Procédures de chargement	Procédures de chargement des navires	-
Procédure de mise en froid	Procédure de mise en froid des lignes et réservoirs avant le chargement	-
Présence permanente + Arrêt d'urgence	Présence permanente d'un ou plusieurs opérateurs sur le quai et le navire pendant la durée du chargement	-
Procédure de fin de chargement		-
PSV-60090	Soupape de sécurité sur le bras de chargement 830-R-906	30-810-11.2 rév 7
PSV-60091	Soupape de sécurité sur le bras de chargement 830-R-907	30-810-11.2 rév 7
PSV-60092	Soupape de sécurité sur le bras de chargement 830-R-909	30-810-11.2 rév 7
PSV-60093	Soupape de sécurité sur le bras de chargement 830-R-910	30-810-11.2 rév 7
PSV-60094	Soupape de sécurité sur le bras de chargement 830-R-901	30-810-11.2 rév 7
PSV-60095	Soupape de sécurité sur le bras de chargement 830-R-902	30-810-11.2 rév 7
PSV-60096	Soupape de sécurité sur le bras de chargement 830-R-904	30-810-11.2 rév 7
PSV-60097	Soupape de sécurité sur le bras de chargement 830-R-905	30-810-11.2 rév 7
EJ-85	Soufflet de dilatation sur ligne transportant du GNL	-
EJ-86	Soufflet de dilatation sur ligne transportant du GNL	-
EJ-87	Soufflet de dilatation sur ligne transportant du GNL	-
EJ-88	Soufflet de dilatation sur ligne transportant du GNL	-
EJ-89	Soufflet de dilatation sur ligne transportant du GNL	-
EJ-90	Soufflet de dilatation sur ligne transportant du GNL	-
EJ-91	Soufflet de dilatation sur ligne transportant du GNL	-
EJ-92	Soufflet de dilatation sur ligne transportant du GNL	-
Détecteurs de gaz	Détecteurs à proximité des lignes transportant du GNL	-