

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

**Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :**

MASTER

Présenté par

DAYAMITA Asmaa

Filière : Génie des procédés

Option : sécurité industrielle

Thème

**Détermination du niveau SIL « safety integrity level » requis d'un
procédé industriel four de rebouillage H-102 MPP4
SONATRACH/DP/HRM**

Devant le jury :

Mr. Khelassi

Mr. Benhabiles

Mme. Benrahou

Mme YOUNSI

Maitre de conférence

Maitre de conférence

Maitre assistante

Maitre assistante

Président

Examineur

Examinatrice

Encadreur

2015/2016

Remerciements

Je tiens à remercier mes parents et tous mes enseignants en particulier Madame YOUNSI

Mes remerciements vont également à Messieurs ANNOU et CHERID de la Division Sécurité SH /DP/ HASSI R'MEL, qui m'ont suivi et encadré sur les aspects scientifiques, pratiques et expérimentaux avec une grande compétence.

Je remercie également de manière particulière Messieurs SAHTEL et SAIB et BOURICHE et BEDRELDINE du MPP 4 pour leur gentillesse et leur accueil ainsi que leurs explications et conseils.

Enfin, mes remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes parents ma sœur, mes frères et toute ma famille

Mes amis (es)

A ceux qui m'aiment.

A ceux que j'aime

Asmaa

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Acronymes et Abréviations	
Introduction générale	01
Problématique	03

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise

Introduction	
1/ Présentation de la région de Hassi R'Mel.....	07
1.1/ SITUATION géographique et climat de Hassi R'MEL	07
1.2/ Historique de Hassi R'Mel	08
1.3/ Développement de Hassi R'Mel.....	08
1.4/ Présentation des secteurs de Hassi R'Mel	09
1.5/La production du champ de Hassi R'mel	09
2/ Le procédé du traitement du gaz.....	10
2.1/ Les techniques de traitement de gaz	10
2.2/ Description générale du module 4	10
2.3/ Organisation du module 4	11
3/ Description du système four rebouilleur H102.....	13
3.1/ Partie rebouilleur	15
3.2/ Le système de surveillance du four H102.	17
3.3/ Système de prévention (Système d'arrêt d'urgence ESD)	18
3.4/ Système de protection (SYSTEME D'EXTINCTION DES FOURS H102).....	19
Conclusion	19

Chapitre 2 : Présentation succinctes de la démarche de gestion des risques

Introduction	20
1/ Processus de gestion des risques.....	20
1.1/ Analyse du risque	21
1.2/Evaluation du risque.....	21
1.3/ Acceptation du risque.....	22
1.4/Réduction du risque.....	22
1.5/Concepts d'ALARP et de risque tolérable.....	22
2/ Méthodes d'analyse et d'évaluation des risques	24
2.1/ Méthodes qualitatives.....	24

2.1.1/Hazard and Operability study (HAZOP).....	25
2.1.2/Graphe de risque étalonné	25
2.2/ Méthodes semi-quantitatives	26
2.2.1/Analyse des couches de protection (LOPA)	26
2.3/ Méthodes quantitatives.....	31
2.3.1/ Arbre des évènements (AdE)	31
2.3.2/ Arbre de Défaillances	32
3/ phénomène dangereux	37
3.1/ BLEVE	37
3.1.1/ Description du Bleve	37
3.1.2/ Effets du Bleve sur l'environnement	38
3.1.3/ différents types de Bleve	38
3.1.4/ modélisation des conséquences du Bleve.....	38
3.1.5/ outils de modélisation du Bleve et ses conséquences.....	39
Conclusion.....	42

Chapitre 3 : application des méthodes d'analyse

Introduction	43
1/ Analyse structurelle et fonctionnelle.....	43
2/ Détermination des scénarios critiques	49
3/ Niveau d'Intégrité de sécurité (SIL).....	56
3.1/ Détermination du SIL requis.....	56
3.1.1/ Application du graphe de risque.....	56
3.1.1.1/ Conséquence de l'évènement dangereux.....	56
3.1.1.2/ Présentation des résultats	58
3.2/ Application de la méthode LOPA	59
3.2.1/Établissement des critères d'acceptabilité et de sélection des scénarios à évaluer	59
3.2.2/ Analyse des scénarios	60
3.2.3/ Développement des scénarios d'accident	60
3.2.4/ Fréquences des évènements initiateurs	61
3.2.5/ Identification des couches de protection indépendantes	68
3.2.6/ Détermination des fréquences des scénarios	69
3.2.7/ Évaluation des risques par rapport aux critères d'acceptabilité.....	75

1/Les conséquences du Bleve	81
2/Modélisation du BLEVE et ses conséquences	81
3/Estimation des effets du BLEVE.....	82
4/Effets thermique au sol et distance de sécurité	83
Analyses et synthèses	83
Recommandations	88
Conclusion	88

Liste des figures

Figure 1.1: Carte énergétique de Hassi R'mel	08
Figure 1.2 : Production MPP4.....	11
Figure 1.3: Service maintenance	12
Figure 1.4 : Différents parties du four H102	14
Figure 1.5 : Boucle simple de régulation.....	17
Figure 1.6 : Détecteur UV	18
Figure 2.1 : Processus de gestion des risques	21
Figure 2.2: Réduction du risque - Concepts généraux [IEC-61511, 2000].....	22
Figure 2.3 : Risque tolérable et ALARP [IEC-61508, 1998]	24
Figure 2.4: Graphe de hiérarchisation du risque [CEI 61511].....	26
Figure 2.5 : couches de protection [EN 61511-3].....	29
Figure 2.6 : Comparaison entre LOPA et l'arbre d'événement [CCPS,2001].....	31
Figure 2.7: Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances [INT 06]	35
Figure 3.1 : Présentation des nœuds du four H102.....	49
Figure 3.2 : Modèle du graphe du risque	57
Figure 3.3 : Grille de criticité adoptée par SH DP HRM [SONATRACH, 2008.....	58
Figure.3.4 : AdD relatif à la défaillance de l'alarme FAL144.....	64
Figure 3.5 : AdD relatif à la défaillance de l'alarme FZL144.....	64
Figure 3.6 : AdD relatif à la défaillance de l'alarme TAH114.....	65
Figure 3.7 : AdD relatif à la défaillance de l'alarme TZH114.....	65
Figure 3.8 : AdD relatif à la défaillance de l'alarme PZH133.....	66
Figure 3.9 : AdD relatif à la défaillance de l'alarme PAH133.....	67
Figure 3.10 : Réservoir de stockage	79

Liste des figures

Figure 3.11 : rupture réservoir	79
Figure 3.12 : Mécanisme de surchauffe et rupture du réservoir.....	80

Liste des tableaux

Tableau 1.1	Développement de Hassi R'mel	08
Tableau 1.2	Caractéristique principale de l'équipement	14
Tableau 1.3	Facteurs de déclenchement	19
Tableau 2.1	Principaux symboles utilisé dans les Add [INT 06]	33
Tableau 2.2	Symbole des portes « ET », « OU » [INT 06]	34
Tableau 2.3	Règles de l'algèbre de BOOL [INT 06]	36
Tableau 2.4	Les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets de surpression et thermiques sur L'homme	39
Tableau 2.5	Les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques sur les structures	40
Tableau 2.6	Les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets de surpression sur les structures	41
Tableau 2.7	formulations retenues pour le calcul des paramètres de la boule de feu ...	41
Tableau 3.1	Analyse structurelle et fonctionnelle	44
Tableau 3.2	HAZOP pour le système four de rebouillage H102	52
Tableau 3.3	Donnés relatives à l'entreprise	55
Tableau 3.4	Caractérisation des paramètres C, P, F et W	56
Tableau 3.5	estimation des conséquences	59
Tableau 3.6	scénario à évaluer	60
Tableau 3.7	Fréquences des événements initiateurs	60
Tableau 3.8	Sélection des barrières à retenir dans les scénarios d'accident	61
Tableau 3.9	IPLs à retenir dans les scénarios d'accident	62
Tableau 3.10	résultats de l'un des tests périodiques du système ESD	63
Tableau 3.11	Données relatif à la défaillance des différents composants du système	63
Tableau 3.12	Distance des seuils de surpression	80
Tableau 3.13	Distance des seuils des effets thermiques	81
Tableau 3.14	feuille LOPA.....	83

Acronymes et Abréviations

AdE	Arbre d'événement
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
BPCS	Basic Process Control System
BTS	Barrière Technique de Sécurité
CCPS	Center for Chemical Process Safety
DCS	Distributed Control System
E/E/EP	Électrique / Électronique / Électronique Programmable
ER	Événements Redoutés
FC	Fail Closed
FI	Flow Indicator
FCV	Flow controller valve
PAL/PAH	Pressure alarm low/high
FICA	Flow Indicator Control Alarm
FAL	Flow Alarm Low
FO	Fail Open
FRA	Flow Recorder Alarm
HAZOP	HAZard and OPerability Study
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IPL	Independent Protection Layer
LOPA	Layer of Protection Analysis
MMR	Mesures de Maîtrise des Risques
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
PA	Pressure Alarm
PCV	Pressure Controller Valve
PFD	Probability of Failure on Demand
PFD _{avg}	Probability of Failure on Demand Average
PIA	Pressure Indicator Alarm
PLC	Programmable Logic Controller
RRF	Reduction Factor of Risk
ESD	Emergency Shut Down
SIF	Safety Instrumented Function

SIL	Safety Integrity Level
SIS	Safety Instrumented System
TI	Temperature Indicator
TRA	Temperature Recorder Alarm
TRCA	Temperature Recorder Control Alarm
Bleve	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
CEI	Commission Electrotechnique Internationale (International Electrotechnical Commission).

Introduction générale

Le risque est intimement lié à la vie. La reconnaissance du risque, de ses impacts sur l'environnement et des accidents qui en découlent reste récente. La société plaçait la maîtrise des risques entre les mains de la science et de la technologie, l'apparition de catastrophes technologiques importantes a conduit à remettre en cause la confiance qu'on accordait au progrès technique dans son aptitude à garantir la sécurité. Dans le domaine pétrolier, reconnu à haut risque, des accidents majeurs ont secoué les esprits à l'image de :

- Explosion dans une raffinerie à Amuay, Venezuela (48 morts et 151 blessés) en Août 2012.
- Explosion sur un site de conditionnement de gaz industriel liquéfié, Martigues, France (1 mort et 2 blessés) en Janvier 2011.
- Incendie des bacs de stockage de brut S105/ S106 Terminal RTE SH TRC Skikda, Algérie (2morts et 6 blessés) en Octobre 2005.
- Explosion de l'unité de liquéfaction GL1K- SH Aval, Skikda, Algérie (27 morts et 74 blessés) en Janvier 2004.

Progressivement, la société moderne a bien été forcée de reconnaître que le risque zéro n'existait pas. Ces catastrophes ont fait émerger une culture du risque, de la sécurité industrielle et une conscience de l'impact sur l'environnement des activités industrielles. Ainsi le risque est devenu un sujet de préoccupation majeure. Il engendre un sentiment croissant d'insécurité et nourrit à lui seul de nombreuses réflexions.

La démarche de maîtrise des risques vise essentiellement la réduction des risques existants. Celle-ci est souvent obtenue par l'interposition successive d'une ou plusieurs barrières de Sécurité. L'évolution de la réglementation internationale oblige à des mesures de maîtrise des risques qui utilise des systèmes instrumentés de sécurité. L'utilisation de ces systèmes a pour objectif d'assurer la sécurité fonctionnelle des installations à travers la réduction des risques à un niveau inférieur ou égal au risque tolérable. La finalité assignée aux Systèmes Instrumentés de Sécurité est la détection des déviations pouvant mener à un accident, pour mettre en œuvre un ensemble de réponses nécessaires à la mise en sécurité des équipements critiques.

Vérifier l'aptitude d'un Système Instrumenté de Sécurité à exécuter correctement ses fonctions constitue une étape importante pour la validation de ce dernier. A ce titre plusieurs documents normatifs ont été élaborés afin de guider les fabricants et utilisateurs potentiels des SIS dans leur démarche de validation. La norme Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 61508 représente le document normatif central de la sécurité fonctionnelle des systèmes Electriques, Electroniques et Electroniques Programmables - E/E/EP - et la norme CEI 61511 représente un document normatif pour la conception et l'exploitation des SIS.

Notre travail, dont l'intitulé est « Détermination du niveau SIL requis (safety integrity level) d'un procédé industriel », s'inscrit dans ce contexte.

La démarche adoptée pour le traitement de ce sujet s'organise, en trois chapitres qui sont :

Chapitre 1 : Il contient une présentation de l'entreprise d'accueil (SONATRACH SH/DP/HRM). Aussi une introduction détaillée du système a étudié « four rebouilleur H102 ».

Chapitre 2: Il a pour objectif de présenter la démarche de gestion du risque et les méthodes d'analyses afin de faciliter la manipulation des paramètres dans l'application des méthodes Graphique du risque ,LOPA,HAZOP et ADE ... etc.

Chapitre 3 : Il englobe la démarche adoptée pour la détermination du niveau d'intégrité de la sécurité du système « four rebouilleur H102 ». Nous commençons par une analyse qualitative

Introduction général

et en fin une analyse quantitative. Ainsi nous analysons l'un des scénarios les plus critiques qui peut engendrer une explosion.

Problématique :

En Algérie, durant les dix dernières années, SONATRACH (Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures) a vécu des accidents technologiques majeurs dont les plus importants sont :

Date	Localisation	Equipement	Typed'accident	Dégâts
03/01/2013	Unité100, RaffinerieRA1K, SH/Aval, Skikda	Four	Incendie sur four rebouilleur	Four totalement détruit(1)
2004	MPP0, SH DP HASSI R'MEL	Four	Incendie sur four rebouilleur	Pollution (4)
15/11/2003	GP2Z, SH/Aval, Arzew	Four	Incendie sur four Rebouilleur	Four totalement détruit et un autre partiellement (2)
07/01/1989	MPP3, SH Amont, DP Hassi R'Mel	Four	Incendie sur four rebouilleur	Four totalement détruit (3)

Les incidents les plus marquants enregistrés sur les Fours de Rebouillage des usines de la SONATRACH, ont engendré la destruction totale de ces équipements, par un incendie, suite à la rupture de serpentins. L'analyse de ces incidents a révélé que les causes profondes sont dues à des défaillances techniques et organisationnelles (corrosion, fissures, points chauds, procédures de maintenance et inspection...).

Ces incidents viennent rappeler que l'industrie pétrolière et gazière constitue une activité à haut risque et que le risque zéro n'existe pas. En conséquence, beaucoup d'attention est accordée au domaine de l'ingénierie des installations chimiques et pétrochimiques et les industriels doivent faire face à des contraintes de plus en plus nombreuses afin de garantir un niveau de sécurité optimal et maîtriser les risques industriels qui repose sur l'efficacité des barrières de sécurité (techniques, humaines et organisationnelles) mises en place, nécessite d'évaluer leurs performances, en se posant les questions suivantes :

- ✚ Comment définir précisément le besoin en termes de réduction du risque ?
- ✚ Les barrières mises en place sont-elles suffisantes pour justifier un niveau de risque acceptable ?
- ✚ Quelle est la démarche adoptée pour l'évaluation de ces barrières ?
- ✚ Quelle est le niveau SIL requis pour le four H102 ?

Le travail présenté a pour but de répondre à ces questions, on fait appel aux outils de la sûreté de fonctionnement (méthodes d'analyse des risques), en utilisant la méthode LOPA (Layer Of Protection Analysis), une méthode d'analyse semi-quantitative

permettant d'évaluer les barrières de sécurité mises en place et/ou à envisager pour atteindre l'objectif de sécurité (niveau de risque acceptable ou risque tolérable).

Objectifs :

Le présent travail a pour objet d'évaluer les différentes barrières de sécurités utilisées dans un procédé industriel par l'application de la méthode LOPA (approche quantitative) et la méthode du graphique du risque (approche qualitative).

A cet effet, on a procédé à l'examen d'un H102 de MPP4 à HRM afin de déterminer son niveau SIL et vérifié la conformité du système envers les dispositions des normes CEI 61508 et CEI 61511.

Pour appliquer la méthode LOPA au Four H102, on a d'abord identifié les scénarios majeurs relevés par l'étude HAZOP qui a été réalisée par la Société Japonaise JGC en Avril 2007, puis on a évalué les conséquences de ces scénarios en fonction de leur criticité et, en fonction de cela, les scénarios jugés majeurs sont sélectionnés pour l'étude.

Pour cela, les différentes couches de protection installées sur le système ont été identifiées pour faire face aux scénarios majeurs sélectionnés afin d'évaluer la performance des barrières de sécurité mises en place et plus précisément celle des SIS et ce, par le calcul des SIL.

Ces couches ont été réalisées en deux étapes : d'abord lors de la construction puis à la suite des recommandations émises par les assureurs.

Les objectifs attendus de ce mémoire sont :

- ✓ Adopter une démarche structurée et systémique d'analyse des risques d'accidents industriels majeurs
- ✓ Appliquer une des méthodes d'évaluation des performances des barrières de sécurité à savoir la méthode LOPA afin d'analyser les barrières de protection en place et/ou à envisager et les méthodes d'ADE et du graphique de risque afin de déterminer le niveau SIL requis.
- ✓ Vérifier la conformité du niveau d'intégrité SIL (Safety Integrity Level) de la fonction instrumentée de sécurité (Système Instrumenté de Sécurité (SIS)) envers les dispositions des normes CEI 61508 et CEI 61511.

Chapitre 1

Présentation de l'entreprise

Introduction

Le groupe SONATRACH opère dans le secteur des hydrocarbures considéré à haut risque. Cette entreprise n'est pas à l'abri d'accidents majeurs qui peuvent engendrer des conséquences fatales sur le plan humain, environnemental ou économique. De ce fait, une analyse du retour d'expérience a classé les systèmes fours rebouilleurs comme points névralgiques, compte tenu de son mode de fonctionnement à chaud qui mérite une analyse approfondie de la sécurité fonctionnelle.

Donc, il est indispensable de connaître la structure et les fonctions du système à étudier, son environnement, les risques d'agression externes et les dangers qui lui sont associés est exigés. D'une autre part des informations sur les barrières de sécurité mise en œuvre (de prévention ou de protection) viser à prévenir l'apparition d'un événement non souhaiter doivent être disponible

Dans ce but ce chapitre est consacré à la description de l'unité de traitement de gaz Hassi R'mel et plus particulièrement au système de rebouillage H102-MPP4, qui est l'objet de notre étude.

1. Présentation de la région de Hassi R'Mel

Le gaz naturel est l'un des principaux ingrédients de production d'énergie avec le pétrole, charbon et l'uranium.

Malgré l'évolution de l'industrie pétrolière et sa vaste demande dans le marché industriel international, le gaz naturel reste à présent l'une des principales sources d'énergie pour chaque pays producteur ou non producteurs

Le gaz naturel est un mélange des constituants à la phase gazeuse avec 78 % de méthane et des quantités non négligeables de CO₂ et H₂O ainsi que des traces de certains éléments métalliques, sous cette forme il est pratiquement inutilisable, donc il faut le traiter pour obtenir les gammes des produits consommables.

Les exigences du marché exigent des traitements rigoureux, s'impose pour faciliter son transport et sa distribution par canalisation, la qualité de gaz naturel est caractérisée par certains spécifications notamment le pouvoir calorifique, la teneur en C₅+ et la teneur en eau.

Pour obtenir du gaz « ON SPEC » le gaz brut venant des puits subit un traitement en chaîne pour éliminer l'eau, récupéré les fractions d'hydrocarbures lourds (condensât) et le GPL.

Comme l'Algérie est un pays producteur de gaz naturel et avec ses réserves prouvées, il présente l'une de plus forte concentration mondiale de gaz naturel.

Cependant le gaz naturel a pris une place importante dans la politique économique du pays étant une source privilégiée d'énergie domestique et industrielle, de matière première et constitue une source financière par la commercialisation extérieure.

1.1. SITUATION géographique et climat de Hassi R'Mel

Hassi R'mel, porte du désert, daïra de la wilaya de Laghouat située à une distance de 120 Km de cette dernière et de 550 Km d'Alger, à une altitude de 750 m environ. Le paysage, vaste plateau rocailleux, le climat est caractérisé par une pluviométrie faible (200 mm par an) et une humidité moyenne de 20 % en été et de 34 % en hiver, les températures varient entre –

5 et +50 °C. La région est dominée par des vents violents, accompagnés souvent de tempêtes de sable.

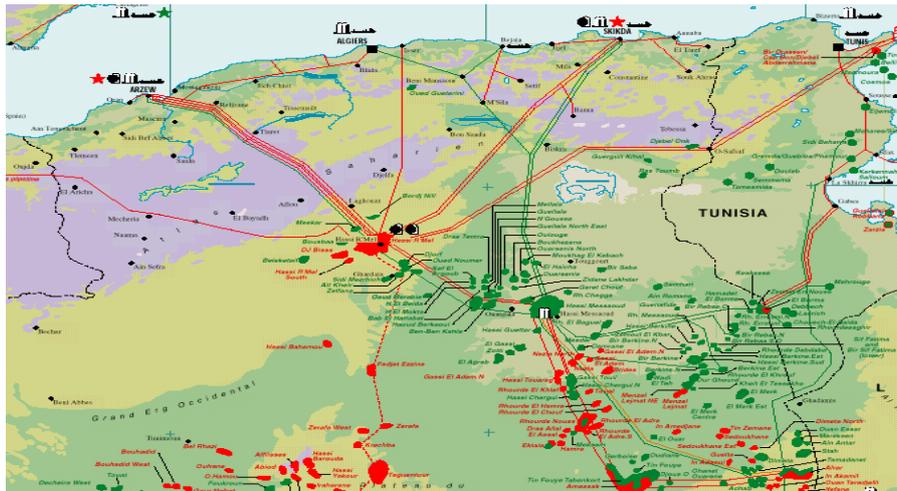


Figure 1.1: Carte énergétique de Hassi R'mel

1.2. Historique de Hassi R'Mel

Le gisement de Hassi R'mel a été découvert en 1951, le premier puits, HR1, a été foré en 1952 à quelques kilomètres de Berriane. Entre 1957 et 1960 sept autres puits ont été forés (HR2, HR3, HR4, HR5, HR6, HR7, HR8).

Le gisement de Hassi R'mel est classé 4eme au monde et 1er en Algérie, il est d'une superficie de 3500 km², étendue sur 70 Km du nord au sud et de 50 Km de l'est vers l'ouest, avec une énorme réserve de gaz estimée de 2415 billions m³. Ce gaz se trouve entre 2110 et 2280 m de profondeur.

Les principaux champs sont : Hassi R'mel, Djebel Bissa, HR Sud, Oued Noumer, Ait Kheir, Sidi Mezghiche et Makouda.

1.3. Développement de Hassi R'Mel

Le développement de Hassi R'mel a été accompli dans plusieurs phases qui répondent au développement technologique du marché du gaz naturel :

Tableau 1.1 : Développement de Hassi R'mel

Dates	Evénement
1956	Année de découverte du champ de Hassi R'Mel, l'un des plus grands gisements de gaz à l'échelle mondiale.
1961	Mise en exploitation de 2 unités de traitement de gaz d'une capacité de 1.3 Milliards de M3 par an.
1969	Mise en exploitation de 4 unités supplémentaires pour augmenter la capacité à 4 Milliards M3 par an
1972-1974	Mise en exploitation de 6 unités supplémentaires pour atteindre une capacité de 14 Milliards M3 par an.
1975-1980	Mise en œuvre et réalisation du Plan Directeur de Développement par la mise en service des unités de traitement de gaz MPP1, MPP2, MPP3, MPP4
1981	Mise en exploitation des cinq centre de traitement d'huile CTH1,

	CTH2, CTH3, CTH4, CTH Sud
1985	Mise en exploitation de l'unité phase B (Installation commune) entre MPP0 et MPP1
1995	Revamping Phase I : Rénovation du piping HP, des manifolds et des équipements statiques
1998	Revamping Phase 2 : Rénovation des systèmes de sécurité de l'ensemble des installations et le renouvellement de l'instrumentation en salle de contrôle avec l'introduction du DCS
1999	Mise en service de l'unité SRGA (Station de récupération des gaz associés) Phase I
2000	Mise en exploitation de l'unité HR Sud
2002	Mise en service de l'unité depropaniseur pour le Module 3
2005	Mise en service des trois stations de Boosting Centre, Nord et Sud Phase I
2005	Mise en service des sections Baffer gas pour les trois stations SBC, SB, SBS
2007	Mise en service de l'unité SRGA Phase 2
2007	Mise en service des stations de deshuilage Centre, Nord et Sud
2010	Mise en service de la station Boosting phase 2
En cours	Nouvelle station de Boosting

1.4. Présentation des secteurs de Hassi R'Mel

Le champ de Hassi R'mel comprend trois secteurs :

1.4.1. Secteur Nord

- Le module 3.
- L'unité de dépropaniseur.
- Une station de compression.
- CTH (Centre de Traitement d'Huile).

1.4.2. Secteur centre

- 3 modules 0, 1 et, 4.
- CSTF (Centre de stockage et de transfert facilités).
- CTH (Centre de Traitement d'Huile).
- L'unité de Boosting phase B.

1.4.3. Secteur sud

- Le module 2.
- Une station de compression sud.
- Djebel Bissa.
- HR sud.
- CTH (Centre de Traitement d'Huile)

1.5. La production du champ de Hassi R'mel

Le développement final du champ permis d'atteindre les capacités de production suivantes :

- 100 milliards de m³ de gaz par an.

- 12 millions de tonnes de condensât par an.
- 3.5 millions de tonnes de GPL par an.

2. Le procédé du traitement du gaz

2.1. Les techniques de traitement de gaz

Le champ de Hassi R'mel met en œuvre deux types de procédé :

- a) Le procédé PRITCHARD, basé sur le refroidissement du gaz par échanges thermiques et par des détentes simples avec en plus l'utilisation du propane comme fluide réfrigérant pour atteindre en fin de cycle des températures voisines de -23°C , ce procédé est utilisé dans les modules de traitement de gaz brut MPP1, MPP0.
- b) Le procédé HUDSON, basé sur le refroidissement des gaz par échange thermique et par une série de détentes complétées par une a travers une machine dynamique appelé turbo-expander qui permet d'atteindre un niveau de température relativement plus bas de -40°C .

2.2. Description générale du module 4

MPP = module processing plant est une usine qui a pour but de :

- Produire du gaz de vente à des spécifications requises.
- Maximiser la récupération du GPL et condensat en respectant toujours les spécifications qui sont issus d'un accord exprimé sous forme de contrat entre SONATRACH et ses clients.

2.2.1. Les spécifications des produits

a) Gaz sec

- ✚ Point de rosée : -6°C minimum
- ✚ Teneur en eau : 50 ppm maximum
- ✚ PCS : 9350 à 9450 kcal /m³
- ✚ C5+ : 0.5 % maximum
- ✚ Spgr : 0.655

b) GPL

- ✚ C2- : 3 % maximum
- ✚ C5+ : 0.4 % maximum
- ✚ SPGR : 0.545

c) CONDENSAT

- ✚ TVR : 10 psi maximum

Ces spécifications sont contrôlées quotidiennement par des analyses effectuées au laboratoire.

Le module peut être décrit comme étant un ensemble d'installations permettant de traiter le gaz brut extrait à partir des gisements, le procédé mis en place est appelé HUDSON, les équipements utilisés en ce module sont parallèlement repartis en 3 lignes appelé train, les trains A – B – C ou se trouve les différentes capacités qui permet la séparation performante du gaz brut exemple :

- Les ballons de séparations
- Les pompes (volumétriques, centrifuges)

- Turbines à gaz
- Compresseurs
- Fours rebouilleur
- Les colonnes de distillations (deethaniseur et debutaniseur)
- Les échangeurs de chaleur
- Les airo-réfrigérants
- Le turbo-expander
- Vanne de joule-Tompson
- Les bacs de stockage et les sphères

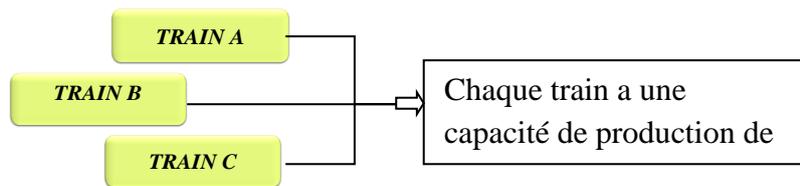


Figure 1.2 : production MPP4

En plus le module MPP4 comprend une unité de traitement des eaux et d'air et deux unités de régénération de glycol et une autre pour le gaz inerte N₂. De point de vue électricité le module 4 possède des sous station qui comprennent des armoires électriques, où se situe la charge électrique donnée aux différents appareils (alimentation des moteurs électrique par exemple).

Dans le cadre de l'instrumentation, presque tous le procès est commandé par des vannes (soit automatique ou manuelle), la commande est assurée en générale par l'air instrument qui est produit par des compresseurs d'air.

La fermeture des vannes, ainsi que l'ouverture de ces dernières, le contrôle de la qualité du produit, le contrôle de la fiabilité appareils sont les préoccupations du service exploitation.

Le MPP4 possède aussi une salle de contrôle qui est le siège du service exploitation.

Le gaz sec ou le gaz de vente, est commercialises directement, tandis que le GPL .et le condensât sont stockés (dans le centre de stockage et de transfert CSTF) dans les sphères pour le GPL, et dans des bacs pour le condensât. Après le stockage le GPL et le condensât vont être expédiés vers Arzew.

2.3.Organisation du module 4

2.3.1. Service d'exploitation

Ce module situé dans le secteur Nord, est alimenté en gaz naturel par 10 collecteur et à une capacité de production de gaz sec de 60 million cm^3 /jour.

Une capacité de 3 trains (A, B et C) possède 1 sphère pour le GPL et deux bacs pour le condensât.

Une unité de production de butane et propane permet au MPP4 d'approvisionner NAFTAL en gaz butane.

Comme les autres modules le gaz sec produit au MPP4 est expédié vers la station de compression nord pour le maintien de pression du gisement.

Les liquides ON-SPEC (condensât et GPL) sont envoyée au CSTF, mais les liquide OFFSPEF sont stockés pour la décantation et le dégazage, suivi d'une opération de drainage avant d'être retournés aux trains pour le retraitement lorsque le CSTF ne peut pas recevoir la production du module en GPL et condensât, alors il sont stockés dans les unités de stockage du module même pour une durée qui ne doit pas dépasser les 24 heures.

2.3.2. Service maintenance :

Il comprend les sections suivantes :

- ✓ Section d'électricité.
- ✓ Section d'instrumentation.
- ✓ Section mécanique.
- ✓ Section méthodes.

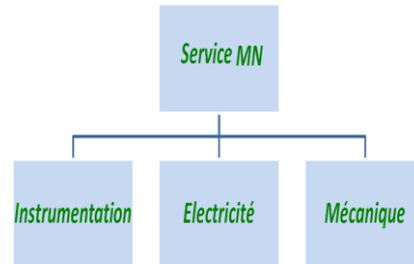


Figure1.3: service maintenance

2.3.3. Service sécurité

Sa tâche principale est la sécurité industrielle par prévention des accidents, intervention en cas d'incendie à l'aide des moyens spécifiques à chaque intervention, contrôle des installations et bases de Vie de la région

2.3.3.1. Le Système de lutte contre l'incendie

Les moyens de lutte anti-incendie présents MPP4

- ❖ 02 Bacs d'eau d'incendie (Capacité 24000 m3)
- ❖ Pomperie: (Pompe jockey, électrique, diesel)
- ❖ 02 pompes Jockey de 45 m3/h
- ❖ 02 pompes électriques de 340 m3/h
- ❖ 01 pompe électrique de 500 m3/h
- ❖ 02 pompes Diesel de 340 m3/h
- ❖ 01 pompe Diesel de 500 m3/h
 - Réseau d'incendie comportant :
- ❖ 87 poteaux d'incendie
- ❖ 15 lances monitors
- ❖ 53 dévidoirs (RIA).
 - Moyens mobiles disposés à la centrale de sécurité
 - ❖ 01 VMR 105 mixte
 - ❖ 01 VMR 80
 - ❖ 01 VMR 105 mousse
 - ❖ 01 VMR 115 EP 10
 - ❖ 02 PG 4500
 - ❖ 01 PG 6000
 - ❖ 01 VMA 80
 - ❖ 01 VMA 71

- ❖ 01 VMA 28
- ❖ 02 Groupes électrogène Diesel
- ❖ 01 Groupes électrogène Essence
- ❖ 02 Motopompes diesel (SIDES)
- ❖ 02 Motopompes (BEROUAGUIA)
- Communs
- ❖ Bac d'eau d'incendie : (Réserve d'eau commune MPP0).
- ❖ Pomperie: (Commune MPP0).

- ❖ Réseau d'incendie comportant :
 - 27 poteaux d'incendie
 - 01 lance monitor
 - 06 dévidoirs tournants
 - ❖ Moyens mobile (communs MPP0)

3. Description du système four rebouilleur H102

Les grandes tours de fractionnement utilisent des rebouilleurs réchauffeurs directs (ou fours) en tant que rebouilleurs à colonne de distillation. Une pompe est nécessaire pour faire circuler les résidus de la colonne à travers les tubes (passes) de transfert de chaleur dans le four.

Le combustible s'écoule dans le brûleur et est brûlé avec l'air fourni par différence de pression (tirage naturel). Un four donné peut être équipé de plusieurs brûleurs.

Les flammes chauffent les tubes qui, à leur tour, chauffent le fluide dans la section radiante.

Dans la chambre de combustion, appelée boîte à feu, la chaleur est principalement transférée **par rayonnement** aux tubes placés autour du feu dans la chambre. Le fluide à chauffer passe dans les tubes et est donc chauffé à la température voulue.

Les gaz de combustion sont appelés gaz de carneau. Lorsque le gaz de carneau quitte la boîte à feu, il entre généralement dans une section **de convection** au sein de laquelle la majeure partie de la chaleur est récupérée avant d'être rejetée dans l'atmosphère par la cheminée de gaz de carneau.

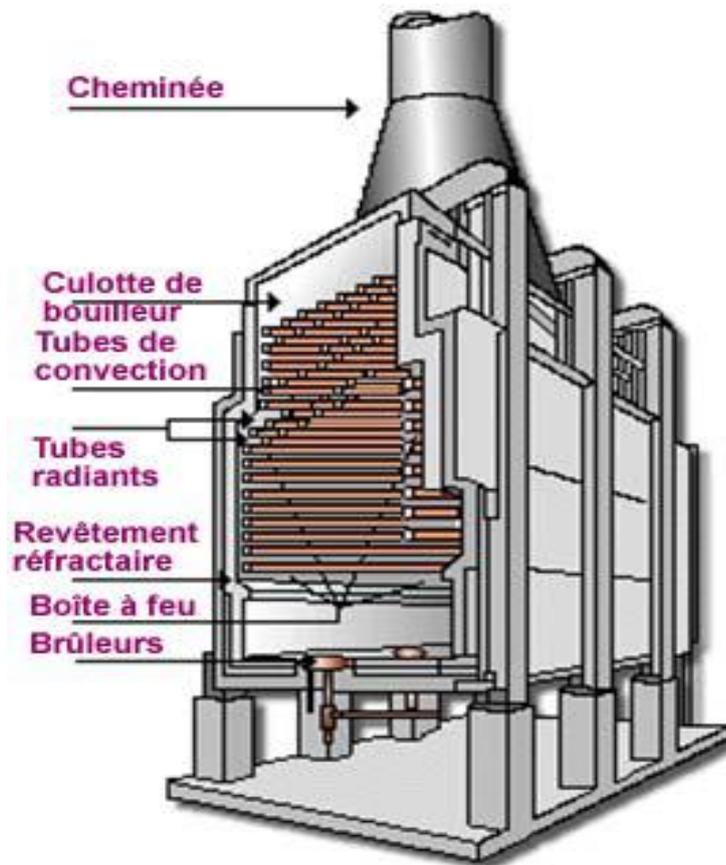


Figure 1.2 : Différents parties du four H102

Remarque :

Un écoulement constant par toutes les passes du rebouilleur est de la plus haute importance et des dispositifs de contrôle doivent être verrouillés pour arrêter le réchauffeur en cas de problème d'écoulement.

Tableau 1.2 : Caractéristique principale de l'équipement

Equipement	42. H102
Nature du gaz	Hydrocarbure
Pression de service	17 KG/CM ²
Pression de calcul	23 ,6 KG/CM ²
Température	355°C
Surface	447M ²
Volume intérieur	16 770 LITRES
Pression d'épreuve hydrostatique	34,3 bars
poids	196 TONNES

3.1.Partie rebouilleur

Cette partie contient les éléments nécessaires à l'allumage du four.

- 10 brûleurs pilotes.
- 10 brûleurs principaux.

3.1.1. Description du circuit fuel gaz

L'entrée principale de fuel gaz est équipée d'un filtre et d'une vanne autorégulatrice de pression PCV133, le circuit principal se partage ensuite en deux circuits différents :

a) Circuit pilote

Le passage de fuel gaz dans ce circuit est contrôlé par les vannes suivantes :

- Les vannes tout ou rien de sécurité : UZV 126 A, B et C
- Les électrovannes individuelles de chaque pilote : SDV 110 -1 à SDV 110-12.
- Vanne de contrôle de pression du gaz PCV133.

b) Circuit bruleur principal

Le passage du fuel gaz dans ce circuit est contrôlé par les vannes suivantes :

- Les vannes tout ou rien de sécurité : UZV 126 A, B et C
- Vanne de contrôle de débit : elle sert à réguler le débit en fonction de la température de sortie du circuit condensat.
- Vanne de contrôle de pression du gaz PCV133.

✓ Le principe de démarrage et de conduite de chaque four est le suivant :

- Mise en condition de démarrage et allumage des pilotes et bruleurs en local par actions manuelles sur les organes locaux, ou sur la face avant du tableau de commande local.
- Conduite du four depuis la salle de contrôle par surveillance des diverses indications de températures, pressions, débit, ainsi que des différentes alarmes présentes au niveau du tableau de contrôle.

La seule action possible depuis la salle de contrôle concerne la sécurité est l'arrêt du four par action sur bouton poussoir de Mise Hors Service, cette dernière a pour conséquence la fermeture des vannes automatiques d'alimentation en gaz des circuits pilotes et des bruleurs.

d) Pour la partie circuit condensât

Le passage du condensât dans ce circuit est commandé par une vanne de débit FCV-144.

Le condensat (température environ 150°C) venant du fond de la colonne C102 est envoyé au moyen des pompes P- 104A/B, au Four de Rebouillage H102 à travers 4 passes pour être chauffé après son passage par deux zones : La zone de convection puis la zone de radiation qui travaillent respectivement à environ 350 °C & 550 °C.

Le fluide sortant du rebouilleur, partiellement vaporisé à environ 180 °C, est renvoyé à la colonne pour assurer le rebouillage nécessaire à son fonctionnement.

3.1.2. Les différents régulateurs (contrôleurs) dans le four H102

Le but du contrôle automatique d'un système est de maintenir un paramètre d'exploitation (variable contrôlée) à une valeur constante et prédéterminer, malgré l'influence de paramètre non contrôlés (quantités perturbatrices).

- ❖ Le contrôleur reçoit :
 - Le signal de mesure émis par l'émetteur
 - La consigne (manuelle ou automatique)
- ❖ Il assure le contrôle-commande suivant : comparaison des mesures avec la valeur du consigne et réglage du signal de sortie sur l'organe final de la boucle de contrôle, en fonction de l'erreur entre valeur mesurée et valeur de consigne.
- ❖ Élément fourni : signal de commande à l'organe final de la boucle de contrôle (en général une vanne)

La boucle du four H102 est décrite par deux paramètres :

- ✓ Le débit
- ✓ La température

a) Régulation du débit : FIC 144

La quantité du condensat sortante du fond de la colonne C102 est bien calculer et elle refouler par une pompe P104 dans le four pour la chauffer, la régulation du débit qui passe dans le serpentin (passes du four) est assurer par :

- Le contrôleur FC144 (Flow Controller) avec une limite inférieur (low ou bas débit : FZL)
- Un capteur FIC144 qui reçoit l'ordre du DCS (salle de contrôle) « set point »
- Un actionneur qui ouvre la vanne d'un certain pourcentage de tel sorte à garder le débit désiré (conduite pleine).

FIC144 {
 Mesure : 179 ,8
 Set point : 180
 Ouverture : 50%

b) Régulation de la température TRC114

La température du produit de chaque passe sortant du four est affichée à l'aide des indicateurs TI122 (2 à 5), la moyenne de ces quatre valeurs est enregistrée par la TR114

La régulation de la température du four est assurée par la régulation du débit du fuel gaz bruler dans ce dernier.

Le contrôleur TC114 qui est constitué d'un capteur de température TRC114 va ouvrir ou fermer la vanne d'admission de fuel gaz selon le besoin

TRC114 {
 Mesure : 204,06
 Set point : 204
 Ouverture : 14,63%

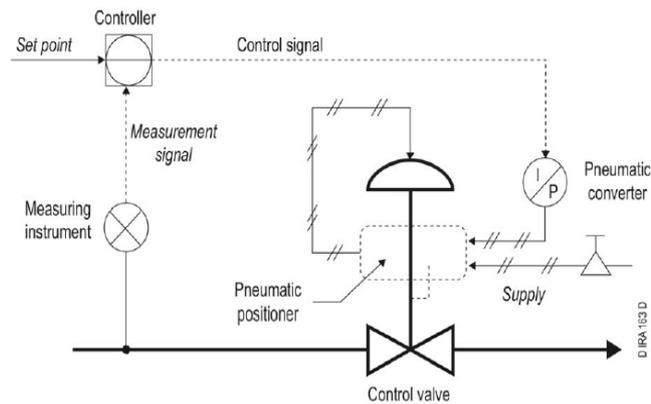


Figure 1.3: Boucle simple de régulation

3.2. Le système de surveillance du four H102

Le système de surveillance ou les différents indicateurs sont eux même des barrières préventives de sécurité (FI, TI, PG, DG) qui assurent l'apport de l'information à l'opérateur sur les conditions du fonctionnement du site, ce système comporte :

- Un sous-système de surveillance de débit qui passe dans le serpentin du four (dans les quatre passes), il est constitué d'un débitmètre et un opérateur sur site
- Un sous-système de surveillance de température qui est constitué d'un thermocouple TI156 et TI166 qui indique la température du cheminé, et un opérateur sur site
- Un sous-système de surveillance de pression constitué d'un manomètre PG146 et PG147 et un opérateur sur site
- Un sous-système de surveillance de la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du four, constitué d'un manomètre DG148 et un opérateur sur site

La vérification de ces derniers paramètres est visuelle (par l'opérateur) et elle doit être périodique chaque 2heure.

3.2.1. Système d'alarme

- ❖ Lorsque la PAL 147 = 0,4 ou PAH 147 = 1,2 l'alarme se déclenche et le transmetteur envoie le signal capté au DCS, cette dernière traite le signal et alerte les opérateurs
- ❖ Lorsque la FAL 144 = 155 T/H l'alarme se déclenche et le transmetteur FT144 envoie le signal capté au DCS, cette dernière traite le signal et alerte les opérateurs
- ❖ Lorsque la TAH (117-118) = 590°C l'alarme se déclenche et le transmetteur TT (117-118) envoie le signal capté au DCS, cette dernière traite le signal et alerte les opérateurs
- ❖ Lorsque la TRCAH114 = 309°C l'alarme se déclenche et le transmetteur TT 114 envoie le signal capté au DCS, cette dernière traite le signal et alerte les opérateurs

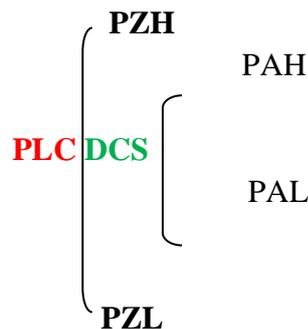
3.3. Système de prévention (Système d'arrêt d'urgence ESD)

Le système ESD installé dans la section du four est un type de SIS fonctionnant en faible demande qui assure, en cas d'activation, l'arrêt total automatique de la section pour minimiser

le risque de dommage consécutif. Il est constitué d'un ensemble d'éléments d'entrée (transmetteurs, détecteurs) qui surveillent l'évolution des paramètres physicochimiques représentatifs du comportement du procédé de la section four rebouilleur (température, pression, débit). Si au moins un de ces paramètres dévie au-delà d'une valeur de consigne et s'y maintient, cette déviation constitue ce qui a été appelé demande ou sollicitation. Elle est détectée par les capteurs concernés qui envoient un signal au l'unité logique qui est un automate programmable contrôleur d'un niveau d'intégrité de sécurité SIL 3 de type *Triconex*.

3.3.1. Les facteurs de déclenchement du four H102

La logique de sécurité assure la réalisation d'action pour contrer tout écart excessif des paramètres du procédé en cas du déclenchement d'alarme le PLC « triconex » maintien le procédé en fonctionnement et donne l'autorisation à l'opérateur pour mener tout action nécessaire à la reprise du procédé en conditions normales de fonctionnement, si les seuils limites (minimum ou maximum) sont atteint le PLC intervient pour protéger l'équipement (arrêt de fonctionnement)



3.3.1.1. Détecteur UV

Pendant la séquence de lancement, on envoie une indication de présence ou d'absence de flamme au système de commande, géré par le système de contrôle de flamme.

Le capteur de flamme est sensible à la présence des radiations ultraviolettes émises par la flamme aux hydrocarbures.

Dans le four H102 chaque bruleur est allumé à l'aide d'un pilote (petite flamme a coté), la flamme de ce dernier est détecté par un UV.

Si le signal est positif la flamme est allumée, s'il est négatif => extinction de la flamme => alarme.

En fonctionnement normal le DCS doit au moins recevoir 4 signaux positifs indiquant la marche de quatre pilotes en cas d'absence d'un signal le PLC intervient immédiatement et arrête le fonctionnement du four H102.

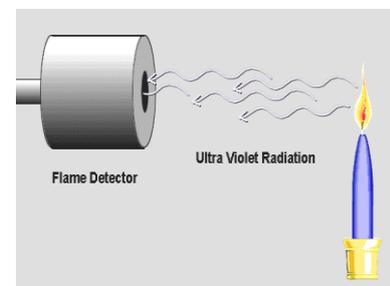


Figure 1.4 : Détecteur UV

Tableau 1.3 : Facteurs de déclenchement

Facteur	Valeur
TZH 117 - 118	600°C
FZL	152 T/H
TZH114	320°C
PZL	0,2
PZH	1,9
Détecteur UV	Minimum 4 signaux positif

3.4. Système de protection (SYSTEME D'EXTINCTION DES FOURS H102)

a) Rideau d'eau

Le système rideau d'eau pour les fours est installé autour des fours. Ces barrières sont utilisées face à une fuite de gaz (action directe sur la concentration en toxique) ou encore lors de feux d'hydrocarbures (action sur le flux thermique rayonné par l'incendie) se propagent vers les fours.

b) Système d'injection d'azote

L'utilisation de l'azote comme un gaz inerte pour rendre l'intérieur de four incomburent en cas d'incendie repose sur les principes suivants :

- L'air libre est très riche en Azote (**78%**) ; question d'économie.
- Sa simplicité de production au niveau de l'usine.
- Pas polluant pour l'air
- Pas corrosif pour le serpentin (tuyauterie intérieure de four acheminée les hydrocarbures).

c) Linge vide vite

Dans le cas d'urgence notamment : incendie, dysfonctionnement...etc. Les capacités (colonnes, ballons, fours...) seront vidées de leurs contenues groupe par groupe vers un ballon vertical ballon d'urgence.

Un refroidissement par pulvérisation d'eau sera proposé.

Les décharges chaudes liquide - vapeur venant de l'unité en question, entrent dans le ballon contrôlé par une TC (contrôleur de température) qui règle la température correspondante au point de consigne fixé par l'exploitant, la partie liquide (brut) récupérée est envoyée vers le ballon de retraitement (par gravité), tandis que l'eau vers le bassin et la partie vapeur alimente le ballon de torche.

Conclusion

Ce chapitre est consacré à la description du four H102 qui nous a permis d'identifier les différents composants constituent le système de rebouillage

Comme nous sommes intéressés aux différents risques engendrés par le four H102, il est évident d'en parler sur les systèmes de sécurité cités ci-dessus, mais plus particulièrement sur :

- ✚ Système de surveillance
- ✚ Système d'alarme et d'arrêt d'urgence ESD

Ces systèmes et leurs dispositifs seront abordés par la suite dans notre étude.

Chapitre 2

Présentation succinctes de la démarche de gestion des risques

Introduction

Ces dernières années, de plus en plus d'entreprises du secteur industriel cherchent à appliquer les principes et les méthodes de management des risques, poussées par d'une part des réglementations plus contraignantes et d'autre part la nécessité de diversifier leur offre pour répondre aux exigences des clients. Il n'est pas rare de voir des entreprises aboutir à des accidents graves et coûteux, à une dégradation ou une remise en cause de leurs objectifs.

C'est pourquoi, le management des risques est devenu pour de nombreuses organisations une préoccupation majeure et un élément indispensable non seulement à la réussite de l'entreprise mais également à son développement, voire à sa survie.

Dans ce chapitre, on va aborder quelques concepts et définitions liés au processus de management des risques et décrire le concept de réduction des risques, avant d'exposer l'essentiel des méthodes d'analyse du risque constituant l'objet premier de ce travail.

1. Processus de gestion des risques

Bien qu'il existe des différences importantes sur les termes liés à la gestion des risques, la définition de processus de gestion des risques est relativement identique dans tous les référentiels et normes [ISO, 1999 ; OHSAS18001, 1999, IEC 61511, 2003] Dans le cadre de la gestion des risques, l'analyse et l'évaluation des risques peuvent être menées, selon la qualité de l'information et les données recueillies sur le système par plusieurs façons, qualitative, semi-quantitative ou quantitative. Dans ce qui suit et pour chaque approche, nous présentons quelques méthodes.

Dans les guides ISO/CEI 51 et 73 [ISO, 1999], la gestion des risques est définie comme l'ensemble des activités coordonnées, menées en vue de réduire le risque à un niveau jugé tolérable ou acceptable, à un moment donné et dans un contexte donné.

Le processus de gestion des risques est un processus itératif incluant étapes suivantes :

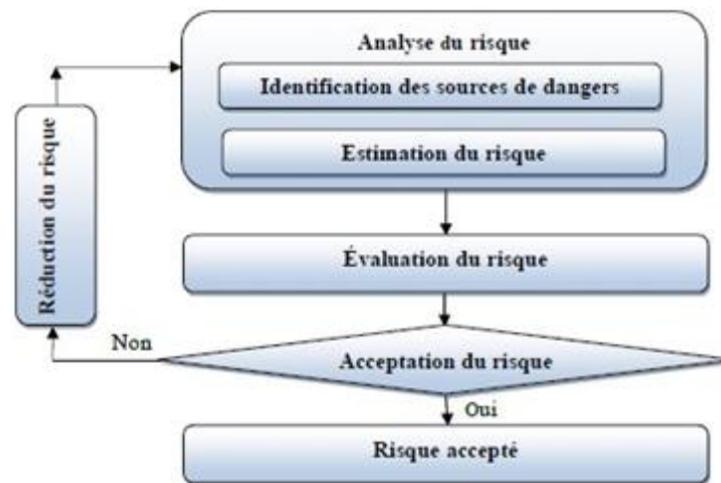


Figure 2.1 : Processus de gestion des risques

1.1. Analyse du risque

L'analyse des risques occupe une place centrale dans le processus de gestion des risques. Cette étape sert à définir le système ou l'installation à étudier en recueillant toutes les données et informations nécessaires. Dans ce volet une description à trois niveaux, structurel, fonctionnel et temporel est indispensable afin de mener une analyse efficace et atteindre les objectifs voulus en matière de maîtrise des risques. Dans un premier temps, les principales sources de dangers et les scénarios d'accident doivent être recensés et identifiés. La complexité de certains systèmes étudiés requiert l'utilisation des outils d'analyse aidant à l'identification des dangers [INERIS_2003]. Citons par exemple HAZID (Hazards Identification), HAZOP (Hazard and Operability Study), APD (Analyse Préliminaire de dangers) et d'autres. Ces outils d'analyse permettent aussi d'identifier les différentes barrières de sécurité existantes dans le système étudié. Une fois le danger est identifié, le risque associé doit être évalué. L'estimation peut être qualitative, semi-quantitative et/ou quantitative en termes de probabilité de son occurrence et de la gravité de ses conséquences sur les personnes, les biens et l'environnement.

1.2. Evaluation du risque

Après avoir estimé le risque, on doit le comparer aux critères d'acceptabilité établis préalablement par l'entreprise / organisation concerné. Cette évaluation permet de prendre une décision sur l'acceptabilité ou l'inacceptabilité de chaque risque [ISO, 1999], c'est-à-dire, déterminer s'il convient d'accepter le risque tel qu'il est ou bien de le réduire.

1.3. Acceptation du risque

L'acceptabilité d'un risque est faite à partir de ses deux paramètres. Le niveau du risque quantifié sera positionné dans une matrice d'évaluation et en fonction des critères d'acceptabilité retenus et le risque estimé qu'on juge de l'acceptabilité ou la non acceptabilité du risque [ISO, 1999]. Si le risque est jugé acceptable le processus de gestion sera terminé et le risque jugé sera surveillé, Dans le cas contraire, le processus continue en passant à l'étape de réduction.

1.4. Réduction du risque

Cette étape consiste à mettre en œuvre les différentes mesures et barrières de prévention et de protection afin de réduire l'intensité du phénomène (réduction potentielle de danger, atténuation des conséquences) et à diminuer la probabilité d'occurrence par la mise en place de barrières visant à prévenir les accidents [Kirchsteiger, 1999]. Outre les améliorations techniques et de fiabilité d'équipements, la prévention passe aussi par une meilleur prise en compte des facteurs de risque liés à l'organisation et aux personnes. Le choix des actions préventives à engager est effectué en comparant les coûts de leur mise en œuvre avec les coûts des conséquences de risque, en tenant compte de leur probabilité d'apparition. Un suivi régulier de l'évolution des risques est recommandé dans la démarche de gestion des risques afin de contrôler et d'assurer la pertinence des actions préventives engagées et de corriger les dispositions prévues [INERIS, 2003].

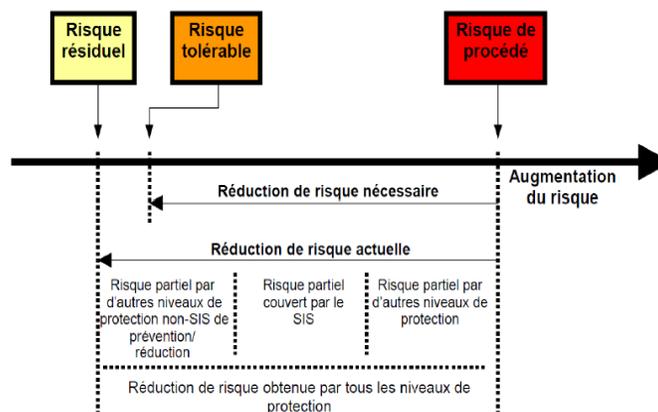


Figure 2.2: Réduction du risque - Concepts généraux [IEC-61511, 2000]

1.5. Concepts d'ALARP et de risque tolérable

Le modèle ALARP est une approche particulière permettant de parvenir à un risque tolérable.

1.5.1. Modèle ALARP (As Low As Reasonably Practicable)

Le principe ALARP consiste à opérer de sorte que tout risque soit ramené au plus bas niveau possible ou jusqu'à un niveau qui soit aussi faible que possible de manière raisonnable. Si un risque se situe entre les deux extrêmes (zone inacceptable et zone acceptable) et si le principe ALARP a été appliqué, le risque résultant est le risque tolérable pour l'application concernée. Cette approche de trois zones est illustrée dans la figure 2.3.

A partir d'un certain niveau, un risque est considéré comme intolérable et ne peut être justifié dans aucune circonstance ordinaire.

Au-dessous de ce niveau, il y a une zone tolérable où une activité peut avoir lieu si les risques associés sont aussi faibles que possible. Tolérable a ici une signification différente d'acceptable, cela indique un désir de vivre avec un risque dans le but d'assurer certains bénéfices, tout en supposant qu'il soit examiné et réduit quand il peut l'être. L'évaluation du bénéfice est demandée soit explicitement, soit implicitement pour mesurer le coût ou encore pour envisager d'autres mesures de sécurité. Il faut s'attendre à une dépense d'autant plus importante pour réduire un risque qu'il est lui-même plus important. A la limite du tolérable, les dépenses disproportionnées au bénéfice seraient justifiées. Ici le risque peut être considéré comme substantiel et l'équité demande qu'un effort considérable soit justifié, même pour atteindre une réduction marginale.

Lorsque les risques sont moins significatifs, la dépense est d'autant moins importante pour les réduire et, à la limite la plus basse de la zone de tolérabilité, il suffira d'équilibrer les coûts et les bénéfices.

Au-dessous de la zone tolérable, les niveaux de risque sont considérés comme tellement insignifiants que le besoin régulateur ne demande pas d'autres améliorations. C'est la zone étendue dans laquelle les risques sont faibles en comparaison avec les risques de tous les jours. Puisque ces risques sont dans la zone acceptable, il n'y a pas besoin d'un travail détaillé pour démontrer ALARP ; il est nécessaire tout de même de rester vigilant pour assurer que le risque reste à ce niveau, pour l'entreprise SONATRACH la zone du risque est représentée en Annexe E.

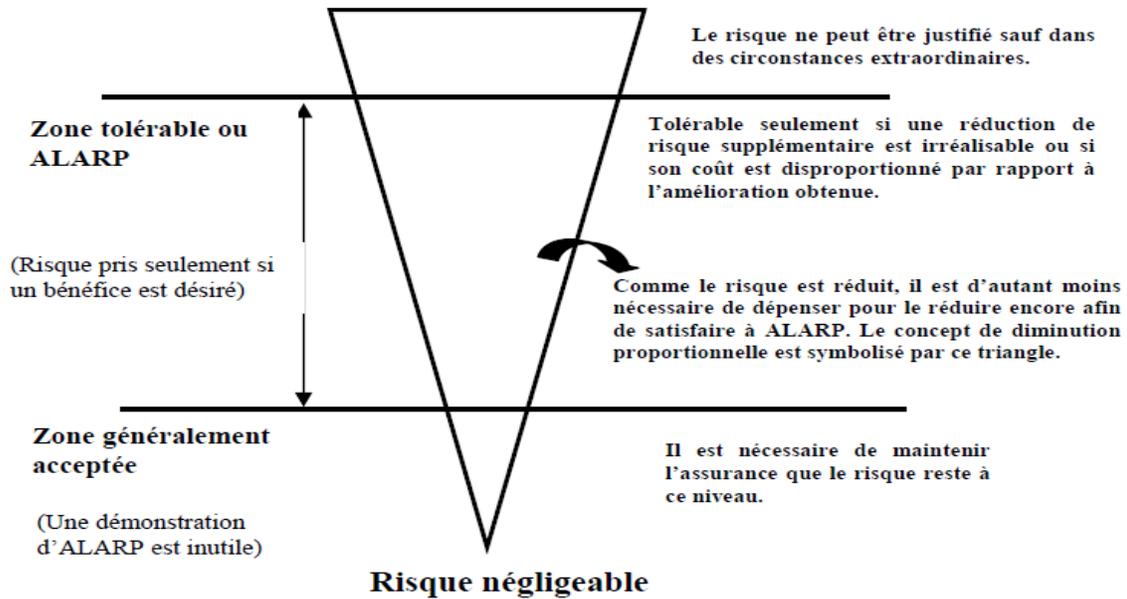


Figure 2.3 : Risque tolérable et ALARP [IEC-61508, 1998]

2. Méthodes d'analyse et d'évaluation des risques

Dans cette partie nous allons décrire brièvement les principales méthodes utilisées dans une démarche d'analyse des risques. Ces méthodes seront classées dans trois principales catégories :

- ✚ Méthodes qualitatives
- ✚ Méthodes semi- quantitatives
- ✚ Méthodes quantitatives

2.1.Méthodes qualitatives

L'analyse qualitative des risques constitue un préalable à toutes autres analyses. En effet elle permet la bonne compréhension et connaissance systématique du système étudié et de ses composants [Villemeur, 1988]. Pour une bonne évaluation qualitative du risque cette approche ne s'appuie pas explicitement sur des données chiffrées, mais elle se réfère à des observations pertinentes sur l'état du système et surtout sur le retour d'expérience et les jugements d'experts [Kirchsteiger, 1999]. Cette approche nécessite alors une très bonne connaissance des différents paramètres et causes liés au système étudié. Dans quelques études de dangers, cette approche peut être suffisante pour atteindre les objectifs voulus si elle est bien menée et justifiée.

De nombreuses outils d'analyse et d'évaluation des risques à caractère qualitatif existent citons :

2.1.1. Hazard and Operability study (HAZOP)

La méthode HAZOP est un outil qualitatif très utilisé en particulier dans l'industrie pétrochimique. Généralement HAZOP représente une extension de l'analyse des modes de défaillance et leurs (AMDE). Elle consiste à détecter des problèmes potentiels qui peuvent causer un écart par rapport à la conception d'origine et à voir les causes et les conséquences de ces écarts. Cette méthode est mise en œuvre à la fin de phase de conception et précisément au début de phase de réalisation des systèmes industriels puisqu'elle s'appuie sur les plans de circulation des fluides et les schémas détaillés PID (Piping and instrumentation diagram) du système étudié [INERIS, 2003 ; CEI 61882,2001] son déroulement est comme suit:

Après avoir décomposé le système en parties (lignes de circulation), tous les paramètres associés au fonctionnement du système doivent être identifiés, généralement les paramètres rencontrés concernent la température, pression, le débit et le temps [INERIS, 2003]. Ces derniers peuvent subir des contraintes intrinsèques ou extrinsèques qui vont rendre anormal le fonctionnement du système. Citons par exemple:

Augmentation / diminution de débit.

Diminution / élévation de la température ou de pression.

Dépassement du temps ... etc.

Ces variations (dérives potentiels) des paramètres engendrent des conséquences potentielles et pour prévenir ces conséquences, HAZOP identifie pour chaque dérive les moyens de détection et les différentes barrières de sécurité prévues pour réduire l'occurrence des accidents .Dans notre étude de cas, cette méthode sera appliquée dans un but d'identification des différents scénarios d'accident

2.1.2. Graphe de risque étalonné

Le graphe de risque étalonné est une méthode qualitative utilisée en sûreté de fonctionnement et appliquée largement dans de nombreux domaines, pétrolier, chimique, nucléaire...etc. [IEC61511, 2003].

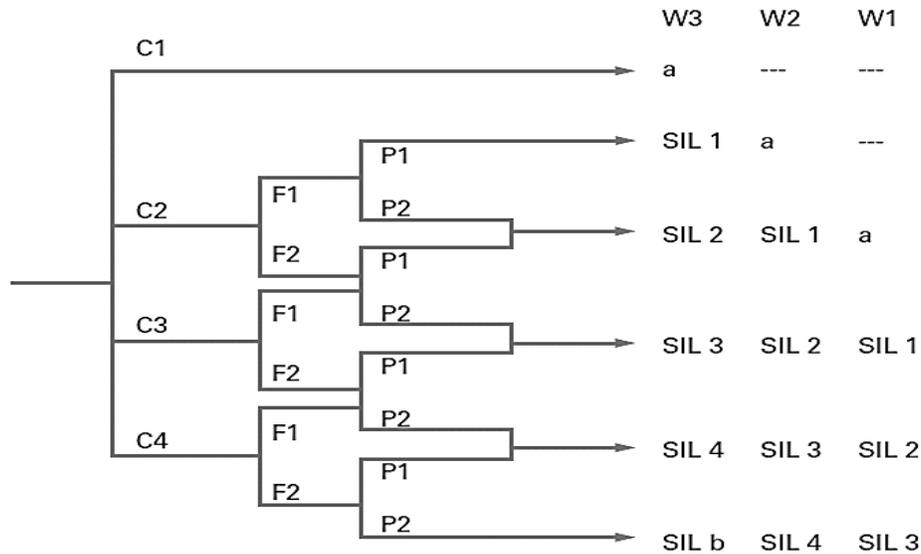
Cette méthode a pour but de déterminer le niveau d'intégrité de sécurité(SIL) d'une fonction instrumentée de sécurité caractérisant un système instrumentée de sécurité (SIS) [IEC61511, 2003]

Le graphe de risque consiste à hiérarchiser les niveaux de sécurité à partir de quatre paramètres liés à la conséquence du risque sur le personnel ou l'environnement (C), à la fréquence d'exposition au risque (F), à la possibilité d'éviter le danger (P) et à la probabilité d'occurrence du danger (W). Les niveaux affectés aux paramètres du graphe constituent la base de l'évaluation du risque.

Une phase de calibrage ou d'étalonnage du diagramme de risque est nécessaire. Elle permet d'adapter les paramètres en prenant en compte les spécificités de l'entreprise et la réglementation.

La difficulté est alors de calibrer le graphe. L'étalonnage des paramètres doit prendre en compte toutes les situations.

Un compromis doit être trouvé entre une échelle trop large et une précision suffisante.



--- : Aucune prescription sécurité n'est nécessaire
 a : Pas de prescription sécurité particulière
 b : Un SIS n'est pas suffisant pour garantir de la maîtrise des risques

Figure 2.4: Graphe de hiérarchisation du risque [CEI 61511].

2.2.Méthodes semi-quantitatives

L'analyse semi-quantitative des risques est une approche qui n'est ni purement qualitative ni purement quantitative [Desroches, 1995]. Cette démarche a pour but d'enlever l'aspect hautement subjectif de l'information utilisée dans l'approche qualitative en lui donnant plus de précision et d'exactitude, et en même temps pour assouplir et combler le manque de la robustesse des données de l'approche quantitative.

De nombreuses méthodes et outils d'analyse et d'évaluation à caractère semi-quantitatif ont été développés. Dans ce qui suit on présentera certaines méthodes parmi les plus utilisées dans l'évaluation des risques.

2.2.1. Analyse des couches de protection (LOPA)

La méthode LOPA fut historiquement l'une des méthodes récentes qui a été développée en 1990 par le CCPS (Center for Chemical Process Safety) [CCPS, 2001]. LOPA est un acronyme qui signifie "LAYERS OF PROTECTION ANALYSIS" (analyse des couches de protection). Cette

méthode fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes et des procédés industriels chimiques, pétrochimiques et nucléaires [IEC61511, 2003].

a) Principe de la méthode LOPA

L'analyse des couches de protection est une méthode semi-quantitative orientée barrières [CCPS, 2001], qui est destinée à la maîtrise des risques d'accidents majeurs.

Généralement le principe de cette méthode consiste en premier lieu à identifier les différents scénarios d'accidents d'une installation.

En effet, il s'agit à partir d'un événement redouté défini à priori par une analyse qualitative des risques du type HAZOP, AMDE [IEC61511, 2003], de déterminer l'enchaînement d'événements pouvant conduire à cet événement dangereux. Il s'agit ensuite d'évaluer la robustesse des couches de protection mises en place selon une approche semi-quantitative. Cette dernière permet d'évaluer la probabilité de défaillance à la demande (PFD) de chaque couche de protection.

Une fois les événements initiateurs sont identifiés et leurs fréquences d'occurrence sont ajustées, LOPA permet détermination de la fréquence de réalisation de chaque scénario d'accident par multiplier la fréquence d'occurrence de cet événement initiateur par le produit des PFD des couches de protection existantes. Une fois le scénario d'accident est estimé en terme de fréquence de la conséquence, il reste à décider si ce scénario d'accident est acceptable ou non. Cette décision sera prise au travers d'une évaluation de ce risque par rapport aux critères d'acceptabilité arrêtés au début de l'analyse.

b) Déroulement de la méthode LOPA

La démarche généralement retenue [CCPS, 2001 ; Chunyang et al 2008] pour réaliser une analyse par la méthode LOPA est la suivante:

Comme tout outil d'analyse des risques, l'établissement des critères d'acceptabilité et de sélection des scénarios d'accidents à évaluer se révèle indispensable et préalable.

- Développement des scénarios d'accidents
- Identification des fréquences des événements initiateurs.
- identification des couches de protection indépendantes et leurs probabilités de défaillances à la demande.
- Détermination des fréquences des scénarios d'accidents
- Evaluation des scénarios d'accidents par rapport aux critères d'acceptabilité du risque.

Etapes de la méthode LOPA :

Généralement la méthode LOPA peut être décomposée en six principales étapes:

a) Etape I : Etablissement des critères d'acceptabilité et de sélection scénarios d'accidents

Cette étape est préalable à l'analyse des risques, elle fournit un moyen de limiter la durée de l'étude en ne considérant que les scénarios significatifs en termes de conséquence. L'établissement des critères d'acceptabilité est fait en fonction du contexte de chaque

établissement/entreprise concerné et aussi des objectifs poursuivis dans chaque démarche de gestion des risques. Quelques soient les critères d'acceptabilité retenus, il est indispensable qu'ils soient connus préalablement avant toute phase d'analyse des risques industriels [Marszal and Scharpf 2001]. L'estimation des conséquences des risques permet l'identification des scénarios d'accidents les plus importants. Pour les scénarios jugés inacceptables, une évaluation plus fine de gravité demeure indispensable. Quel que soit la méthode d'estimation des conséquences retenue [CCPS, 2001 ; Marszal and Scharpf 2001], le choix de telle méthode se fait en fonction des données disponibles et aussi la nature des accidents existants.

b) Etape 2 : Développement des scénarios d'accidents

Pour LOPA, le développement des scénarios d'accident est une étape principale qui devra être conçue attentivement afin d'aboutir à une bonne maîtrise de ces scénarios.

L'application préalable des méthodes d'analyse des risques (HAZOP-AMDE) permet d'identifier les causes, les conséquences et les différentes barrières de prévention et de protection

Rappelons que l'efficacité de la méthode LOPA demeure en premier lieu dans son application minutieuse et dans son détail présenté dans le développement des scénarios d'accident, ces scénarios doivent être développés et choisis correctement afin d'aboutir à une maîtrise des risques.

Etape 3: Identification des fréquences des événements initiateurs :

L'identification des fréquences des événements initiateurs est une étape importante qui aidera à l'estimation des fréquences des scénarios d'accidents [IEC61511, 2003].

Dans cette étape, il est important de recenser systématiquement l'ensemble des causes «événements initiateurs » pouvant être à l'origine des scénarios d'accidents.

Etape 4 : Identification des couches de protection indépendantes

LOPA est une méthode semi quantitative orientée barrières [CCPS, 2001] qui exige dans sa démarche une identification et une évaluation des couches de protection indépendantes mises en place dans un système industriel afin de pouvoir maîtriser les risques d'accidents inhérents à ce système. Comme toute barrière de sécurité, une couche de protection (IPL) peut être un élément, un système, un appareil, une action ou une procédure destinée à exécuter une certaine fonction de sécurité afin de prévenir un scénario d'accident et/ou réduire ses effets [Chunyang et al, 2008]. Cette barrière de sécurité possède un mode de fonctionnement à la sollicitation spécifique par rapport aux autres barrières de sécurité.

i) Efficacité

Pour une IPL, son efficacité réside dans sa capacité à remplir une fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans des conditions de fonctionnement bien déterminées. Cette efficacité s'exprime généralement en un certain pourcentage d'accomplissement de la fonction définie [INERIS, 2004], qui varie pendant la durée de la sollicitation de la barrière de sécurité, elle s'évalue par rapport au principe de dimensionnement adapté et aussi de résistance aux différentes contraintes spécifiques

L'efficacité d'une IPL dépend de son temps de réponse et de son niveau de confiance.

ii) Indépendance

Une barrière de sécurité est qualifiée IPL, si son fonctionnement ne dépend pas ni de fonctionnement des autres barrières de sécurité ni de fonctionnement du système lui-même. Cette propriété d'indépendance permettra à une IPL de remplir sa fonction de sécurité indépendamment de toute cause ou défaillance commune. La détermination des modes de défaillances communs permet de juger lesquelles de barrières de sécurité sont des IPL.

iii) Testabilité

Une IPL doit être conçue pour permettre périodiquement de s'assurer par test de leur efficacité. Pratiquement ces tests doivent être effectués afin de contrôler et de vérifier les performances des IPL (temps de réponse et niveau de confiance).

La figure montre généralement les différents types des IPL qui se trouvent dans la majorité des systèmes et des installations industrielles surtout chimiques et pétrochimiques.



Figure2.5 : couches de protection [EN 61511-3].

Notons que ces barrières de sécurité peuvent être retenues comme étant IPL pour certains scénarios d'accidents comme elles ne peuvent pas l'être. Cela est jugé à travers leur environnement et leurs modes de fonctionnement.

Evaluation des couches de protection indépendantes :

Dans la méthode LOPA [CCPS, 2001], l'évaluation des IPL est une étape importante qui sert à déterminer leur efficacité à réduire la fréquence des conséquences engendrées.

e) Etape 5 : Détermination des fréquences des scénarios d'accidents

La détermination des fréquences des scénarios d'accidents est une étape clé qui sert à évaluer les conséquences des scénarios d'accidents en termes de leurs probabilités d'occurrence et leurs conséquences engendrées. La fréquence d'un scénario d'accident est donnée par l'équation suivante [CCPS, 2001] :

$$f_i^c = f_i^I \prod_{j=1}^j PFD_{ij}$$

Ou :

f_i^c : Fréquence de la conséquence C pour l'évènement initiateur i

f_i^I : Fréquence de l'évènement initiateur

PFD_{ij} : Probabilité de défaillance a la demande de la i^{ème} IPL qui oppose la survenance de la conséquence

Cette procédure de calcul des fréquences de multiple scénario d'accidents nous aidera surtout à établir la comparaison par rapport aux critères d'acceptabilité élaborés préalablement et aussi de juger si ces risques sont acceptables ou non.

f) Etape 6 : Evaluation des risques par rapport aux critères d'acceptabilité

Cette étape consiste à évaluer les scénarios d'accidents estimés par rapport aux critères d'acceptabilité qui ont été fixés au préalable afin de s'assurer que les scénarios sont acceptables. Si ces scénarios d'accidents sont inacceptables des recommandations et des couches de protection doivent être implémentées afin de les maîtriser et les ramener à un niveau jugé tolérable.

c) Avantages et limites de la méthode LOPA

LOPA présente les avantages suivants [CCPS, 2000; IEC61511, 2003]:

LOPA est un outil performant et efficace d'évaluation des risques et des mesures de réduction de ces risques.

LOPA est un outil praticable et flexible permettant de déterminer la réduction apportée par chaque barrière de réduction (IPL) en lui attribuant des probabilités de défaillance à la demande(PFD).

Cependant LOPA présente des limites [CCPS, 2000, IEC 61511,2003 ; Markowski, 2007]:

LOPA est un outil qui ne peut pas être appliqué pour tous les scénarios d'accidents surtout ceux qui présentent des combinaisons de défaillances.

En pratique, il est souvent difficile de résumer une probabilité de défaillance en seule valeur numérique

2.3.Méthodes quantitatives

L'analyse quantitative des risques est considérée l'approche la plus retenue pour une bonne prise de décision sur les risques. Cette approche consiste à caractériser les différents paramètres d'analyse des risques par des mesures probabilistes [Desroches, 1995].

L'obtention de ces mesures passe généralement par un traitement mathématique [Villemeur, 1988] en prenant en compte les données relatives aux différents paramètres évalués et aussi aux informations qui sont de nature quantitative.

A l'égard de l'application de cette démarche, une attention particulière aux données utilisées, à leur origine et à adéquation aux cas étudiés doit être portée car une simple erreur remettra l'étude en cause.

Nous présentons une méthode quantitative parmi les plus utilisées, en l'occurrence l'arbre des événements

2.3.1. Arbre des événements (AdE)

L'arbre des événements est une méthode déductive [Villemeur, 1988] qui consiste à partir de l'événement initiateur conduisant à un événement indésirable à envisager l'échec ou le succès des fonctions de sécurité puis définir les événements susceptibles de se produire en aval de l'événement initiateur, les barrières de sécurité et leurs fonctions doivent être identifiées en leurs affectant des probabilités de défaillance. Comme il est montré dans la figure 2.6, L'AdE construit permet temporellement d'identifier les différentes séquences d'événements susceptibles de conduire ou non à des conséquences aux limites et les chemins les plus dangereux conduisant à des conséquences catastrophiques sont ensuite analysés en détail .

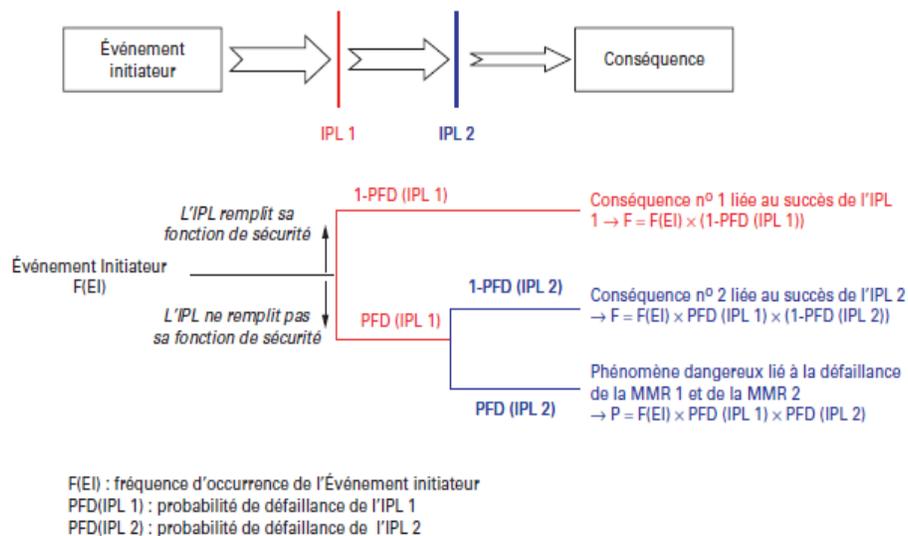


Figure 2.6 : Comparaison entre LOPA et l'arbre d'événement [CCPS, 2001]

La probabilité d'occurrence de l'événement initiateur par celles des barrières de sécurité existantes et pouvant empêcher le scénario d'accident.

Les étapes de la méthode sont:

- ✓ Définition de l'élément initiateur.
- ✓ Identification des barrières de sécurité et leurs fonctions.
- ✓ Construction de l'arbre.
- ✓ Traitement de l'arbre.

L'AdE sert le support pour LOPA. Pour ce, nous ferons appel à cette méthode pour représenter les scénarios d'accidents

2.3.2. Arbre de Défaillances

L'arbre des défaillances est une méthode graphique représentant plusieurs combinaisons séquentielles ou parallèles de causes qui vont conduire à l'événement redouté. Elle est essentiellement qualifiée de quantitative.

Il s'agit d'une méthode très générale, facilement applicable à différents systèmes avec différents niveaux de détails, par exemple en sûreté de fonctionnement pour quantifier la probabilité de défaillance des systèmes de sécurité.

2.3.2.1. Historique et domaine d'application

L'analyse par arbre de défaillance 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 soixante (1960) par la compagnie américaine « Bell Telephone» et fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir de missiles.

Visant à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'événements pouvant conduire à un événement redouté pris comme référence, l'analyse par arbre de défaillances est maintenant appliquée dans des nombreux domaines tels que l'aéronautique, le nucléaire, l'industrie chimique ..., elle est également utilisée pour analyser a posteriori les causes d'accidents qui se sont produits [INT 06].

2.3.2.2. Principe de construction

L'analyse par arbre de défaillance est une méthode de type déductif, en effet il s'agit de déterminer les enchaînements d'événements pouvant conduire à l'événement indésirable retenu, cette analyse se termine lorsque toutes les causes potentielles correspondent à des événements élémentaires. Les événements de base correspondent généralement à des:

- Événements élémentaire qui sont généralement 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, représenter par un cercle ;
- Événement ne pouvant être considérés comme élémentaires mais dont les causes ne seront pas développées faute d'intérêt, représenter par un losange ;
- Événements dont les causes seront développées ultérieurement au gré d'une nouvelle analyse par exemple, représenté par un double losange ;
- Événements survenant normalement et de manière récurrente dans le fonctionnement du procédé ou de l'installation, représenté par une maison [INT 06]

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

- Ces événements sont indépendants ;
- Ils ne seront décomposés en éléments plus simples faute de renseignements, d'intérêt ou bien parce que cela est impossible;
- Leur fréquence ou leur probabilité d'occurrence peuvent être évaluée ;

Ainsi, l'analyse par arbre de défaillances permet d'identifier les successions et les combinaisons d'événements qui conduisent des événements de base jusqu'à l'événement indésirable retenu. Les principaux symboles utilisés sont présentés dans le tableau suivant

Tableau 2.1 : Principaux symboles utilisés dans les Add [INT 06]

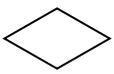
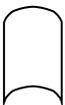
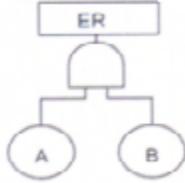
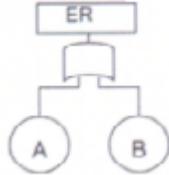
Symbole	Description
	Élément intermédiaire Élément relatif à un événement qui a au moins un antécédent « cause » relié avec une porte logique.
	Élément de base Élément relatif à un événement qui ne nécessite pas de développement, les limites de résolution sont atteintes.
	Événement non développe L'événement ne sera pas développé car soit ces conséquences sont trop faibles, soit il n'y a pas d'information disponibles.
	Transfert Ce triangle indique que l'arbre correspondant à l'événement auquel il est relié est développé séparément.
	Porte « ET » L'événement de sortie se réalise si tous les événements reliés à la porte se réalisent en même temps.
	Porte « OU » L'événement de sortie se réalise si seulement un seul des événements reliés à la porte se réalise.

Tableau 2.2 : Symbole des portes « ET », « OU » [INT 06]

	Porte « ET »	Porte « OU »
Symbole		
Equation	$ER=A.B$	$ER=A+B$

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

- Définition de l'événement redouté étudié;
- Elaboration 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 des risques.

2.3.2.3. Elaboration de L'arbre

La recherche systématique des causes immédiates, nécessaires et suffisantes (INS) est donc à la base de la construction de l'arbre, il s'agit probablement de l'étape la plus délicate et il est souvent utile de procéder à cette construction au sein d'un groupe de travail pluridisciplinaire. De plus, la mise en œuvre préalable d'autres méthodes d'analyse des risques de type inductif (APR par exemple) facilite grandement la recherche des défaillances pour l'élaboration de l'arbre [INT 06]. Afin de sélectionner les événements intermédiaires, il est indispensable de procéder pas à pas prenant garde à bien identifier les causes directes et immédiates de l'événement considéré et se poser la question de savoir si ses causes sont bien nécessaires et suffisantes

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

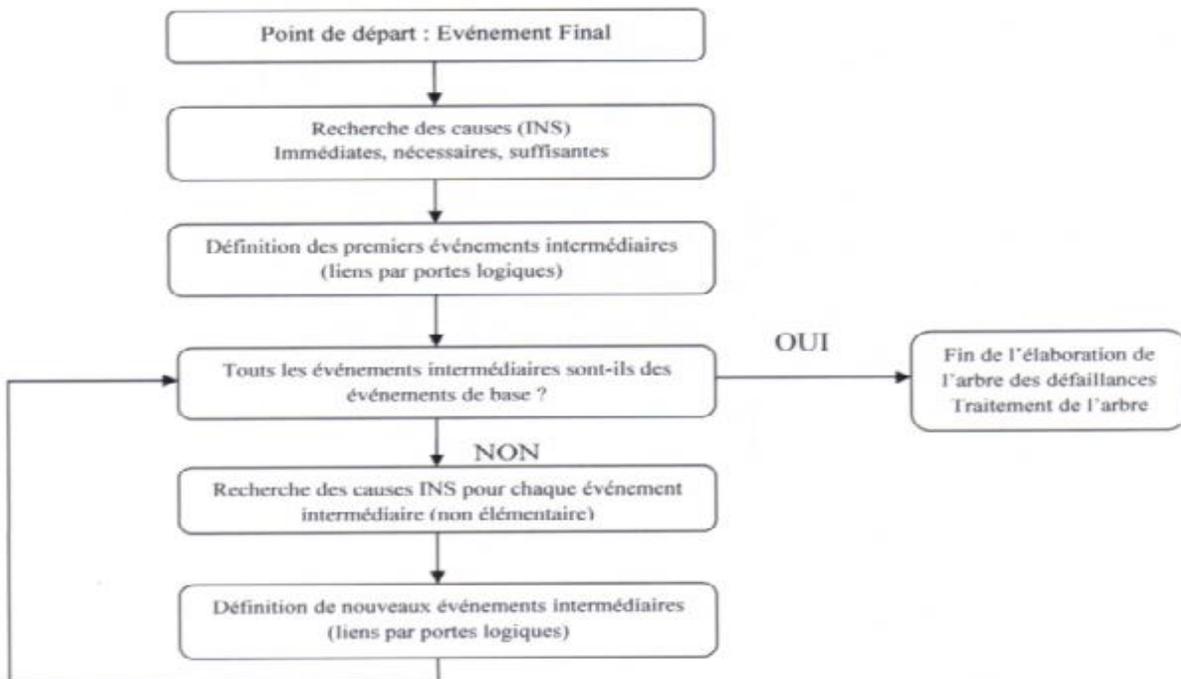


Figure 2.7: Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances [INT 06]

2.3.2.4. Exploitation de l'arbre des défaillances

L'exploitation de l'arbre de défaillances peut être réalisée de manière qualitative et quantitative. Elle nécessite au préalable de traiter les résultats fournis au cours de la construction de l'arbre. L'élimination des fausses redondances fait appel aux notions des coups minimaux et de réduction d'arbre.

2.3.2.5. Coupes Minimales-Réduction d'arbre

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

La recherche des coupes minimales est effectuée, entre autres, 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'entrées ; l'événement de sortie d'une porte «OU» est associé à la somme des variables booléennes correspondant aux événements d'entrées.

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

Tableau 2.3 : Règles de l'algèbre de BOOL [INT 06]

Propriétés	Produit	Somme
Commutativité	$A.B = B.A$	$A+B = B+A$
Idempotence	$A.A = A$	$A+A = A$
Absorption	$A.(A+B) = A$	$A+A.B = A$
Associativité	$A.(B.C) = (A.B).C$	$A+(B+C) = (A+B)+C$
Distributivité	$A.(B+C) = A.B+A.C$	$A+B.C = (A+B).(A+C)$

La recherche des coupes minimales peut s'avérer fastidieuse pour des arbres de taille importante, certains outils informatiques permettent heureusement d'automatiser cette démarche. Ces outils démontrent toute leur utilité pour la réduction d'arbres complexes.

2.3.2.6. Exploitation qualitative de l'arbre

L'exploitation qualitative de l'arbre vise à examiner dans quelle proportion une défaillance correspondante à un événement de base peut se propager dans l'enchaînement des causes jusqu'à l'évènement final, pour cela, tous les événements de base sont supposés équiprobables et on étudie le cheminement à travers les portes logiques d'évènement ou de combinaison d'évènements jusqu'à l'évènement final [INT 06].

2.3.2.7. Exploitation quantitative de l'arbre

L'exploitation quantitative de l'arbre des défaillances vise à estimer, à partir des probabilités d'occurrences des « événements de base » la probabilité d'occurrence de l'évènement final ainsi que des « événements intermédiaires ». Il ne s'agit pas d'une démarche qui permet d'accéder avec exactitude à la probabilité de chaque événement, elle doit être mise en œuvre dans l'optique de hiérarchiser les différentes causes possibles et de concentrer les efforts en matière de prévention sur les causes les plus vraisemblables. En pratique, il est souvent difficile d'obtenir des valeurs précises des probabilités des événements de base. En vue de les estimer, il est possible de faire appel à :

- Des bases de données ;
- Des jugements d'experts ;
- Des essais lorsque cela est possible;
- Au retour d'expérience sur l'installation ou des installations analogues.

La réduction de la probabilité de cet événement final peut alors être envisagée de plusieurs manières:

- En supprimant ou réduisant la probabilité d'occurrence des événements de base;
- En améliorant la fiabilité du système par l'ajout de portes « ET » entre l'évènement final et les événements de base, les portes « ET » placées au plus proche de l'évènement final permettent de

traiter un maximum de coupes minimales et le cas échéant, de traiter certaines causes qui n'auraient pas été envisagées.

2.3.2.8. 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 équivalence 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 l'estimation des probabilités d'occurrences des événements conduisant à l'événement final, elle permet de disposer des critères pour déterminer les priorités pour la prévention d'accidents potentiels.

L'analyse par arbre de défaillances porte sur un événement particulier et son application à 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 de 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 informatique sont commercialisés afin de rendre plus aisé l'application de l'arbre de 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 arborescentes [INT 06].

3. Phénomène dangereux

3.1. Bleve

3.1.1. Description du BLEVE

Le BLEVE (acronyme de Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), peut-être défini en première approche comme une vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température normale 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 comme c'est le cas des explosions de nuages de gaz. Ainsi, il n'est pas nécessaire que le produit concerné soit inflammable pour parler de BLEVE. Les causes principales identifiées d'un BLEVE sont multiples.

On distingue notamment :

- Fuite sur une tuyauterie
- Rupture de tuyauterie

- Sur-remplissage
- Accident maritime
- Erreur humaine
- Erreur de conception, matériau non adapté
- Incendie extérieur

3.1.2. Effets d'un BLEVE sur l'environnement

Ils se manifestent généralement de trois manières :

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

3.1.3. Différents Types De BLEVE

- 1) BLEVE « Froid »
- 2) BLEVE « Chaud

La notion de BLEVE froid ou chaud se réfère uniquement à la température limite de surchauffe (TLS) du produit :

- La transformation qui se produit en dessous de la température limite de surchauffe à pression atmosphérique, est généralement appelée « **BLEVE froid** »

- La transformation qui se produit au-dessus de la température limite de surchauffe à pression atmosphérique, est généralement appelée « **BLEVE chaud** »

3.1.4. Modélisation des conséquences du BLEVE :

Le BLEVE produit les conséquences suivantes:

- **Une Boule de Feu:** Si le contenu du réservoir est inflammable, il y a alors ignition de la substance lors du BLEVE et une boule de feu en résulte, des essais effectués sur des réservoirs contenant du liquide inflammable sous pression ont créés des boules de feu.

- **Rayonnement thermique** : Si une boule de feu est générée par le BLEVE, un important rayonnement thermique en découlera. Les intervenants devront donc respecter une certaine distance minimale face au réservoir afin d'être épargnés par la radiation. Cette distance a été établie à 4 fois le rayon de la boule de feu.

- **Onde de Choc (Détonation):** Le BLEVE étant une explosion, il est accompagné d'une détonation et d'un important déplacement d'air. Le seul moyen de ne pas être affecté par ce

souffle est la distance. En respectant les normes minimales d'approche, les intervenants demeurent hors de portée des effets d'une détonation.

- **Projection de Débris:** La plus dangereuse des conséquences d'un BLEVE est la projection des débris. Le seul constat que les tests ont pu établir face à la projection des débris est qu'ils sont propulsés majoritairement vers les extrémités du réservoir. Cette projection est donc imprévisible et peut parfois atteindre des proportions énormes. Lors des essais, des débris ont atterris à plus de 230 mètres des lieux du BLEVE. Lors d'un incident survenu au Texas, des débris ont même été retrouvés à plus d'un kilomètre.

3.1.5. Outil de modélisation du BLEVE et ses conséquences

3.1.6. Effets Thermiques

Les effets thermiques sont liés au rayonnement thermique de la boule de feu et, le cas échéant, de la combustion de la flaque au sol. La durée d'exposition au rayonnement, qui dépend de la composition, de la quantité et de la température du produit présent, est de courte durée (d'environ quelques secondes pour un petit camion-citerne à environ quelques dizaines de secondes pour une sphère de 1000 m³)

Tableau2.4 : Les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets de surpression et thermiques sur L'homme

Effets sur l'homme	Onde de surpression (mbar)	Flux thermique
Seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme	20	/
Seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine (blessures aux tympans)	50	3 kW/m ²
Seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine (hémorragies pulmonaires)	140	5 kW/m ²
Seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine	200	8 kW/m ²

Tableau 2.5 : Les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques sur les structures

Effets sur les structures	Flux thermique (kW/m ²)
Seuil des destructions significatives de vitres	5
Seuil des effets dominos et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures	8
Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton	16
Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton	20
Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes	200

Les distances d'effets thermiques d'après TNO sont obtenues par application des deux formules suivantes :

Distance correspondante au seuil de létalité: (5kw/m² =mortalité 1% par brûlure)

$$d_L(1\%) = d_L = 3.12 M^{0.425}$$

Distance correspondante au seuil des effets significatifs (3 kW/m²)

$$d_s = 4.71 M^{0.405}$$

D'ou : **M** masse de liquide en kg

3.1.6.1.Effets de surpression

La pression est une force par unité de surface susceptible d'induire des efforts de flexion ou de cisaillement dans les structures, éventuellement de compression pour le corps humain. Une onde de pression peut également propulser des projectiles.

Des seuils d'effets sur l'homme sont proposés dans la littérature et, à l'heure actuelle, les seuils utilisés dans les études réglementaires pour le calcul des distances des effets du souffle :

D'après TNO (Organisation Néerlandaise pour la Recherche Scientifique Appliquée)

- 170 mbar, seuil de létalité : Distance correspondante
 $d_L = 3.84 M^{0.33}$
- 50 mbar, seuil des effets significatifs : Distance correspondante
 $d_s = 8.7. M^{0.33}$

Tableau 2.6 : Les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets de surpression sur les structures

Effets sur les structures	Onde de surpression (mbar)
Seuil des destructions significatives de vitres	20
Seuil des dégâts légers sur les structures	50
Seuil des dégâts graves sur les structures	140
Seuil des effets dominos	200
Seuil des dégâts très graves sur les structures	300

Lors du déclenchement d'un BLEVE, on peut avoir une boule de feu, pour le calcul des paramètres liés à la boule de feu, les formulations retenues sont :

Tableau 2.7 : formulations retenues pour le calcul des paramètres de la boule de feu

Paramètre	Formule
Rayon de la boule de feu	$RBF = 3.24. M^{0.325}$
Durée de la boule de feu	$TBF = 0,852. M^{0.26}$
Hauteur de la boule de feu h	$h = 0,5. D$
Energie théorique libérée Q	$Q = M. Hc \text{ (KJ)}$
Puissance de la boule de feu P	$p = Q / TBF \text{ (W)}$
Effets thermique au sol Dg	$Dg=1,26xDBF$
Distance de sécurité Rf	$Rf=2xRBF \text{ (m)}$
Effets radiatif q	$q=tr \times F \times Qrad$

Avec : (tr) Coefficient transmission dans l'air $tr=0,79 \times (100/Th)^{1/16} \times (30,5/d)^{1/16}$

Et (F) facteur de forme $F= (DBF/(2.X))^2$

X(m): distance au centre de la boule de feu donc $X=d+DBF/2$

Conclusion

Ce chapitre présente le cadre théorique de notre mémoire, en décrivant d'une manière détaillée les différentes méthodes utilisées dont le but est d'évaluer les critères de performance des barrières et déterminer le niveau SIL (Safety Integrity Level) du système ESD. Ainsi, les différents phénomènes qui peuvent se produire et empêchent le fonctionnement normal du four H102

Chapitre 3

Application de la démarche retenue à un procédé industrielle.

Introduction

Ce chapitre est divisé en deux parties, la première est consacré à l'application de la démarche d'analyse des risques retenue sur un procédé industrielle, cas d'un four rebouilleur H102 « SH-DP-HRM »

Cette analyse nécessite en premier lieu une décomposition structurelle et fonctionnelle du système, premièrement une estimation qualitative est faite par la méthode du graphique de risque afin de déterminer le niveau SIL requis pour le système de rebouillage H102, ensuite on commence par une analyse préliminaire par la méthode HAZOP afin d'identifier les scénarios critiques qui seront analysés davantage par la méthode LOPA, la fréquence de ces scénarios sera par la suite calculer en faisant appel a la méthode AdE afin de déterminer le SIL requis.

La détermination du niveau SIL requis pour ce procédé est faite par deux méthodes une qualitative et autre quantitative afin de comparer entre les deux, et de vérifier la conformité de ce procédé industrielle envers les dispositions des normes CEI 61508 et CEI 61511

La deuxième partie est destinée à l'estimation ou l'évaluation des conséquences et des effets du Bleve de l'un des scénarios les plus critiques « Gravité3 » qui n'ont pas était développé dans la première partie

Partie 1**1- Analyse structurelle et fonctionnelle**

Pour une meilleure compréhension du système faisant l'objet de notre étude, nous avons opté pour la description du système. Cette dernière se fait à travers une analyse structurelle et fonctionnelle qui semble indispensable. Le but de cette analyse est de décomposer le système en identifiant les différentes fonctions qui composent chaque partie du système étudié

Tableau 3.1 : Analyse structurelle et fonctionnelle

Systeme	Sous-système	description
SS01: circuit d'alimentation	E11 : circuit fuel gaz (assure l'alimentation en combustible)	C111 : vanne TRCA114 [régulatrice du débit de fuel gaz en fonction de la température de sortie du condensat]
		C112 : vanne PCV133 [régulatrice de la pression de fuel gaz pour les pilotes]
		C113 : 10 pilotes (garantir une flamme continue pour l'amorçage du gaz)
		C114 : 10 bruleurs (assurer le mélange air /combustible en vue d'obtenir une combustion complète)
	E12 : circuit liquide « condensat » (assure l'alimentation en liquide du fond de la colonne C102)	C121 : vanne FIC144 régulatrice du débit de condensat
		C122 : serpentин « faisceau tubulaire » (assure la circulation et l'échauffement du liquide)
SS02 : sous système de tirage (assurer l'arrivé et la circulation d'air)	E21 : registre d'arrivé (assure l'introduction et le préchauffage d'air)	
	E22 : registre de tirage (créé une dépression dans la cheminée par la montée des gaz chauds fait appel d'air en amont du bruleur)	
	E23 : cheminée (évacuation des fumées)	

Tableau 3.1 : Analyse structurelle et fonctionnelle (suite)

Système	Sous-système	description
SS03 : sous système de contrôle et de régulation	E31 : boucle de régulation du débit du condensat (contrôle du débit à l'entrée du four)	C311 : capteur FIC144 et transmetteur FTC144 de débit vers DCS
		C312 : DCS (adaptation du débit de condensat par action sur la vanne FV144 et alerter l'opérateur si $D \leq 150$ T/H
		C313 : vanne FIC144 ouverture en pourcentage afin de régler le débit du liquide dans le serpentin
	E32 : boucle de régulation de température (contrôler la température du four)	C321 : capteur TIC114 et transmetteur TT114 de la température vers DCS
		C322 : DCS (adaptation de la température du condensat par action sur la vanne TV114 et alerter l'opérateur si $T \geq 309^{\circ}\text{C}$)
		C323 : vanne TRC114 s'ouvre afin de régler le débit FG
	E 33 : équipement de contrôle de dépression	C331 : capteur DG148 et transmetteur TP148 de dépression vers DCS
		C332 : DCS (adaptation de la pression par action sur la vanne HXV 107/108 et alerter l'opérateur lorsque $DP \geq 10$ mH ₂ O
		C333 : vanne HV107/108 (régulation de la DP à l'intérieur du four par action sur le registre de tirage)

Tableau 3.1 : Analyse structurale et fonctionnelle (suite)

Système	Sous-système	description
SS04 : système de surveillance (surveillance des paramètres du procédé)	E41 : équipement de surveillance du débit FG	C411 : débitmètre FRAL155 (mesure le débit du FG a l'entrée du four)
		C412 : vérification périodique par l'opérateur chaque 2heure
	E42 : équipement surveillance de la pression FG (haute pression à l'entrée du four)	C421 : manomètre PG147/146 (mesure de pression)
		C422 : vérification régulière de la pression par l'opérateur
		C423 : DCS (alerter l'opérateur lorsque la pression du gaz augmente $\geq 1,2\text{Kg/m}^2$)
	E43 : équipement surveillance de la pression FG (basse pression à l'entrée du four)	C431 : manomètre PG147/146 (mesure de pression)
		C432 : vérification régulière de la pression par l'opérateur
		C433 : DCS (alerter l'opérateur lorsque la pression du gaz diminue $\leq 0,4\text{Kg/m}^2$)
	E44 : équipement de surveillance de la température de sortie	C441 : thermocouple TRCA114 (mesure de température)
		C442 : vérification périodique chaque 2heure
		C443 : DCS (alerter l'opérateur lorsque la température $\geq 309^\circ\text{C}$)
	E45 : équipement de surveillance de la température de la cheminée	C451 : thermocouple TI 117-118 (mesure de température)
		C452 : vérification périodique chaque 2heure
		C453 : DCS (alerter l'opérateur lorsque TZH117 ou TZH 118 $\geq 590^\circ\text{C}$)

Tableau 3.1 : Analyse structurelle et fonctionnelle (suite)

Système	Sous-système	description
SS05 : sous système de prévention (assure la sécurité du four)	E51 : équipement d'arrêt d'urgence (déclenchement four quand le débit du condensat est insuffisant ≤ 152 T/h)	C511 : PLC (programmable logic contrôler) [assure les missions de mise en sécurité du four par action sur la vanne UZV126 A, B et C]
	(déclenchement four quand la pression $\geq 1,9$ kg/cm ²)	C512 : débitmètre FICA144 (mesure le débit du condensat a l'entrée du four)
	(déclenchement four quand la pression $\leq 0,2$ kg /cm ²)	C513 : switch de pression PZH132 (mesure de pression du gaz combustible)
	(déclenchement four quand la température fumées = 600°C)	C514 : switch de pression PZL132 (mesure de pression du gaz combustible)
	(déclenchement four quand la température du condensat ≥ 320 °C)	C515 : thermocouple 117/118 mesure de température des fumées
		C516 : thermocouple TRAH122 mesure de température de sortie
		C517 : vanne UZV126 A/B (isolement de la ligne de gaz combustible)
		C518 : vanne UZV 126 C (s'ouvre pour décompresser ou vider la quantité du gaz qui se trouve entre les deux vannes UZV126 A et UZV126B)
	E52 : trappes d'explosion (s'ouvre en cas de montée en pression dans la chambre de combustion)	

Tableau 3.1 : Analyse structurelle et fonctionnelle (suite)

Systeme	Sous-système		description
SS 06 : sous système de protection (maitriser le feu)	E61 : équipement de rideau d'eau (réduire le rayonnement thermique de l'incendie aux zones adjacentes)		C611 : vanne XC 901 (s'ouvre pour alimenter la couronne en eau)
			C612 : couronne de refroidissement (assurer la protection a l'eau pulvérisé pour le four, crée des gouttes de brouillard en s'évaporant et éliminent la chaleur)
			C621 : Ballon D-450A/B [Stockage de N2 sous pression]
			C622 : Vanne HXC-911V [S'ouvre pour fournir l'azote]
	E62 : E62 : Equipement d'injection de N2 (Fournir de l'azote pour l'étouffement et la maitrise du feu)		
	E63 : Equipement de Vide vite :(02 Vannes manuelles) [Vider le condensat de serpentin vers bourbier pour minimiser les dégâts en cas d'incendie]		

2. Détermination des scénarios critique

Dans cette étape, nous allons déterminer les scénarios critiques qui peuvent se produire au sein du four, et cela, en se basant sur une étude HAZOP, l'utilisation de la méthode HAZOP permet d'identifier les causes, les conséquences et les barrières de sécurité mises en œuvre dans le système pour faire face au développement de ces scénarios.

Cette méthode nécessite l'usage des P&ID (Annexe A) .La méthode HAZOP début par l'identification des nœuds. Dans notre cas 3 nœuds ont été retenus:

-  Nœud 1 : ligne d'alimentation four depuis la colonne C102 « condensat »
-  Nœud 2 : ligne d'alimentation des pilotes par le fuel gaz
-  Nœud 3 : ligne d'alimentation des brûleurs par le fuel gaz

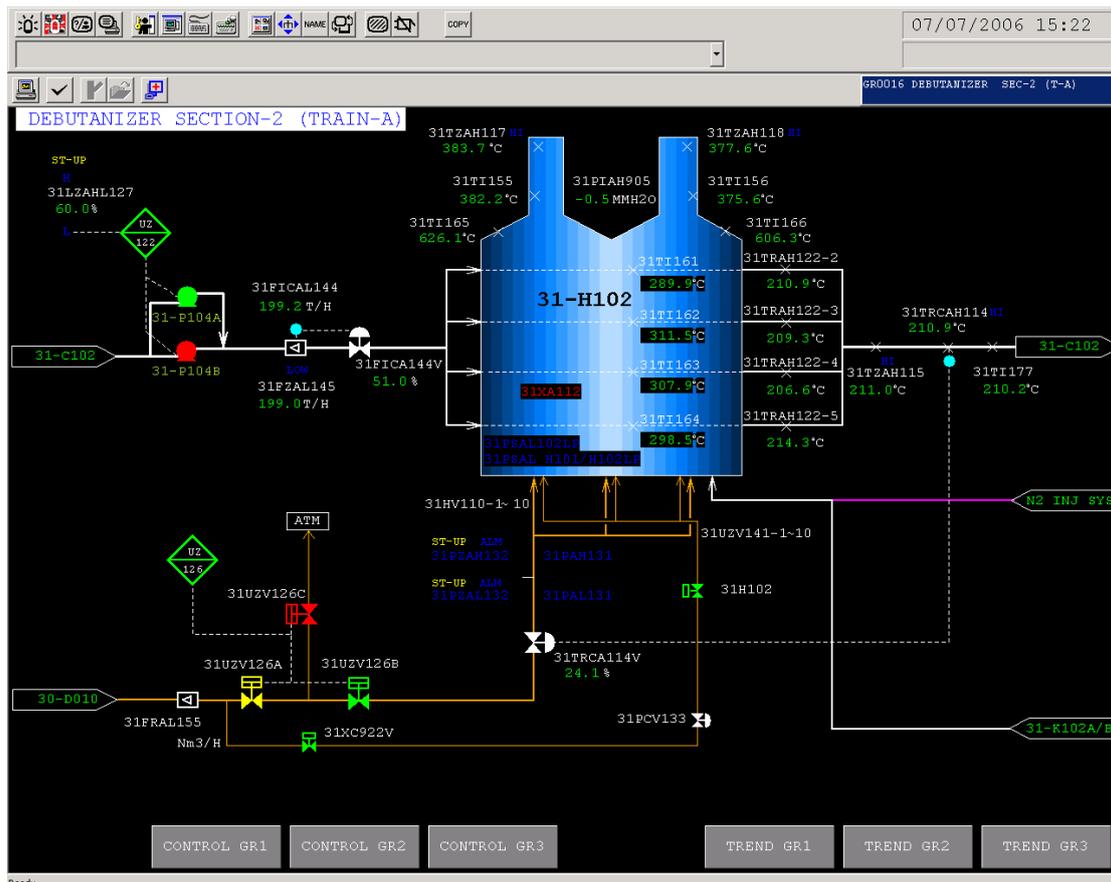


Figure 3.1 : Présentation des nœuds du four H102

Les résultats de l'analyse HAZOP sont présents dans les tableaux suivants :

Tableau 3.2: HAZOP pour le système four de rebouillage H102 « noeud1 »

Entreprise : SONATRACH Module: MPP-4 Partie considérée (équipement) : Section Four de Rebouillage de H201					
Mots clés	Paramètre	Cause	Conséquence	Detection	Protection
Plus	Debit	1-FIC 144 bloquée ouverte	<ul style="list-style-type: none"> • Produit off-spec • Mauvais transfert de chaleur • Perted'énergie (fuel gaz) 	<ul style="list-style-type: none"> • FI • TI • PG • TIC 114 	
Moins	Débit	1-FIC 144 bloquée fermé 2- Fuite dans la conduite du condensat	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la température (mouvement lent) • Produit off-spec (trace de C₅⁺) • Fusion des passes du condensat • Feu de nappe 	<ul style="list-style-type: none"> • FI • PG • TI 	<ul style="list-style-type: none"> • Ligne vide vite • PLC • Réseaux anti-incendie
Plus	Température	1-FIC 144 bloquée fermé 2- Feu à proximité	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la pression dans les passes • Percement de des conduites (rupture) • Feu interne du four • Feu de flack • Augmentation de la pression a cause des fumées =>explosion • Déclenchement du four • Produit off-spec • Feu de nappe 	<ul style="list-style-type: none"> • TI • PG • TIC114 • HV (cheminée) 	<ul style="list-style-type: none"> • Trappes • ESD • Réseau anti-incendie • Rideauxd'eau • Ligne vide vite
Moins	Température	1-FIC144 bloquée ouverte	<ul style="list-style-type: none"> • Produit off spec • Consommation excessive du fuel gaz 	<ul style="list-style-type: none"> • TI • TIC114 	

Tableau 3.2: HAZOP pour le système four de rebouillage H102 « noeud1 » (suite)

Entreprise : SONATRACH Module: MPP-4 Partie considérée (équipement) : Section Four de Rebouillage de H201					
Mots clés	Paramètre	Cause	Conséquence	Detection	Protection
Plus	Pression	1-Fic 144 bloquée fermé 2-Feu à proximité	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais transfert de chaleur Percement des conduites Fuite Feu chalumeau Rupture des passes Feu de nappe Explosion four 	PG	<ul style="list-style-type: none"> Esd Ligne vide vite Trappes
Moins	Pression	1-FIC 144 Bloquée ouverte 2-Fuite dans la conduite reliante	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la température Produit off spec Feu de nappe 	PG	
Moins	Niveau	Non concerné			
Plus	Niveau	Non concerné			
Changement	Composition	1- Présence NaCl 2- Présence du glycol 3-GPL 4-H ₂ O	<ul style="list-style-type: none"> Bouchage des passes et des conduites Formation de cock Diminution du débit Mauvais tdc Augmentation de la pression (présence des légers) Corrosion des passes 	<ul style="list-style-type: none"> TI peau FI PG	<ul style="list-style-type: none"> Traitement (désalage et déshydratation) ESD

Tableau 3.2: HAZOP pour le système four de rebouillage H102 (noeud2)

Entreprise : SONATRACH Module: MPP-4 Partie considérée (équipement) : Section Four de Rebouillage de H201					
Mots clés	Paramètre	Cause	Conséquence	Detection	Protection
Plus	Débit	1- TRC114 bloquée ouv1- TRC114 Bloquée fermer erte	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise qualité de flamme Augmentation de température Présence des fumées dans le four Augmentation de la pression Admission dégradéed'air 	<ul style="list-style-type: none"> TI PG FC UZ 	<ul style="list-style-type: none"> HV 107 ET 108 ESD Tappes Gaz inerte
Moins	Débit	TRC114 Bloquée fermer	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise qualité de flamme Produit off spec 	<ul style="list-style-type: none"> PG TI UZ TIC 114 FC 	<ul style="list-style-type: none"> HV 107/108 HV110
Moins	Température	NON concerné			
Plus	Pression	1- TRC114 Bloquée fermer	<ul style="list-style-type: none"> Extinction du bruleur Extinction du pilote Déclenchement four Augmentation de la température Présence du fuel gaz libre dans le four =>augmentation de la pression Explosion Percementconduite fuel gaz Uvce Flash fire 	<ul style="list-style-type: none"> PG FC TRC114 PA131 HV110 TI166 TI156 DG 	<ul style="list-style-type: none"> PZH132 UZ ESD HX117 UV HV107/108 PAH131 UZ 126C (vers torche) Trappes Rideaux d'eau Reseau anti-incendie Gaz inerte

Tableau 3.2: HAZOP pour le système four de rebouillage H102 (noeud2)
« suite »

Entreprise : SONATRACH Module: MPP-4 Partie considérée (équipement) : Section Four de Rebouillage de H201					
Mots clés	Paramètre	Cause	Conséquence	Detection	Protection
Moins	Pression	1- TRC114 bloquée ouverte	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaisequalité de la flamme Diminution de la température Produit off-spec Déclenchementpartiel du four 	<ul style="list-style-type: none"> PG FC TI TRC114 HV110	<ul style="list-style-type: none"> PAL 131 PZL132 PIC139V HV107/108 HX117 UZ
Plus	température	1- Accident a proximité	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la pression Produit off spec Fusion support passes Rupture passes feu de nappe explosion four déclenchement four fusion conduite uvce retour de flamme Explosion ballon fuel gaz 	<ul style="list-style-type: none"> TI PG TI Peau 	<ul style="list-style-type: none"> TZH UZ HV107/108 HX117 Reseau anti-incendie Gaz inerte Trappes
Changement	composition	Présence des impuretés (Eau)	<ul style="list-style-type: none"> entrainement fuel gaz avec de l'eau Diminution de température Mauvais transfert de chaleur Présence des vapeurs d'eau dans le four Dégradation bruleur Augmentation de la pression Éclatement du four Produit off-spec 	<ul style="list-style-type: none"> TI TRC 114 Analyse laboratoire	<ul style="list-style-type: none"> UZ ESD HV 107/108 Trappes Réseau anti-incendie

Tableau 3.2: HAZOP pour le système four de rebouillage H102 (noeud2)
« suite »

Plus	niveau	-LC017 bloquée ouverte 2-Présence d'eau dans le ballon fuel gaz	<ul style="list-style-type: none"> • Entraînement du liquide dans les conduites fuel gaz • dégradation des bruleurs fonctionnement dégradé du four 	LAH017	<ul style="list-style-type: none"> • ESD four UZ
------	--------	--	--	--------	--

Tableau 3.2: HAZOP pour le système four de rebouillage H102 (noeud3)

Entreprise : SONATRACH Module: MPP-4 Partie considérée (équipement) : Section Four de Rebouillage de H201					
Mots clés	Paramètre	cause	Conséquence	Detection	Protection
Plus	Pression	1-PCV 133 bloquée fermer	<ul style="list-style-type: none"> • risqued'extinctionpilote • Extinction bruleur • Déclenchement four • augmentation de la pression dans le four • explosion • produit off-spec • risque de rupture des conduites fuel gaz • fuite • uvce 	<ul style="list-style-type: none"> • PG (146 .147.145) • UV • TI peau • TI 	<ul style="list-style-type: none"> • PCV 133 • XC 922 • UZ • Excesver storche • ESD four
Moins	P	1-PCV 133 bloquée ouverte 2-Fuite sur ligne fuel gaz	<ul style="list-style-type: none"> • Présence du fuel gaz dans le four • Extinction bruleur • Déclenchement four • Produit off-spec 	<ul style="list-style-type: none"> • PG • DG 	<ul style="list-style-type: none"> • HXC • UZ
Plus	T°	1-Feu proximité	<ul style="list-style-type: none"> • Eclatement de la ligne fuel gaz 	<ul style="list-style-type: none"> • PG 	<ul style="list-style-type: none"> • ESD four • Reseau anti-incendie
Moins	T °		<ul style="list-style-type: none"> • Non concerné 		
Plus	Débit	1-Pcv 133 bloquée ouverte	<ul style="list-style-type: none"> • Risque d'extinction pilote • extinction bruleur • Déclenchement four 	<ul style="list-style-type: none"> • FG • UV • PG 	<ul style="list-style-type: none"> • HXC 922 • UZ

			<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la pression dans le four • Explosion • Produit off-spec • Risque de rupture des conduites fuel gaz • Fuite • uvce 	<ul style="list-style-type: none"> • TI 	<ul style="list-style-type: none"> • Excèsver storche
Moins	Débit	1-Pcv 133 bloquée fermer	<ul style="list-style-type: none"> • Extinction pilote • Diminution de température (mauvais chauffage) • Produit off-spec • Augmentation du pression (présence du fuel gaz libre dans le four) • Explosion • uvce (détonation) 	<ul style="list-style-type: none"> • UV • TRC114 • TI • FC 	<ul style="list-style-type: none"> • HXC • UZ • ESD four
Plus/ moins	Niveau	Non concerné			
Change ment	Composition	1-Présence d'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Détérioration des pilotes • Extinction de la flamme 	<ul style="list-style-type: none"> • Uv • Lc 017 	<ul style="list-style-type: none"> • ESD four

2. Niveau d'Intégrité de sécurité (SIL)

Pour arriver à une évaluation du SIL, nous allons déterminer le SIL requis par une méthode qualitative, ensuite nous calculerons le SIL requis par une autre méthode quantitative, à la suite de quoi, nous comparerons les deux pour vérifier la conformité du système envers les dispositions des normes CEI 61508 et CEI 61511. A noter que, La notion de SIL est largement développée dans ces normes. Et que le SIL est calculé pour le système d'arrêt d'urgence du four H102 qui est assuré par le PLC(SIS).

Partie 1

3.1. Détermination du SIL requis

Dans cette partie nous avons comme tâche la détermination du SIL requis, pour ce faire, nous utiliserons une méthode qualitative qui est très utilisée lors de la conception des systèmes de sécurité, de par sa facilité d'application et sa rapidité de résolution, c'est la méthode du graphe de risque.

Le graphe de risque est une méthode dédiée aux SIS, qui permet de définir le niveau de SIL requis en fonction de paramètres prédéfinis.

3.1.1. Application du graphe de risque

Les conséquences à étudier sont en fonction de la méthodologie d'évaluation des risques adoptée par l'entreprise et des ressources qu'elle doit mettre en place pour affiner l'analyse.

L'évaluation de l'état de sécurité de l'entreprise nous renseigne sur les conséquences de l'événement dangereux (Les données sont plus détaillées dans l'annexe B)

Tableau 3.3 : données relatives à l'entreprise

Société	Effectifs	Nombre d'ouvrier	Nombre d'accident de travail	Nombre de jour perdu
Sonatrach HRM	2500	1320	26	372

Selon la norme ASA

Taux de fréquence

$$Tf = \frac{\text{nombre d'accident de travail} * E 06}{\text{nombre d'heure travaillés}} = \frac{26 * 1000000}{7 * 12 * 24 * 1320} = 9.78$$

Taux de gravité :

$$Tg = \frac{\text{nombre de jour perdu} * E 03}{\text{nombre d'heure travaillés}} = \frac{372 * 1000}{7 * 12 * 24 * 1320} = 0.139$$

Sachant que le régime de travail est de : 7jour/semaine ; 12heure/jour ; 24 semaines

3.1.1.1. Conséquence de l'événement dangereux

1) Conséquence

La conséquence du 1^{er} ou du 2^{eme} scénario peut causer des blessures et des brûlures graves (3^{eme} degré) sur plusieurs personnes avec un décès possible. Ainsi que une possible destruction totale de l'équipement. Quatre accidents ont été enregistrés au niveau de SONATRACH depuis une dizaine d'années, de ce fait on attribue une conséquence de l'ordre C2.

2) Occupation

C'est la probabilité que la zone exposée soit occupée, vu que la visite des opérateurs se fait chaque 2h et que le régime de travail est de 12h/24h, la fréquence d'exposition est considérée comme importante on lui attribue une fréquence F2

3) Probabilité d'éviter le phénomène dangereux

C'est la probabilité que des personnes exposées peuvent éviter le phénomène dangereux qui existe si la fonction instrumentée de sécurité échoue à la sollicitation. Elle dépend de l'existence des méthodes indépendantes d'alerte des personnes exposées au phénomène dangereux (par exemple présence d'un opérateur à côté de l'interphone) et des moyens d'évacuation. Dans ce cas on peut attribuer une probabilité de l'ordre 1

4) Probabilité de l'occurrence non souhaitée

En se basant sur le retour d'expérience et les accidents du passé on remarque que la probabilité est forte est donc elle est qualifiée de W3

Tableau 3.4 : Caractérisation des paramètres C, P, F et W

Evènement dangereux	Conséquence de l'évènement dangereux (C),	Blessures graves sur plusieurs personnes avec décès possible de l'une d'entre elles.	C2
	Fréquence et Durée d'exposition au danger (F),	Fréquence d'exposition importante (exposition fréquente à permanente dans une zone dangereuse).	F2
	Possibilité d'éviter l'évènement dangereux (P),	Possible dans certaines conditions.	P1
	Probabilité de l'occurrence non souhaitée (W).	Forte probabilité (en 30 ans, 3 incendies, seulement chez SONATRACH).	W3

3.1.1.2. Présentation des résultats

En appliquant la méthode du graphe de risque, nous avons obtenus les résultats présentés sur la figure 3.2. ou on peut remarquer que le sil requis du système d'arrêt d'urgence automatique est le SIL2

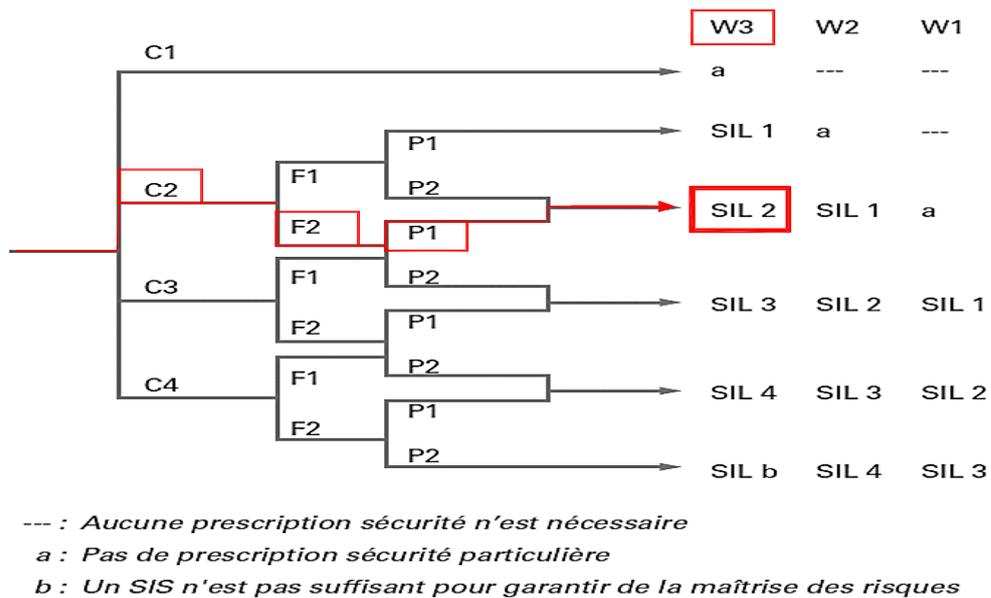


Figure 3.2 : modèle du graphe de risque

3.2. Application de la méthode LOPA

3.2.1. Établissement des critères d’acceptabilité et de sélection des scénarios à évaluer

Dans notre cas, l’évaluation de l’acceptabilité et la sélection des scénarios d’accident sera faite sur la base de la grille de criticité adoptée par la SONATRACH présentée ci-dessous :

Probabilité Gravité	1 : improbable Impossible de se produire durant la durée de vie de l’équipement	2 : rare Peut se produire une fois durant la durée de vie de l’équipement	3 : occasionnel Peut se produire plus qu’une fois durant la durée de vie de l’équipement	4 : fréquent Peut se produire plusieurs fois durant la durée de vie de l’équipement
1 : négligeable <ul style="list-style-type: none"> • Blessures superficielles • Dégradation de la capacité de l’installation à moins de 10% 	Faible	Faible	Faible	Modérée
2 : modérée <ul style="list-style-type: none"> • Blessures mineures • Dégradation de la capacité de l’installation à moins de 50% 	Faible	Modérée	Modérée	Elevé
3 : critique <ul style="list-style-type: none"> • Blessures grave • Arrêt de l’unité (train) 	Modérée	Modérée	Elevé	Elevé
4 : catastrophique <ul style="list-style-type: none"> • La mort • Arrêt de l’usine (module) 	Modérée	Elevé	Elevé	Elevé

Figure 3.3 : Grille de criticité adoptée par SH DP HRM [SONATRACH, 2008]

3.2.2. Analyse des scénarios

En se référant aux tableaux HAZOP présentés précédemment, les scénarios les plus critiques, sont sélectionnés et sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3.5 : estimation des conséquences

Scénario	Conséquence	Gravité	Description
S1	Endommagement du serpentin « fusion des passes et possibilité d'explosion four »	4	Arrêt module
S2	Formation d'un nuage gazeux en atmosphère, explosion possible	4	Arrêt module
S3	Explosion ballon fuel gaz	3	Perte de combustible et possibilité de blessures ou de dégâts environnementaux
S4	Arrêt d'urgence et produit en OFF-SPEC	2	Diminution de la production du train (proche de 50%)

Les conséquences estimées ci-dessus sont de différentes catégories de gravité allant de modérée à catastrophique. Dans notre étude et selon la méthode LOPA on s'intéresse seulement aux conséquences jugées de catégorie 4 (catastrophique).

3.2.3. Développement des scénarios d'accident

Les dangers potentiels identifiés à partir de l'étape précédente, seront évalués ensuite par la méthode LOPA

Leurs conséquences sont causées d'après l'analyse HAZOP par les événements initiateurs suivants :

- Endommagement du serpentin « fusion des passes et possibilité d'explosion four » peut être à l'origine de défaillance de :
 - I. La vanne FIC144
 - II. L'unité de traitement DCS
 - III. Capteur de température TRCA114
- Formation d'un nuage gazeux en atmosphère, explosion possible, peut être à l'origine de défaillance de :
 - I. La vanne UZV126
 - II. La vanne PCV133
 - III. L'unité de traitement DCS

Tableau 3.6 : scénario à évaluer

Scénarios	Événement initiateur	Conséquences
S1	Mauvaise manipulation sur la vanne manuelle à l'entrée/sortie de la vanne FIC144	Endommagement du serpentin « fusion des passes et possibilité d'explosion four »
	Mauvais fonctionnement de la TRCA114	
	Défaillance DCS	
S2	Mauvais fonctionnement de la UZV126 (Ouverte)	Formation d'un nuage gazeux en atmosphère, explosion possible
	Mauvais fonctionnement de la PCV 133 (bloquée fermée)	
	Défaillance DCS	

3.2.4. Fréquences des événements initiateurs

Tableau 3.7 : Fréquences des événements initiateurs

Évènement initiateur	Fréquence	Source
Défaillance de la vanne FIC144	3,2E-02	[ICSI, 2009] ; SE 4 075
Défaillance d'une vanne régulatrice	1 E-01	[ICSI, 2009] ; SE 4 075
Défaillance de la vanne UZV126	1 E-02	[ICSI, 2009] ; SE 4 075
Défaillance DCS	1 E-01	[ICSI, 2009] ; SE 4 075
Défaillance sur une vanne a action manuelle (erreur humaine)	1 E-02	[ICSI, 2009] ; SE 4 075

Les fréquences d'occurrence des événements initiateurs sont tirées de la littérature [CCPS, 2001], [ICSI, 2009].

✚ Chacun de ces événements initiateurs sera le point de départ d'un scénario d'accident, l'analyse par l'arbre d'évènement permet d'estimer la dérive du système en envisageant de manière systématique le fonctionnement ou la défaillance des dispositifs de détection, d'alarme de prévention, de protection ...

Les événements intermédiaires sont dans notre cas les couches de protection indépendante (IPLs) identifiés précédemment par la méthode HAZOP. Rappelons que parmi les barrières de sécurité identifiées au préalable par la méthode HAZOP, il existe des barrières qui sont qualifiées IPLs et celles qui sont qualifiées non IPLs, c'est pour cela on doit ensuite identifier

les couches de protection indépendantes retenues suite à l'application des exigences de la méthode LOPA

Tableau 3.8 : Sélection des barrières à retenir dans les scénarios d'accident

Scénario	EI	IPL		Type
S1 a	Défaillance FIC144	IPL 1	FAL144	SIS
		IPL2	FI	Dispositif de sécurité
		IPL3	FZL144	SIS
S1 b	Défaillance TRCA114	IPL1	TAH114	SIS
		IPL2	TAL114	SIS
		IPL3	TZH114	SIS
		IPL4	TI	Dispositif de sécurité
S1 c	Défaillance DCS	IPL1	FI	Dispositif de sécurité
		IPL2	FAL144	SIS
S2 a	Défaillance UZV126	IPL1	Purge N ₂	Dispositif de sécurité
		IPL2	Ligne vide-vite	
S2 b	Défaillance DCS	IPL1	PAH133	SIS
S2 c	Défaillance PCV133	IPL1	PG145	Dispositif de sécurité
		IPL2	PAHV133 open valve (by- passe)	SIS
		IPL3	PAH133	SIS

Justification plus détaillées du non IPL

- ❖ Pour le S1 (a, b et c) : toute signalisation (de débit ou de température) ne constitue pas une IPL car elle peut être ignorée, peu claire ... etc. Cette barrière peut influencer sur la probabilité de défaillance de certaine IPL mais elle ne constitue pas une IPL
- ❖ Pour le S2/a : la purge par le gaz inerte et l'utilisation de la ligne vide-vite suite à un accident sont définies comme des barrières de protection incendie. La protection incendie n'est généralement pas retenue comme IPL dans le cas où elle est sollicitée en post-accident. En effet, sa disponibilité et son efficacité peuvent être affectées par les effets thermiques et surpressions associés aux phénomènes d'incendie et d'explosion.
- ❖ Pour le scénario S2/c : l'indicateur de pression PG145 ne peut pas être considéré comme IPL parce qu'elle n'arrive pas à prévenir l'évènement initiateur, dans ce cas le critère de l'efficacité de la barrière et non rempli elle nécessite une augmentation de son efficacité pour qu'elle devient une IPL.

Tableau 3.9 : IPLs à retenir dans les scénarios d'accident

Scénario	Ei	IPL		Type
S1 a	Défaillance FIC144	IPL1	FAL144	SIS
		IPL2	(FZL144) PLC	
S1 b	Défaillance TRCA114	IPL1	TAH/L114	SIS
		IPL2	(TZH114)PLC	
S1 c	Défaillance DCS	IPL1	FZL144	SIS
S2 a	Défaillance UZV126	NONE		
S2 b	Défaillance DCS	IPL1	PZH133	SIS
S2 c	Défaillance PCV133	IPL1	PAH133	SIS
		IPL2	PAHV133 by-passe	

Remarque :

Pour la vanne UZV126 on remarque que il n'ya pas une barrière qui s'oppose à l'apparition d'un nuage de gaz, surtout en cas de fonctionnement normal l'ouverture inattendu et l'incontrôlée de la vanne UZV 126C ne peut pas être détecté, aussi pour les deux autre vanne A et B en cas d'arrêt d'urgence si :

- La vanne UZV126 A ne répond pas, toute la charge de fuel gaz sera évacuer par la UZV126/C vers atmosphère → et donc formation d'un nuage de gaz et une grande possibilité d'explosion sous certaines conditions.
- Les vannes UZV 126 A et B ne répondent pas, toute la charge de fuel gaz sera envoyé vers le four H102 → et donc formation d'un nuage de gaz et une grande possibilité d'explosion sous certaines conditions (qui causera l'explosion du four lui-même.)

Donc il est à recommander qu'une installation des détecteurs de gaz à proximité est nécessaire.

✚ Voilà les résultats de l'un des tests périodiques du système ESD MPP4 :

Résultats d'activation de la séquence d'arrêt d'urgence ESD (Action PB -139V. ESD, Train A-MPP4)

Tableau 3.10 : résultats de l'un des tests périodiques du système ESD

Equipements	Action		Position de rempli	Résultats	Observations
41- PICV 139	UZ-101 (Trip Signal)	41- PICV 139	FC	Négatif	bloquée ouverte
Rebouilleur 41-H101	UZ-125 (Trip Signal)	UZV-125 A UZV-125 B UZV-125 C	FC FC FO	Négatif Positif Négatif	Bloquée ouverte bloquée fermée
Rebouilleur 41-H 102	UZ-126 (Trip Signal)	UZV-126 A UZV-126 B UZV-126 C	FC FC FO	Positif Positif Positif	/
41-K101 A/B	N/A		-	-	Arrêt normal (Passage en régime chaud)

On remarque que les résultats du test concernant le four H102 est positive mais il ya quelque anomalies concernant les résultats du test pour le four H101 (de même type mais de dimensions plus petites par rapport au H102)

Il est à noter que le même type de vanne ne répond pas à l'activation de la séquence d'arrêt d'urgence ESD « H101 » donc ce type de problème peut se produire même pour le H102.

3.2.3.1. Identification des PFD des couches de protection indépendante

On va déterminer les PFD des différents IPLs présents dans le tableau 3.9, et pour cela on utilise la méthode AdD . Cette méthode est faite par le logiciel GRIF2015

Tableau 3.11. Données relatif à la défaillance des différents composants du système

N°	Défaillance	λ	C	Référence
1	Capteur FT144	2,21 E-06	0.75	[SONATRACH 2008]
2	DCS	6,1 E-04	0.75	[SONATRACH 2008]
3	PLC	1 E-05	0.25	[SONATRACH 2008]
4	Capteur TT114	3.3 E-04	0.75	[SONATRACH 2008]
5	Capteur PT133	5.8 E-04	0.75	[SONATRACH 2008]

a) Identification de PFD de l'alarme FAL144

La défaillance de l'alarme FAL144 peut être due à :

- Défaillance d'un capteur FT144
- Défaillance de l'unité de traitement DCS

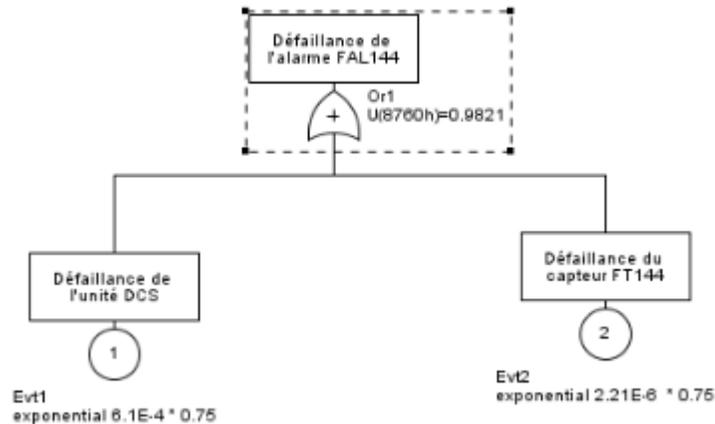


Fig.3.4. AdD relatif à la défaillance de l'alarme FAL144

Traitement qualitative de l'arbre

Ce traitement montre l'existence d'une coupe minimale d'ordre 1. l'arbre est représenté par l'expression Booléenne suivante : $E = Evt1 + Evt2$

Traitement quantitative de l'arbre

Le PFD de l'alarme de bas débit est calculé à l'aide du logiciel GRIF2015 est égale à 0.9821.

b) Identification de PFD de l'alarme FZL144

La défaillance de l'alarme FZL144 peut être due à :

- Défaillance d'un capteur FT144
- Défaillance de l'unité de traitement PLC

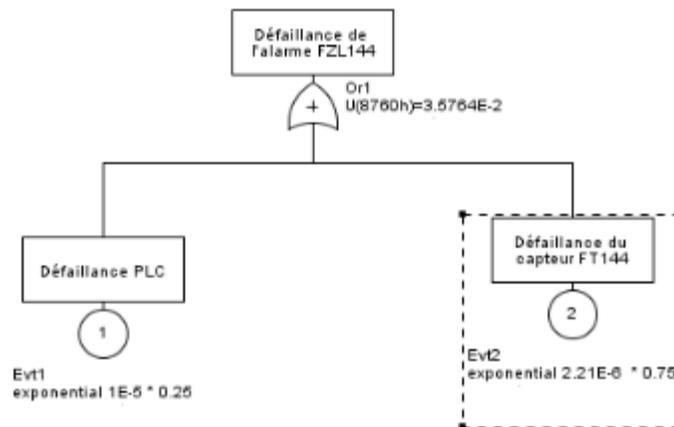


Fig.3.5. AdD relatif à la défaillance de l'alarme FZL144

Traitement qualitative de l'arbre

Ce traitement montre l'existence de coupes minimales d'ordre 1. l'arbre est représenté par l'expression Boolienne suivante : $E = Evt1 + Evt2$

Traitement quantitative de l'arbre

Le PFD de l'alarme de très bas débit est calculé à l'aide du logiciel GRIF2015 est égale à 3.6×10^{-2} .

c) Identification de PFD de l'alarme TAH114

La défaillance de l'alarme TAH114 peut être due à :

- Défaillance d'un capteur TT114
- Défaillance de l'unité de traitement DCS

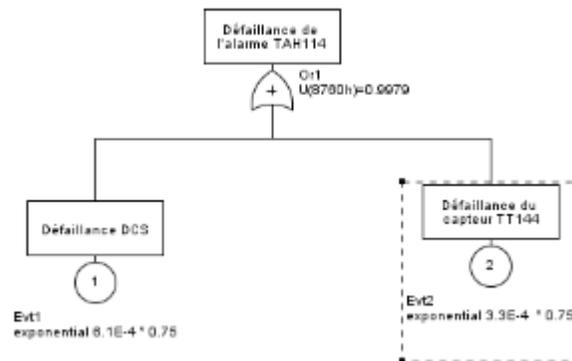


Fig.3.6. Add relatif à la défaillance de l'alarme TAH114

Traitement qualitative de l'arbre

Ce traitement montre l'existence d'une coupe minimale d'ordre 1. l'arbre est représenté par l'expression Boolienne suivante : $E = Evt1 + Evt2$

Traitement quantitative de l'arbre

Le PFD de l'alarme de haute température est calculé à l'aide du logiciel GRIF2015 est égale à 0.9979

d) Identification de PFD de l'alarme TZH114

La défaillance de l'alarme TZH114 peut être due à :

- Défaillance d'un capteur TT114
- Défaillance de l'unité de traitement PLC

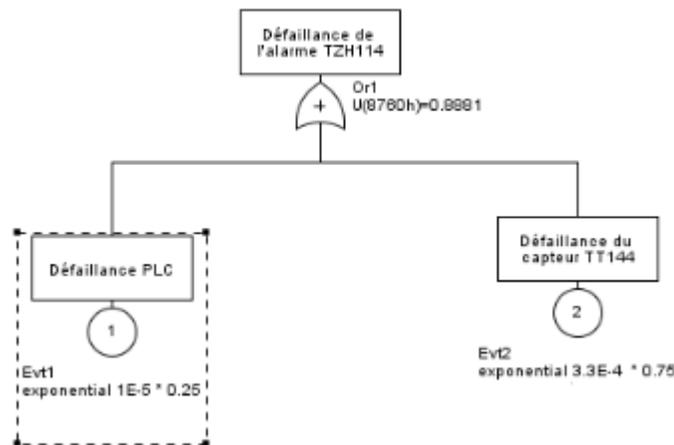


Fig.3.7. Add relatif à la défaillance de l'alarme TZH114

✚ Traitement qualitative de l'arbre

Ce traitement montre l'existence d'une coupe minimale d'ordre 1. l'arbre est représenté par l'expression Boolienne suivante : $E = Evt1 + Evt2$

✚ Traitement quantitative de l'arbre

Le PFD de l'alarme de très haute température est calculé à l'aide du logiciel GRIF2015 est égale à 0.8881

e) Identification de PFD de l'alarme PZH133

La défaillance de l'alarme PZH133 peut être due à :

- Défaillance d'un capteur PT133
- Défaillance de l'unité de traitement PLC

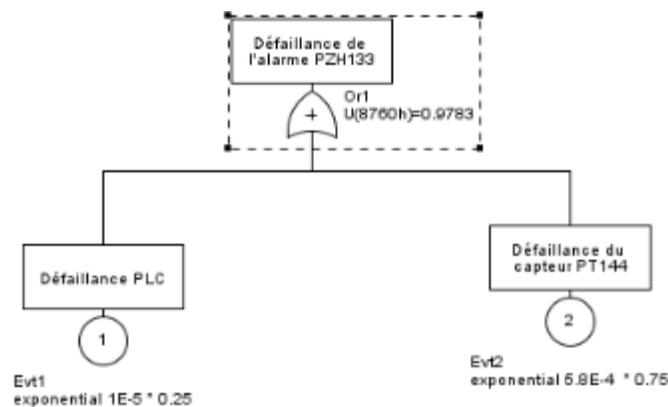


Fig.3.8. Add relatif a la défaillance de l'alarme PZH133

✚ Traitement qualitative de l'arbre

Ce traitement montre l'existence d'une coupe minimale d'ordre 1. l'arbre est représenté par l'expression Boolienne suivante : $E = Evt1 + Evt2$

✚ Traitement quantitative de l'arbre

Le PFD de l'alarme de très haute pression est calculé à l'aide du logiciel GRIF2015 est égale à 0.9783

f) Identification de PFD de l'alarme PAH133

La défaillance de l'alarme PAH133 peut être due à :

- Défaillance d'un capteur PT133
- Défaillance de l'unité de traitement DCS

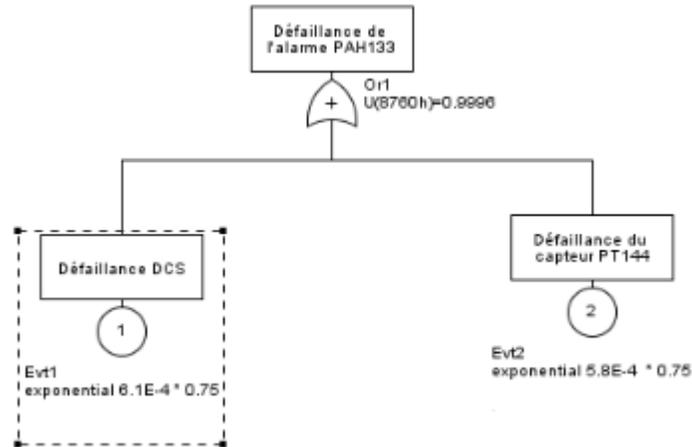


Fig.3.9. Add relatif a la défaillance de l’alarme PAH133

Traitement qualitative de l’arbre

Ce traitement montre l’existence d’une coupe minimale d’ordre 1. l’arbre est représenté par l’expression Booléenne suivante : $E = Evt1 + Evt2$

Traitement quantitative de l’arbre

Le PFD de l’alarme de haute pression est calculé à l’aide du logiciel GRIF2015 est égale à 0.9996

3.2.5. Identification des couches de protection indépendantes

Dans cette étape l’identification des couches de protection indépendantes est faite en se basant sur les critères spécifiques établis par LOPA.

Les couches de protection indépendantes retenues suite à l’application des exigences de la méthode LOPA sur notre système sont les suivantes

La couche « conduite du procédé » : Assurée par une barrière composée :

Le BPCS (traitement logique)

La vanne d’exploitation.

La couche « Alarme et intervention humaine » : Assurée par une barrière composée :

Les alarmes de haute/basse pression, débit...etc.

La couche « système instrumenté de sécurité » : Assurée par une barrière composée :

L’APS ou PLC (SIS)

La vanne de sécurité (UZV)

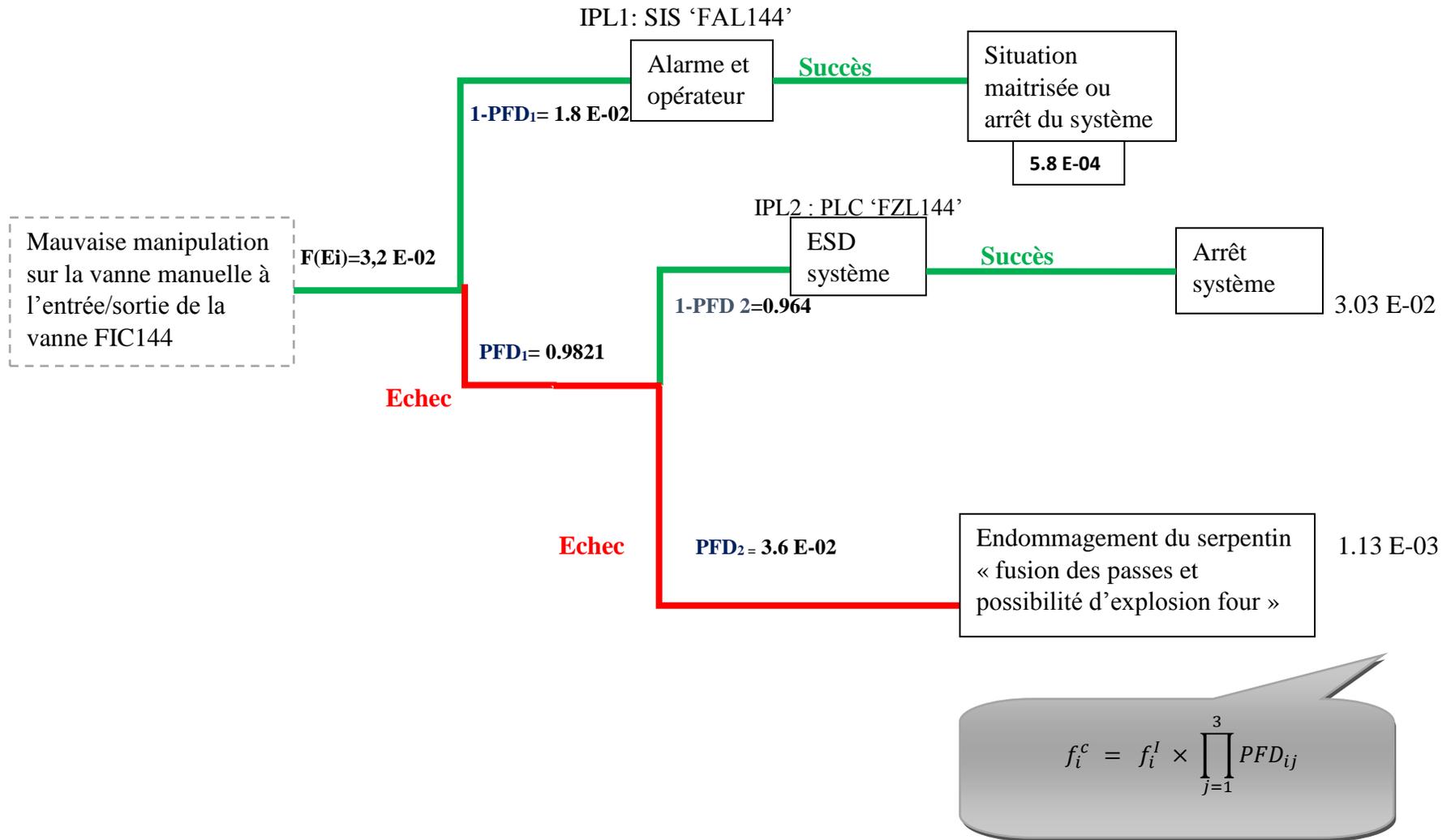
3.2.6. Détermination des fréquences des scénarios

3.2.6.1. Développement des scénarios d'accident sous forme d'ADE

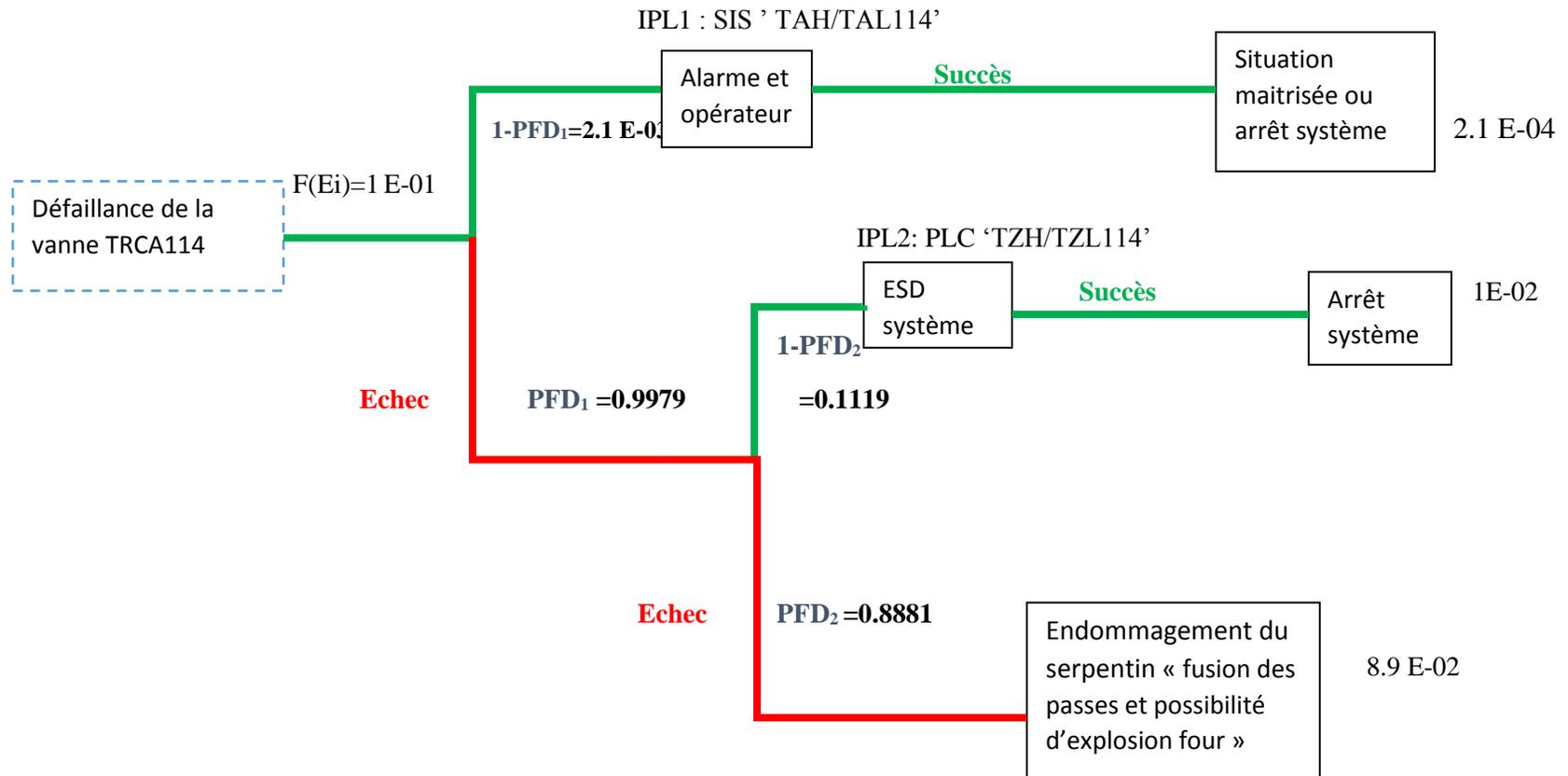
Chaque évènement initiateur permet de dresser l'arbre d'évènement, après l'ordonnancement des évènements intermédiaire qui sont dans notre cas les couches de protection indépendantes IPLs

D'après le tableau des IPLs et les évènements initiateurs cités précédemment on peut tracer les Ade suivants :

Scénario S1/a:

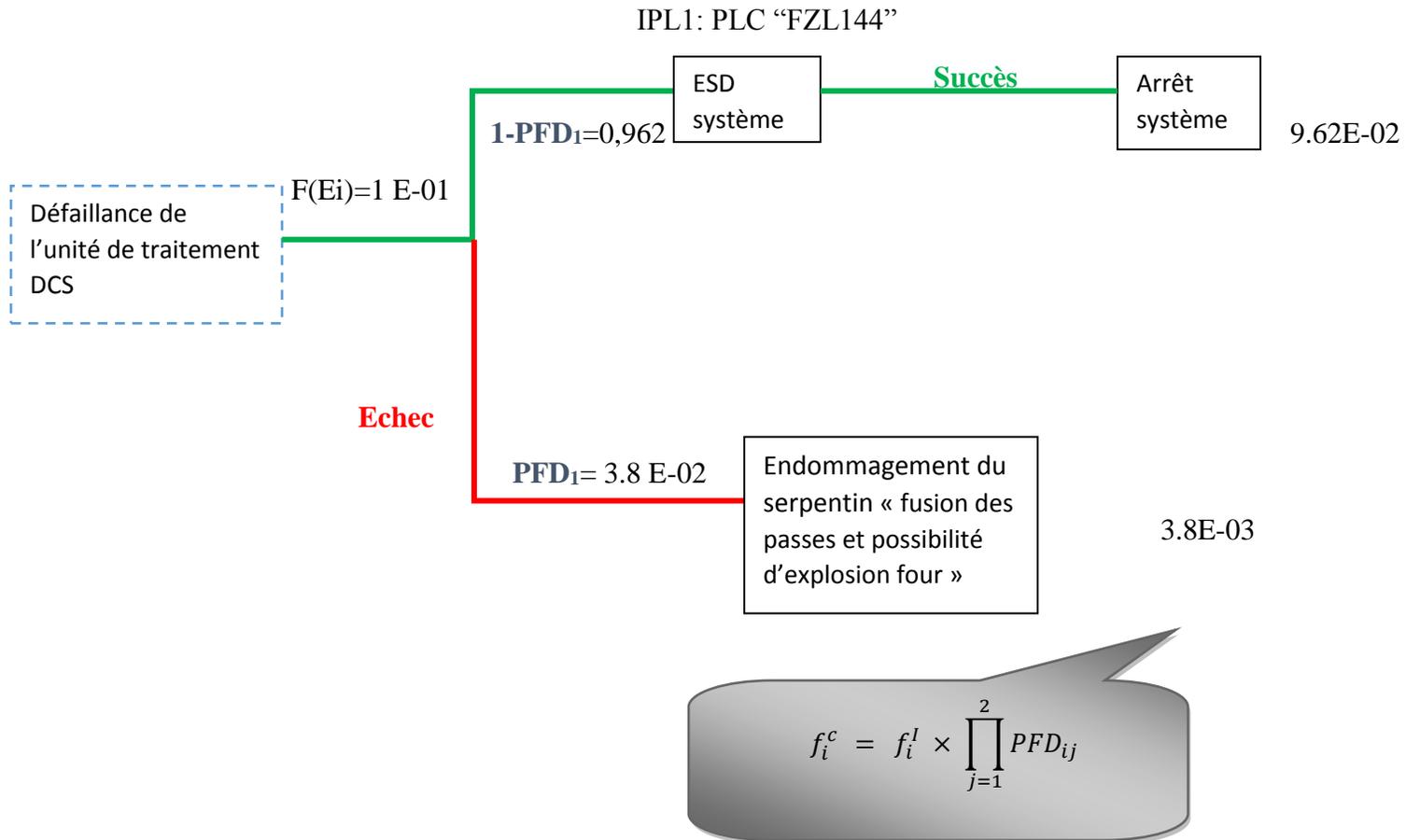


Scénario S1/b:

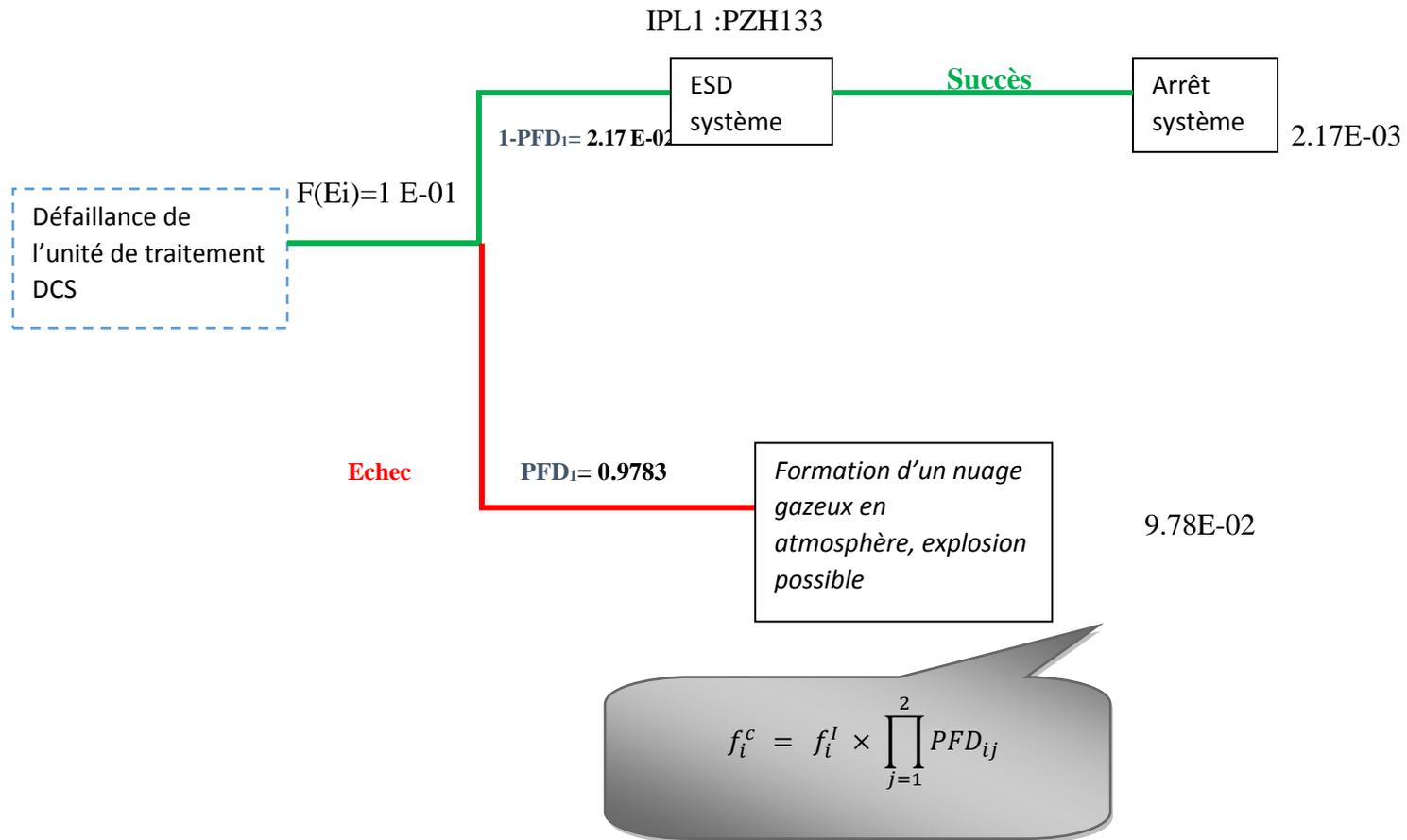


$$f_i^c = f_i^l \times \prod_{j=1}^3 PFD_{ij}$$

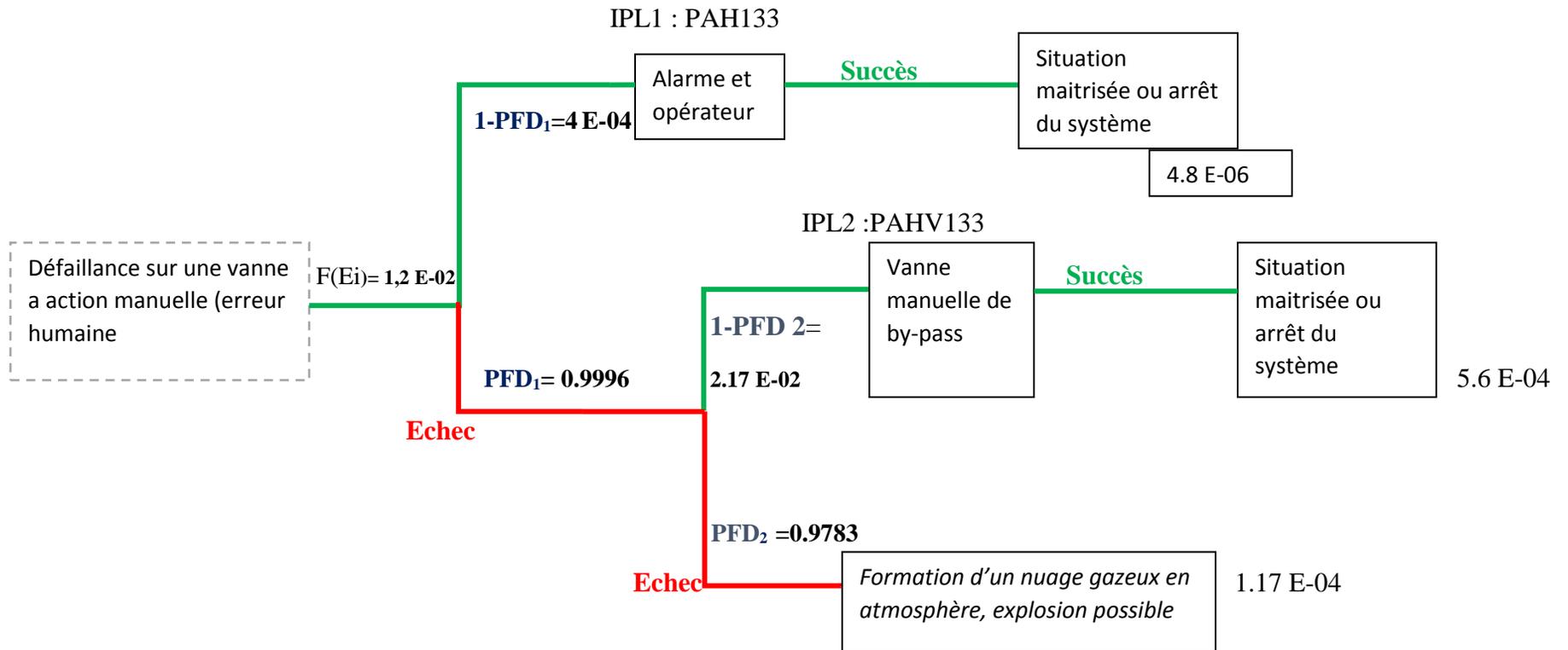
Scénario S1/c:



Scénario S2/b:



Scénario S2/c:



$$f_i^c = f_i^I \times \prod_{j=1}^3 PFD_{ij}$$

3.2.7. Évaluation des risques par rapport aux critères d’acceptabilité

Cette étape consiste à évaluer les scénarios d’accidents établis par le modèle AdE par rapport aux critères d’acceptabilité, qui ont été fixés au préalable, en comparant le risque avant et après la mise en place des IPLs afin de juger de l’acceptabilité de ces scénarios.

Scénario 1/a: Défaillance de la vanne FIC144

On a pour : $F_1 = 3,2 \text{ E-}02$ et $F_f = 1.13 \text{ E-}03$

Probabilité \ Gravité	P 1 Improbable $F \leq E-04$ (/an)	P 2 Rare $E-04 < F \leq E-02$ (/an)	P 3 Occasionnel $E-02 < F \leq E-01$ (/an)	P 4 Frequent $E-01 < F$ (/an)
G 1 Mineure				
G 2 Sérieuse				
G3 Grave				
G 4 Catastrophique	 S1/a		 Ei 1	

-  Scénario avant la mise en place des IPLs
-  Scénario après la mise en place des IPLs
-  Scénario après la mise en place des IPLs recommandé

Interprétation :

Pour ce scénario le risque de défaillance de la vanne FIC144 est dans la zone inacceptable avec une probabilité P3 et gravité G4. Le risque du scénario d’accident est aussi dans la zone inacceptable avec une gravité G4 et probabilité P2.

Dans le but de déterminer le SIL du SIS nécessaire à la réduction du risque pour ce scénario, on calcule le facteur de réduction du risque (RRF), qui permettrait de rendre ce risque acceptable, pour tous les scénarios .ce facteur se calcule comme suite :

$$RRF = \frac{\text{Fréquence d'occurrence calculée}}{\text{Fréquence d'occurrence cible}}$$

✚ Calcul du facteur RRF pour le S1 /a :

$$RRF = \frac{\text{Fréquence d'occurrence calculée}}{\text{Fréquence d'occurrence cible}} = \frac{3,2 E-02}{1 E-04} = 3,2 E+02$$

Pour assurer ce RRF, il faut proposer la mise en place d'une barrière de sécurité IPL et que la probabilité de défaillance soit inférieure ou égale à 1/RRF. On en déduit alors que la PFD de l'IPL à proposer ne doit pas **dépasser 3,20 E-02**.

Pour répondre à cet objectif, la proposition faite est de mettre en place le système suivant :

- ✓ Un système instrumenté de sécurité de niveau SIL 2 avec une PFD1= 1,00 E-02
- ✓ Une Alarme avec une PFD2=1,00 E-01.

Donc on a : PFD = PFD1* PFD2= **1,00 E-03 < 3,20 E-02**.

Alors $F_f = (3.2 E-02 * E-01 * E-02) = 3.2 E-05$

On a bien vérifié que le niveau SIL requis pour rendre le risque acceptable est le **SIL 2**.

Scénario 1/b : Défaillance de la vanne TRCA114

✚ On a pour : $F_I = 1 E-01$ et $F_f = 8.9E-02$

Probabilité / Gravité	P 1	P 2	P 3	P 4
	Improbable $F \leq E-04$ (/an)	Rare $E-04 < F \leq E-02$ (/an)	Occasionnel $E-02 < F \leq E-01$ (/an)	Frequent $E-01 < F$ (/an)
G 1 Mineure				
G 2 Sérieuse				
G3 Grave				
G 4 Catastrophique	 S1/b		 Ei 2	

-  Scénario avant la mise en place des IPLs
-  Scénario après la mise en place des IPLs
-  Scénario après la mise en place des IPLs recommandé

Interprétation :

Pour ce scénario le risque de défaillance de la vanne TRC114 est dans la zone inacceptable avec une probabilité P3 et gravité G4. Le risque du scénario d'accident est aussi dans la zone inacceptable avec une gravité G4 et probabilité P2.

Dans le but de déterminer le SIL nécessaire à la réduction du risque pour ce scénario, on calcule le facteur de réduction du risque (RRF), qui permettrait de rendre ce risque acceptable

✚ Calcul du facteur RRF pour le S1/b :

$$\text{RRF} = \frac{\text{Fréquence d'occurrence calculée}}{\text{Fréquence d'occurrence cible}} = \frac{1 \text{ E-01}}{1 \text{ E-04}} = 1 \text{ E+03}$$

Pour assurer ce RRF, il faut proposer la mise en place d'une barrière de sécurité IPL et que la probabilité de défaillance soit inférieure ou égale à 1/RRF. On en déduit alors que la PFD de l'IPL à proposer ne doit pas dépasser **1,00 E-03**.

Pour répondre à cet objectif, la proposition faite est de mettre en place le système suivant :

- ✓ SIS de niveau SIL 2 avec une PFD1= 1,00 E-02
- ✓ Alarme avec une PFD2=1,00 E-01.

$$\text{PFD} = \text{PFD1} * \text{PFD2} = \mathbf{1,00 \text{ E-03}}$$

$$\text{Alors } F_f = (1 \text{ E-01} * \text{E-01} * \text{E-02}) = \mathbf{1 \text{ E-04}}$$

On a bien vérifié que le niveau SIL requis pour rendre le risque acceptable est le **SIL 2**

Scénario 1 /c et Scénario 2 /b : Défaillance de l'unité de traitement DCS

✚ On a pour : FI = 1 E-01 et $F_f = 3.8\text{E-03}$ (pour le scénario 1), $F_f = 9.78 \text{ E-02}$ (pour le deuxième scénario)

Probabilité \ Gravité	P 1 Improbable $F \leq E-04$ (/an)	P 2 Rare $E-04 < F \leq E-02$ (/an)	P 3 Occasionnel $E-02 < F \leq E-01$ (/an)	P 4 Frequent $E-01 < F$ (/an)
G 1 Mineure				
G 2 Sérieuse				
G3 Grave				
G 4 Catastrophique	 S2/b S1/c		 Ei	



Scénario avant la mise en place des IPLs

Scénario après la mise en place des IPLs

Scénario après la mise en place des IPLs recommandé

Interprétation :

Pour ce scénario le risque de défaillance de l'unité de traitement DCS est dans la zone inacceptable avec une probabilité P3 et gravité G4. Le risque du scénario d'accident est aussi dans la zone inacceptable avec une gravité G4 et probabilité P2.

Dans le but de déterminer le SIL nécessaire à la réduction du risque pour ce scénario, on calcule le facteur de réduction du risque (RRF), qui permettrait de rendre ce risque acceptable

🔧 Calcul du facteur RRF pour le S1/c:

$$RRF = \frac{\text{Fréquence d'occurrence calculée}}{\text{Fréquence d'occurrence cible}} = \frac{1 E-01}{1 E-04} = 1 E+03$$

Pour assurer ce RRF, il faut proposer la mise en place d'une barrière de sécurité IPL et que la probabilité de défaillance soit inférieure ou égale à 1/RRF. On en déduit alors que la PFD de l'IPL à proposer ne doit pas dépasser **1,00 E-03**.

Pour répondre à cet objectif, la proposition faite est de mettre en place le système suivant :

- ✓ SIS de niveau SIL 2 avec une PFD1= 1,00 E-02
- ✓ Alarme avec une PFD2=1,00 E-01.

$$PFD = PFD1 * PFD2 = \mathbf{1,00 E-03}.$$

$$\text{Alors } F_f = (1 E-01 * E-01 * E-02) = \mathbf{1 E-04}$$

On a bien vérifié que le niveau SIL requis pour rendre le risque acceptable est le **SIL 2**.

Scénario 2/c : Défaillance sur une vanne PCV133 a action manuelle (erreur humaine)

On a $F_i = 1,2 \text{ E-}02$ et $F_f = 1.17 \text{ E-}04$

Probabilité \ Gravité	P 1 Improbable $F \leq \text{E-}04$ (/an)	P 2 Rare $\text{E-}04 < F \leq \text{E-}02$ (/an)	P 3 Occasionnel $\text{E-}02 < F \leq \text{E-}01$ (/an)	P 4 Frequent $\text{E-}01 < F$ (/an)
G 1 Mineure				
G 2 Sérieuse				
G3 Grave				
G 4 Catastrophique	 S2/c		 Ei 4	



- Scénario avant la mise en place des IPLs
- Scénario après la mise en place des IPLs
- Scénario après la mise en place des IPLs recommandé

Interprétation :

Pour ce scénario le risque de défaillance de la vanne PCV133 est dans la zone inacceptable avec une probabilité P3 et gravité G4. Le risque du scénario d'accident est dans la zone acceptable avec une gravité G4 et probabilité P1.

Dans le but de déterminer le SIL nécessaire a la réduction du risque pour ce scénario, on calcule le facteur de réduction du risque (RRF), qui permettrait de rendre ce risque acceptable.

Calcul du facteur RRF pour le S2/c:

$$RRF = \frac{\text{Fréquence d'occurrence calculée}}{\text{Fréquence d'occurrence cible}} = \frac{1,2 \text{ E-}02}{1 \text{ E-}04} = 1,2 \text{ E+}02$$

Pour assurer ce RRF, il faut proposer la mise en place d'une barrière de sécurité IPL et que la probabilité de défaillance soit inférieure ou égale à $1/RRF$. On en déduit alors que la PFD de l'IPL à proposer ne doit pas dépasser **1,2 E-02**.

Pour répondre à cet objectif, la proposition faite est de mettre en place le système suivant :

✓ SIS de niveau SIL 2 avec une $PFD1 = 1,00 \text{ E-}02 < 1,2 \text{ E-}02$

Alors $F_f = (1,2 \text{ E-}02 * \text{E-}02) = 1,2 \text{ E-}04$

On a bien vérifié que le niveau SIL requis pour rendre le risque acceptable est le **SIL 2**.

Remarque :

Selon la norme CEI 61508 et CEI 61511. Une barrière instrumentée de sécurité agit généralement sur la fréquence de l'événement redouté, elle n'intervient pas sur la dangerosité de l'accident. Ainsi, la barrière tend à décaler vers la gauche (c'est-à-dire à diminuer) la probabilité d'occurrence de l'accident. Ramené au niveau d'un SIL, le décalage d'une case vers la gauche correspond à SIL 1 (réduction du risque d'un facteur 10), de deux cases à SIL 2 ...etc.

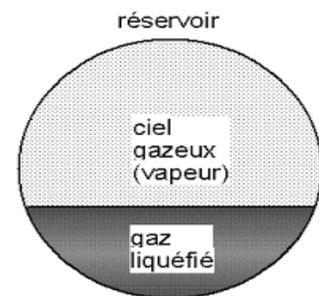
Partie 2

D'après le **tableau 4.5** le stockage de fuel gaz liquéfiés sous pression est susceptible d'être le siège d'un BLEVE. Donc pour garantir le fonctionnement sein et sûr du four H102 on doit étudier le scénario3 jugée de gravité G3

A) Cette explosion survient lorsque le ballon qui contient le liquide se rompt, cette rupture peut être due soit à une fragilisation « corrosion sur les parois du ballon » soit un impact mécanique ou une mauvaise manipulation « un sur-remplissage du réservoir »...etc.

Donc, une fissure se crée. Au niveau de cette fissure, la pression de l'air, qui était à pression atmosphérique (environ 1 bar), passe brusquement à la pression du réservoir (4bar), il y a donc une première onde de surpression.

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. Par ailleurs, le jet de gaz peut entraîner des gouttelettes (aérosol), qui viennent gêner l'échappement du gaz et contribuent ainsi à la montée en pression. Cette dépressurisation catastrophique provoque la propagation de la fissure puis la rupture totale du réservoir avec une deuxième onde de surpression

Figure 3.10: réservoir de stockage

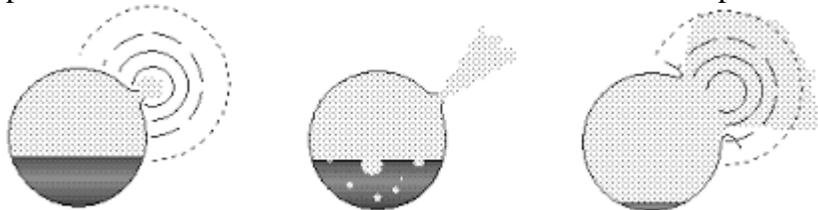


Figure 3.11 : Deux ondes de pression, par détente du ciel gazeux puis par ébullition violente

Pour éviter l'inflammation de ce nuage de gaz il faut éviter les sources d'ignitions.

B) Si le ballon du stockage est soumis à un rayonnement du a un incendie l'élévation de la température du liquide entrainant un phénomène de vaporisation donc une augmentation de la pression du ciel gazeux, sous l'effet de la pression interne et la température extérieure la paroi du ballon cède et donc rupture de l'enceinte suivi d'une explosion, une onde de pression (choc).

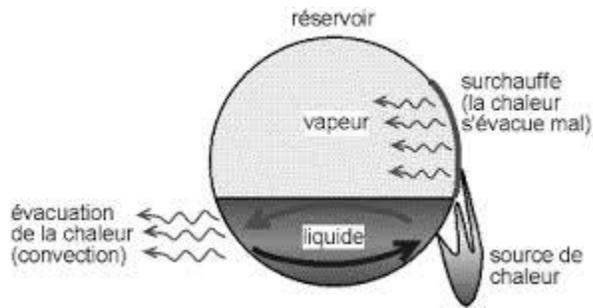


Figure 3.12 : Mécanisme de surchauffe et de rupture du réservoir

1. Les conséquences du Bleve

- ✓ **Effets missiles** : propulsion de fragments et de débris pouvant atteindre des proportions énormes à plus d'un kilomètre de diamètre de la source
- ✓ **Effets de surpression** : onde de surpression
- ✓ **Effets thermiques** : inflammation du mélange avec l'air et génération d'une boule de feu

2. Modélisation du BLEVE et ses conséquences

I. Effet de surpression

Comme données de départ, les valeurs de seuil suivantes, ont été retenues pour:

- seuil de létalité 170 mbar,
- seuil des effets significatifs 50 mbar,

Calcul de la masse du ballon fuel gaz

On a: $V = 1256 \text{ m}^3$ et $M (\text{C}_2\text{H}_6) = 30,07 \text{ g/mol}$; $P = 4 \text{ bar}$; $T = 10^\circ\text{C}$

Vu que le remplissage est de 80% alors le volume du liquide est de $0,8 * v = 1004,8 \text{ m}^3$

Le nombre de mole : $n = m/M = v/v_m$ et donc $\Rightarrow n = 1004,8 / (22,4 * 10^{-3}) = 44,857 \text{ E}03 \text{ mole}$

La masse : $m = n * M = (44,857 \text{ E}03) * (30,07) = 1348,9 = \mathbf{1349 \text{ Kg}}$

$\Rightarrow m = 1349 \text{ kg}$

Tableau 3.12 : Distance des seuils de surpression

Distance	Valeur	Source
Distance correspondante au seuil de létalité (170 mbar)	$d_L = 3,84 M^{0,33} = 3,84 (1349)^{0,33}$ $=$ 41,42 m	D'après TNO
Distance correspondante au seuil des effets significatifs (50 mbar)	$d_s = 8,7. M^{0,33} = 8,7 * (1349)^{0,33} =$ 93,85 m	

II. Effets thermiques

On a comme données de départ, les valeurs de seuils retenus pour des durées d'incendie inférieur à 60 secondes.

- pour les effets létaux 5 kw/m^2
- pour des effets significatifs 3 kw/m^2

Tableau 3.13 : Distance des seuils des effets thermiques

Distance	Valeur	Source
Distance correspondante au seuil de létalité: (5 kw/m^2 = mortalité 1% par brûlure)	$d_L(1\%) = d_L = 3.12 M^{0.425} =$ $3.12 (1349)^{0.425} =$ 66.7 m	D'après TNO
Distance correspondante au seuil des effets significatifs (3 kw/m^2)	$d_s = 4.71 M^{0.405} = 4.71$ $(1349)^{0.405} =$ 87.23 m	

3. Estimation des effets du BLEVE

Rayon de la boule de feu : $RBF = 3.24 \cdot M^{0.325} = 3.24 (1349)^{0.325} = 33,7 \text{ m}$

$$\boxed{RBF = 33,7 \text{ m}}$$

Diamètre de la boule de feu : $DBF = 2 \cdot RBF = 2 \cdot 33.7 = 67.4 \text{ m}$

$$\boxed{DBF = 67.4 \text{ m}}$$

Durée de la boule de feu **TBF** : $TBF = 0,852 \cdot M^{0.26} = 0.852(1349)^{0.26} = 5.55 \text{ S}$

$$\boxed{TBF = 5,55 \text{ S}}$$

Hauteur de la boule de feu **h** : $h = 0,5 \cdot D = 0.5 (67.4) = 33.7 \text{ m}$

$$\boxed{h = 33.7 \text{ m}}$$

Energie théorique libérée : $Q = M \cdot H_c = (489.4)(1349) = 660.2 \text{ E03 KJ}$
(Avec : $dH = 489.4 \text{ kJ/kg}$)

$$\boxed{Q = 660.2 \text{ E03 KJ}}$$

Puissance de la boule de feu : $p = Q / TBF = 660.2 \text{ E03} / 5.55 = 118.9 \text{ KW}$

$$\boxed{P = 118.9 \text{ KW}}$$

4. Effets thermique au sol et distance de sécurité

La Zone Létale

On peut définir une zone de « forte probabilité de brûlures mortelles » causé par une boule de feu composé d'hydrocarbures par la formule :

$$Dg=1,26 \times DBF$$

Dans notre cas $Dg = 1.26 (67.4) = 85\text{m}$

La Zone de danger

On la définit comme étant le rayon double de la boule de feu. $Rf=2 \times RBF = DBF$

Dans notre cas $Rf=2 \times RBF = 67.4\text{m}$

Pour le scénario 4 (du tableau 3.5) l'arrêt d'urgence et le stockage des produits en OFF-SPEC (hors exigences des clients). Les produits seront retournés aux trains pour le retraitement, ce qui engendre une diminution de la production du train sans dégât humain ou environnemental d'où il est jugé de gravité 2

Analyses et synthèses :

- La matrice montre clairement la réduction apportée par la mise en place des couches de protection
- Le risque lié au phénomène **d'explosion/incendie** du four est jugé **ALARP** avec une fréquence d'occurrence d'explosion dans le four relativement basse (E-04/an).
- Des moyens de protection tels que l'inertage à l'azote et un rideau d'eau sont en place ainsi que les moyens de prévention de l'événement qui sont les détecteurs de flamme et les sondes de température permettent de garder un bon contrôle des opérations
- Pour le scénario 3 le calcul du bleve montre les différentes zones de danger et les distances correspondante aux seuils des effets significatifs et létaux. Ainsi les caractéristiques de la boule de feu générée par l'explosion.
- Vu que la notion de SIL s'applique au système de sécurité dans sa globalité et non pas à un élément ou sous-ensemble de celui-ci donc le SIL requis pour le Four de Rebouillage H-102 est un SIL 2. Et d'après ces deux méthodes on déduit que ce système est conforme envers les dispositions des normes CEI 61508 et CEI 61511.

Récapitulatif des scénarios d'accidents :

Tableau 3.14 : feuille LOPA

Scénario1/a	Équipement:	Titre de scénario	
	H-201	Explosion/Incendie	
Date : 06/05/2015	Description	Probabilité	Fréquence (/an)
Conséquence Description/Catégorie	Endommagement du serpentин (incendie) & arrêt d'unité (possible arrêt module)		
Critères d'acceptabilité de Risque (Catégorie ou Fréquence)	Risque tolérable [SONATRACH, 2008] Gravité : catégorie 4		1,00E-04
Événement Initiateur	Défaillance de la vanne FIC144(fermée)		3,2E-02
Situation Dangereuse			
Conditions Supplémentaires (si applicable)	Probabilité d'ignition		
	Probabilité de présence des personnes		
	Probabilité de blessure fatale		
	Autres		
Fréquence de la conséquence non réduite			3,2E-02
IPL	1- Alarmes & Opérateur	1,00E-01	
	2- S.I.S (PLC)	1,00E-02	
Barrières de sécurité (non-IPL)	1- Conception 2- BPCS (DCS) 3- Rideau d'eau 4- Injection de N2 5- Vide vite		
PFD totale des IPLs		1,00E-03	
Fréquence de la conséquence réduite			3,2 E-05
Risque tolérable ?			OUI
Références	Étude HAZOP, Modèle AdE, P&ID n° A1-007-B		
Analystes			
Étudiante fin de cycle Ex :INH Boumerdés			

Tableau 3.14 : feuille LOPA(suite)

Scénario1/b	Équipement:	Titre de scénario	
	H-201	Explosion/Incendie	
Date : 06/05/2015	Description	Probabilité	Fréquence (/an)
Conséquence Description/Catégorie	Endommagement du serpentин (incendie) & arrêt d'unité (possible arrêt module)		
Critères d'acceptabilité de Risque (Catégorie ou Fréquence)	Risque tolérable [SONATRACH, 2008] Gravité : catégorie 4		1,00E-04
Événement Initiateur	Défaillance de la vanne TRCA114		1,00E -01
Situation Dangereuse			
Conditions Supplémentaires (si applicable)	Probabilité d'ignition		
	Probabilité de présence des personnes		
	Probabilité de blessure fatale		
	Autres		
Fréquence de la conséquence non réduite			1,00 E-01
IPL	1- Alarmes & Opérateur	1,00E-01	
	2- S.I.S (PLC)	1,00E-02	
Barrières de sécurité (non-IPL)	1- Conception 2- BPCS (DCS) 3- Rideau d'eau 4- Injection de N2 5- Vide vite		
PFD totale des IPLs		1,00E-03	
Fréquence de la conséquence réduite			1,00 E-04
Risque tolérable ?			OUI
Références	Étude HAZOP, Modèle AdE, P&ID n° A1-007-B		
Analystes			
Étudiante fin de cycle Ex :INH Boumerdés			

Tableau 3.14 : feuille LOPA (suite)

Scénario 1/c et 2/b	Équipement:	Titre de scénario	
	H-201	Explosion/Incendie	
Date : 06/05/2015	Description	Probabilité	Fréquence (/an)
Conséquence Description/Catégorie	Endommagement du serpentин (incendie) & arrêt d'unité (possible arrêt module)		
Critères d'acceptabilité de Risque (Catégorie ou Fréquence)	Risque tolérable [SONATRACH, 2008] Gravité : catégorie 4		1,00E-04
Événement Initiateur	Défaillance de l'unité de traitement DCS		1,00E -01
Situation Dangereuse			
Conditions Supplémentaires (si applicable)	Probabilité d'ignition		
	Probabilité de présence des personnes		
	Probabilité de blessure fatale		
	Autres		
Fréquence de la conséquence non réduite			1,00 E-01
IPL	1- Alarmes & Opérateur	1,00E-01	
	2- S.I.S (PLC)	1,00E-02	
Barrières de sécurité (non-IPL)	1- Conception 2- BPCS (DCS) 3- Rideau d'eau 4- Injection de N2 5- Vide vite		
PFD totale des IPLs		1,00E-03	
Fréquence de la conséquence réduite			1,00 E-04
Risque tolérable ?			OUI
Références	Étude HAZOP, Modèle AdE, P&ID n° A1-007-B		
Analystes			
Étudiante fin de cycle Ex :INH Boumerdés			

Tableau 3.14 : feuille LOPA (suite)

Scénario2/c	Équipement:	Titre de scénario	
	H-201	Explosion/Incendie	
Date : 06/05/2015	Description	Probabilité	Fréquence (/an)
Conséquence Description/Catégorie	Endommagement du serpentin (incendie) & arrêt d'unité (possible arrêt module)		
Critères d'acceptabilité de Risque (Catégorie ou Fréquence)	Risque tolérable [SONATRACH, 2008] Gravité : catégorie 4		1,00E-04
Événement Initiateur	Défaillance de la vanne PCV133		1,00E -02
Situation Dangereuse			
Conditions Supplémentaires (si applicable)	Probabilité d'ignition		
	Probabilité de présence des personnes		
	Probabilité de blessure fatale		
	Autres		
Fréquence de la conséquence non réduite			1,00 E-02
IPL	1- S.I.S (PLC)	1,00E-02	
Barrières de sécurité (non-IPL)	1- Conception 2- BPCS (DCS) 3- Rideau d'eau 4- Injection de N2 5- Vide vite		
PFD totale des IPLs		1,00E-02	
Fréquence de la conséquence réduite			1,00 E-04
Risque tolérable ?			OUI
Références	Étude HAZOP, Modèle AdE, P&ID n° A1-007-B		
Analystes			
Étudiante fin de cycle Ex :INH Boumerdés			

Recommandations :

Il est possible de proposer quelques recommandations, sur les moyens de préventions liés au four. Il faudrait s'assurer que :

- ✚ Les séquences de démarrage, d'arrêt normal et d'arrêt d'urgence se fassent en automatique.
- ✚ L'arrêt du four sous-entend le sectionnement de l'alimentation en gaz naturel et ce par un système « Double block and bleed » (deux vannes en série avec mise à l'atmosphère intermédiaire). Il doit y avoir un contrôle d'étanchéité de ce système avant tout démarrage avec arrêt de la séquence de démarrage en cas de défaut
- ✚ La pertinence d'enrichir la zone des fours de détecteurs de gaz, et de coupler ces détecteurs avec un déclenchement automatique de rideau d'eau du four
- ✚ La possibilité d'installer deux vannes d'isolement TOR (entrée/sortie) du four pour pouvoir isoler le four de manière automatique et possibilité de vider le four par le système vide-vite de manière automatique
- ✚ Fiabiliser le système d'inertage à l'azote des fours H101/H102 (l'azote en provenance provenant des communs)
- ✚ Améliorer la fiabilité des IPLs par l'amélioration de leur architecture (1oo1 ou 1oo2...) en ajoutant des capteurs.
- ✚ Rénover le système de contrôle des fours H201/H202, notamment l'acquisition des nouveaux BMS (Burner management system), pour une meilleure gestion des phases d'exploitation des fours : démarrage, arrêt normal, arrêt d'urgence, intégrant des logiques séquentielles éprouvées.
- ✚ Réduire la période des tests périodiques.
- ✚ Prudence pendant les opérations de maintenance et de manutention pour éviter toute source d'ignition.
- ✚ Ajout d'autres IPLs si nécessaire.

Conclusion :

Dans les systèmes industriels, la sécurité est souvent appréhendée par l'application des techniques de la sureté de fonctionnement. Face aux difficultés rencontrées lors de l'application de cette activité de gestion, il s'avère indispensable de penser à des outils d'analyse des risques.

Dans le cadre de cette partie, nous avons opté pour une méthode qualitative graphique du risque et une autre semi-quantitative d'analyse des risques orientée barrière appelée LOPA (pour les scénarios jugés d'une gravité élevée). Cette dernière est élaborée par le CCPS et qui consiste :

- i. D'abord, à identifier les différents scénarios majeurs
- ii. Puis, d'en évaluer les conséquences de ces scénarios
- iii. Il s'agit ensuite, d'identifier les différentes couches de protection

iv. Et enfin, d'évaluer les performances des couches de protection.

Cette méthode d'analyse fait l'objet d'une étude d'évaluation des barrières de sécurité sur un système industriel « cas du Four de Rebouillage H102 » de traitement de gaz au sein de la SONATRACH.

Cette étude nous a permis en premier lieu à aboutir à des résultats sur l'état de sécurité du système (H-102) ainsi que, les mesures à prendre pour empêcher la survenance des évènements indésirables afin d'en limiter ces conséquences.

En second lieu, elle nous a permis de juger les performances des barrières destinées à prévenir et à protéger le système. Ainsi, elle nous a aidés à prendre des décisions en ce qui concerne le niveau de sécurité du système lui-même (SIL2) et sa conformité envers les normes CEI 61508 et CEI 61511.

L'application de ce type de méthode s'avère délicate. Beaucoup de difficultés ont été soulevées, à savoir le manque de données sur l'état de fonctionnement du système (retour d'expériences).

Conclusion Générale

La norme CEI 61508 de sécurité fonctionnelle introduit une approche probabiliste pour l'évaluation quantitative de la performance des SIS, et la qualification de cette dernière par des niveaux d'intégrité de sécurité.

L'analyse et l'évaluation des risques par la méthode LOPA exige la disponibilité de certaines données et informations sur les différents paramètres d'évaluation des risques telles que, des scénarios d'accidents, les fréquences d'évènements initiateurs ainsi que les probabilités de défaillances des différentes couche de protections existantes. Afin d'aboutir à l'évaluation de ces scénarios qui est faite grâce à une grille d'évaluation certifiée (SONATRACH) pour juger les risques des scénarios avant et après la mise en place des couches de protection.

Dans le cadre de ce mémoire l'évaluation montre que le niveau de SIL requis pour ce Four de Rebouillage H-102 à fin d'amener le risque à un niveau jugé acceptable est le SIL 2.

Nous avons montré l'intérêt de la démarche adoptée, à évaluer le niveau SIL du four rebouilleur H102 du système et sa conformité par rapport aux dispositions des normes. Notre contribution va servir certainement de base à des études plus poussées, à d'autres critères de performance des SIS, tels que le temps de réponse, l'efficacité, la maintenabilité, et la testabilité...etc.

- C

[CCPS, 2001] Center for Chemical Process Safety, Layers of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment, New York, 2001.

[CHEDDIE & GRUHN, 2006] GRUHN P. and CHEDDIE H., 2006. Safety instrumented systems: design, analysis, and justification. ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society. 306 p.

[COURTOT & ERMINE, 2002] COURTOT H., ERMINE J., 2002. Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement des systèmes de production. Hermès science publications. Lavoisier. 412 p.

[CEI 61511-1] Sécurité fonctionnelle – Systèmes instrumentés de sécurité pour le secteur des industries de transformation - Partie 2 : lignes directrices pour l'application de la CEI 61511-1

- D

[DJEBABRA & SAADI, 1999] DJEBABRA M. & SAADI S., 1999. (1999 Méthodologie d'étude de sûreté fonctionnement des systèmes : Analyse fonctionnelle. Phoebus N° 10.

813-dossier-CEI61511-Securite-fonctionnelle-3

DNV, *Etude de Dangers Module 1*. SONATRACH Activité Amont Division Production, 2010. p. 1-215.

- I

[ICSI, 2006] ICSI - Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle, Groupe de travail « Fréquence des événements initiateurs d'accidents et disponibilité des barrières de protection et de prévention ». Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle , 2006.

[IEC-61508, 1998] IEC-61508, Functional safety of electric / electronic / programmable electronic systems, Parts 1-7, International Electrotechnical Commission (IEC), 1998.

[IEC-61511, 2003] IEC-61511, Functional safety- Safety instrumented systems for the process industry sector, Parts 1-3, International Electrotechnical Commission (IEC), 2003.

[INERIS DRA 35, 2003] INERIS DRA-35, Éléments importants pour la sécurité EIPS, Rapport oméga-6. Direction des risques accidentels, 2003.

[INERIS BCRD ARAMIS DRA 04, 2004] ARAMIS, Développement d'une méthode intégrée d'analyse des risques pour la prévention des accidents majeurs, Autorisation de programme 2001 – Convention N° 2001-01 111, Rapport final, 2004.

[INERIS DRA 039, 2005] INERIS DRA-039, Évaluation des barrières techniques de sécurité, Rapport oméga 10, 2005.

[INERIS DRA 35, 2006] INERIS DRA-73, Méthode d'analyse de risques générés par une installation industrielle oméga-7, 2006.

[INERIS DRA 73, 2005] INERIS DRA-73, Evaluation des Barrières Techniques de Sécurité, Rapport oméga-10, 2008.

[INERIS DRA 77, 2009] INERIS DRA-73, Démarche d'évaluation des Barrières Humaines de Sécurité oméga-20, 2009.

[ISO 31000, 2009] ISO, Management du risque -- Principes et lignes directrices, 1999.

- K

[Kirchsteiger, 1999] Kirchsteiger C., 1999. On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 12, (339- 419).

- M

[Manuel opératoire, 1993] Manuel Opératoire, Spécification Technique, Direction Régionale d'Hassi R'mel - Hassi R'mel centre SONATRACH Division Production Rév 0, 1993.

- R

[Rapport EDD MPP1 HRM Centre, 2010] Rapport d'Etude de dangers. Direction Régionale de Hassi R'mel Centre EP002718 N° 6-7 – HRM Centre N° Rév 0, Rég. DNV: 128ZHR8-10 Rapport EP002718 – N° 6-7, 2010.

[Rapport d'inspection équipement SONATRACH, 2013] A-MIS, Advanced Maintenance Inspection Support System, N° Rég. DNV: 128ZHSG-10 Rapport EP002720 – N° 6, 2013.

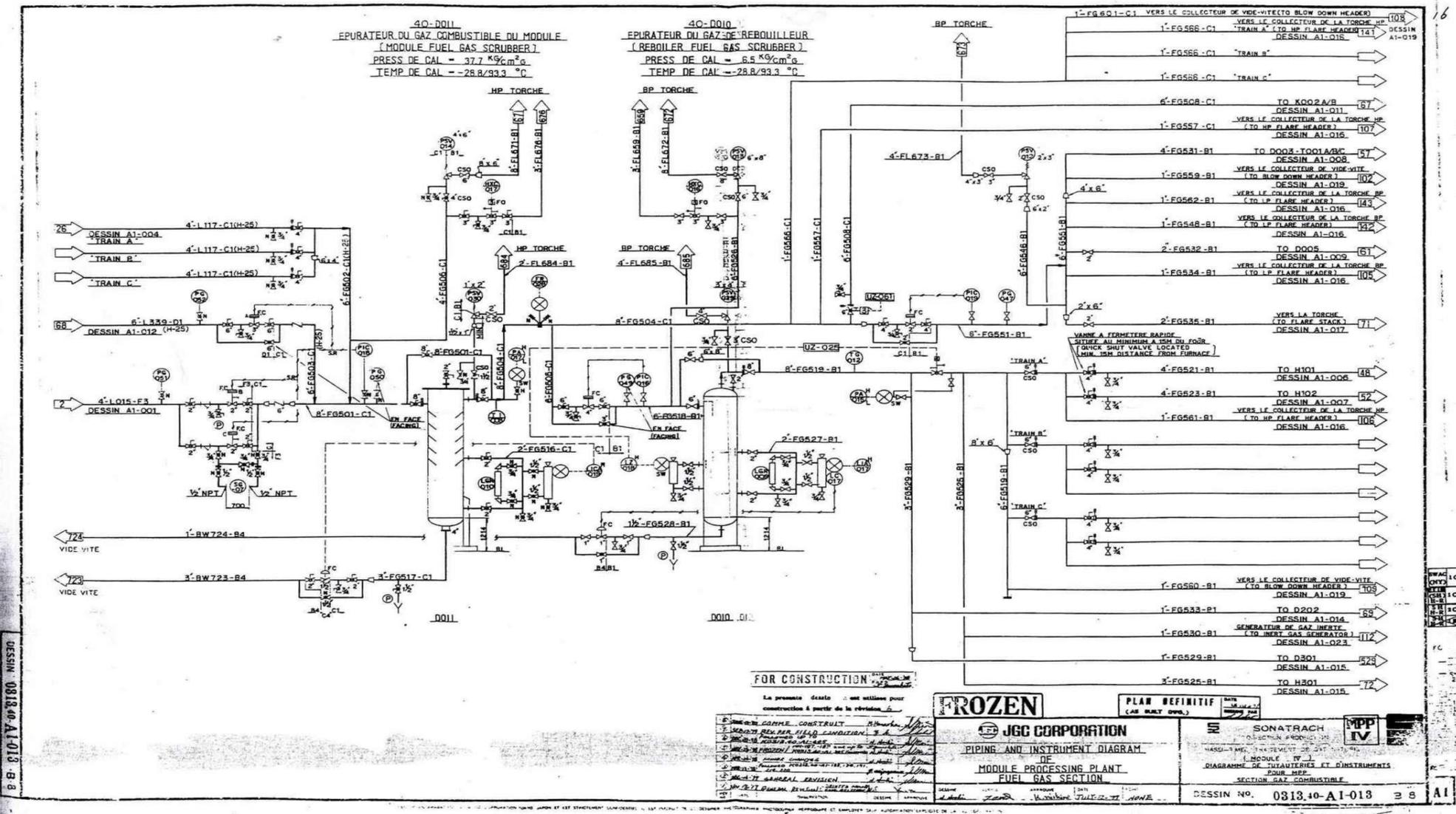
[Rapport d'Audit Environnemental, 2011] Rapport d'Audit Environnemental, Direction Régionale d'Hassi R'mel - Hassi R'mel centre SONATRACH Division Production. 2011, 380 p.

- V

[Villemeur, 1987] Villemeur A., 1987. Evaluation de la fiabilité, disponibilité et maintenabilité des systèmes réparables : La méthode de l'Espace des Etats. Number 2. Eyrolles

- W

. www.profluid.org



Annexe A : PID utilisé pour HAZOP [HAZOP Study Report SONATRACH, 2008]

Annexes

1. Norme CEI 61508

Les systèmes électriques/électroniques sont utilisés depuis des années, pour exécuter des fonctions liées à la sécurité dans la plupart des secteurs industriels. La norme CEI 61508 présente une approche générique de toutes les activités liées au cycle de vie de la sécurité des systèmes E/E/EP, qui sont utilisés pour réaliser des fonctions de sécurité.

La norme CEI 61508 ne couvre pas les aspects de confidentialité et/ou d'intégrité qui sont liés à la mise en place de précautions de sécurité. Ainsi elle ne vise pas à empêcher les personnes non autorisées à endommager ou affecter la sécurité réalisée par les systèmes E/E/PE concernés par la sécurité

1.1.Champ d'application

La norme CEI 61508 s'applique aux systèmes de sécurité E/E/EP destinés à exécuter des fonctions de sécurité. Elle concerne les applications pour lesquelles un défaut des systèmes est susceptible d'avoir un impact considérable sur la sécurité des personnes, de l'environnement et des installations. À ce jour, cette norme constitue l'un des principaux textes de référence pour la spécification, la conception et le fonctionnement opérationnel des SIS. En revanche, l'apparition de cette norme n'est pas récente puisque sa déclinaison en norme française date de 1999 (NF EN 61508) Cette norme s'applique aux systèmes relatifs à la sécurité lorsque l'un ou plus de ces systèmes comporte des dispositifs E/E/EP.

1.2.Objectif de la CEI 61508

La norme internationale CEI 61508, Sécurité Fonctionnelle des systèmes E/E/EP concernés par la sécurité, a pour but de :

- Fournir le potentiel de technologie E/E/PE pour améliorer à la fois les performances économiques et la sécurité,
- Permettre des développements technologiques dans un cadre global de sécurité,
- Fournir une approche système, techniquement saine, suffisamment flexible pour le futur
- Fournir une approche basée sur le risque pour déterminer les performances des systèmes concernés par la sécurité
- Fournir une norme générique pouvant être utilisée par l'industrie, mais qui peut également servir à développer des normes sectorielles (par exemple : machines, usine chimiques, ferroviaire ou médical) ou des normes produit (par exemple : variateurs de vitesse)
- Assurer les moyens aux utilisateurs et aux autorités de réglementation d'acquiescer la confiance dans les technologies basées sur l'informatique.

1.3. Limites de la CEI 61508

Le succès de la CEI 61508 n'est pas quelque chose qu'on aurait pu être facilement prédit, c'est ainsi que Rainer FALLER a commenté dans son article « Expérience tirée des projets sur la norme CEI 61508 et ses conséquences »

La Norme IEC 61508 et ses normes dérivées constituent un document volumineux difficile à lire et à interpréter. L'ambiguïté possible dans l'interprétation encourage beaucoup à utiliser la norme comme une boîte à outils où ils sortent et nécessitent la mise en œuvre ou de ce qu'ils comprennent ou estiment qu'il est intéressant. Les limites de la norme CEI 61508 sont liées à la complexité et à la difficulté de son utilisation. Plusieurs utilisateurs de l'CEI 61508 ont mentionné la nécessité d'être guidés, tant ses notions paraissent complexes, et difficiles à mettre en œuvre. Beaucoup de prescriptions ne sont pas assignées à une certaine gamme de niveaux d'intégrité de sécurité ou à la complexité de la conception. En conséquence, Cela rend la norme difficile à utiliser pour de petits projets et rend la gestion de la sécurité fonctionnelle trop chère pour des petites et moyennes entreprises.

2. Définition d'un SIS

D'après la norme CEI 61508], un SIS fait l'objet de la définition suivante: « c'est un système E/E/PE relatif aux applications de sécurité, il comprend tous les éléments du système nécessaires pour remplir la fonction de sécurité».

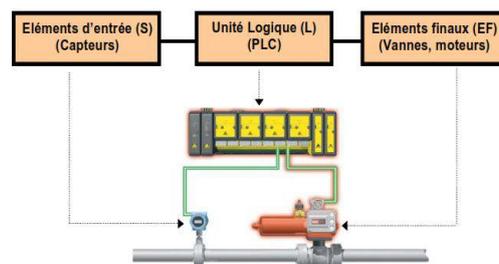
La norme CEI 61511 quant à elle, elle définit les SIS comme étant «un système instrumenté utilisé pour mettre en œuvre une ou plusieurs fonctions instrumentées de sécurité. Un SIS se compose de n'importe quelle combinaison de capteur(s), d'unité logique (s) et d'élément(s) terminal (aux) ».

Les SIS visent à mettre le procédé en état stable qui ne présente pas de risque pour l'environnement et les personnes lorsque le procédé s'engage dans une voie comportant un risque réel (explosion, feu...)

2.1. Constitution élémentaire d'un SIS

Les SIS sont constitués de différents éléments unitaires reliés entre eux par des moyens de transmissions.

Au minimum, on retrouve en série un capteur, une unité de traitement et un actionneur



Exemple d'un SIS

3. Fonction Instrumentée de Sécurité

La fonction instrumentée de sécurité est définie comme étant la fonction de sécurité avec un SIL spécifique qui est nécessaire pour maintenir la fonction de sécurité. C'est une fonction réalisée par un système E/E/PE relatif à la sécurité, basé sur une autre technologie, ou par un dispositif externe de réduction de risque, prévue pour assurer ou maintenir un état de sécurité de l'élément commandé par rapport à un événement dangereux spécifique.

4. Rôle des systèmes E/E/EP relatifs à la sécurité :

Les systèmes E/E/EP relatifs à la sécurité contribuent à atteindre la réduction nécessaire du risque dans le but d'atteindre le risque tolérable.

Un système relatif à la sécurité :

- Met en œuvre les fonctions de sécurité requises et nécessaires pour parvenir à un état de sécurité de l'équipement commandé, ou maintient l'équipement commandé dans un état de sécurité
- Permet d'atteindre, par lui-même ou en liaison avec d'autres systèmes E/E/EP relatifs à la sécurité ou des systèmes relatifs à la sécurité basés sur d'autres technologies ou des dispositifs externes de réduction du risque [IEC-61508, 1998].

5. Niveau d'intégrité de sécurité (SIL) :

Le niveau d'intégrité de sécurité est défini comme la probabilité pour qu'un système relatif à la sécurité exécute de manière satisfaisante les fonctions de sécurité requises (SIF) dans toutes les conditions spécifiées et dans une période de temps spécifiée.

Les normes de sécurité fonctionnelle [IEC-61508, 1998] et [IEC-61511, 2000] définissent une démarche d'analyse du niveau d'intégrité de sécurité (SIL) d'un système. Elles permettent de définir le niveau SIL qui doit être atteint par un SIS qui réalise la fonction de sécurité suite à une analyse de risque. Plus le SIL à une valeur élevée plus la réduction du risque est importante.

Les SIS sont classés en quatre niveaux SIL qui se caractérisent par des indicateurs discrets positionnés sur une échelle de un à quatre niveaux. Les SILs sont employés pour spécifier les exigences de sécurité des fonctions de sécurité réalisées par des systèmes E/E/EP relatifs à la sécurité selon la norme [IEC-61508, 1998].

6. Concept de barrières de sécurité :

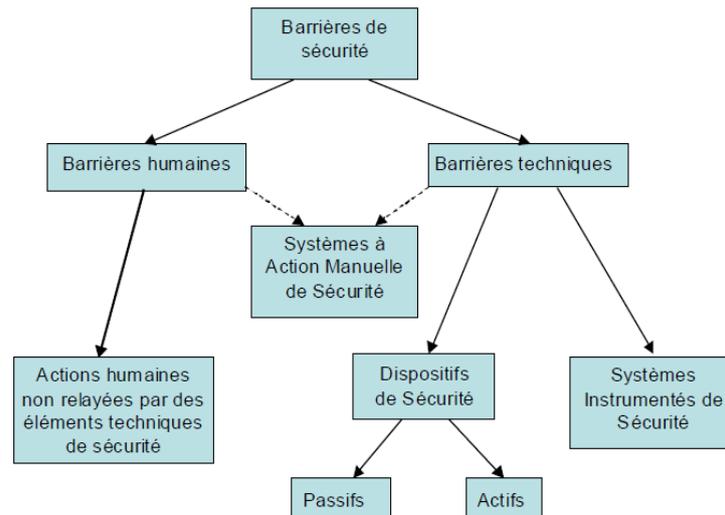
Le concept de barrière est apparu avec celui de défense en profondeur. Ce concept vise à la sécurisation d'un système par la mise en place d'un ensemble de mesures successives et indépendantes les unes des autres permettant de prévenir ou de maîtriser les incidents possibles et d'en limiter les conséquences. La désignation « Barrière de sécurité » se restreint aux systèmes actifs ou passifs, techniques ou humains, assurant une fonction de sécurité.

Ces barrières de sécurité, également appelées “mesures de maîtrise des risques”, constituent un élément essentiel dans la conduite des installations industrielles [INNERIS DRA 77, 2009].

6.1. Différents types de barrières :

Dans le cadre des EDD, les barrières de sécurité doivent correspondre à l'une des trois catégories telles que définies dans le guide OMEGA 10 de l'INERIS [2008] :

- ✚ Les Barrières Techniques de Sécurité (BTS) : D'une part, sont constituées d'un dispositif de sécurité et d'autre part d'un système instrumenté de sécurité (SIS) qui s'oppose à l'enchaînement d'évènements susceptibles d'aboutir à un accident.
- ✚ Les Barrières Organisationnelles de Sécurité (BOS) : Sont constituées d'une activité humaine (opération) qui s'oppose à l'enchaînement d'évènements susceptible d'aboutir à un accident.
- ✚ Les Systèmes à Action Manuelle de Sécurité (SAMS) : Combinaison des deux types de barrières précédentes (BTS et BOS).



Typologie des barrières de sécurité [INNERIS DRA 77, 2009]

6.2. Barrières techniques de sécurité :

C'est un ensemble d'éléments techniques nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité, on les appelle aussi des Mesures de Maitrise de Risque (MMR), elles peuvent être de nature très différentes. Il peut s'agir de dispositifs de sécurité ou de systèmes instrumentés de sécurité (SIS).

6.2.1. Dispositifs de sécurité :

Les dispositifs de sécurité sont des éléments unitaires, autonomes, ayant pour objectif de remplir une fonction de sécurité dans sa globalité. Ces dispositifs peuvent être classés en deux catégories :

- Les dispositifs passifs ne mettent en jeu aucun système mécanique pour remplir leur fonction. On retrouve notamment dans cette catégorie les cuvettes de rétention, les disques de rupture, les arrêt-flammes ainsi que les murs pare-feu...etc.
- Les dispositifs actifs mettent en jeu des dispositifs mécaniques (ressorts,...). On retrouve notamment dans cette catégorie les soupapes de décharge et les clapets excès de débit.

✚ Gestion des accidents

Répartition des accidents

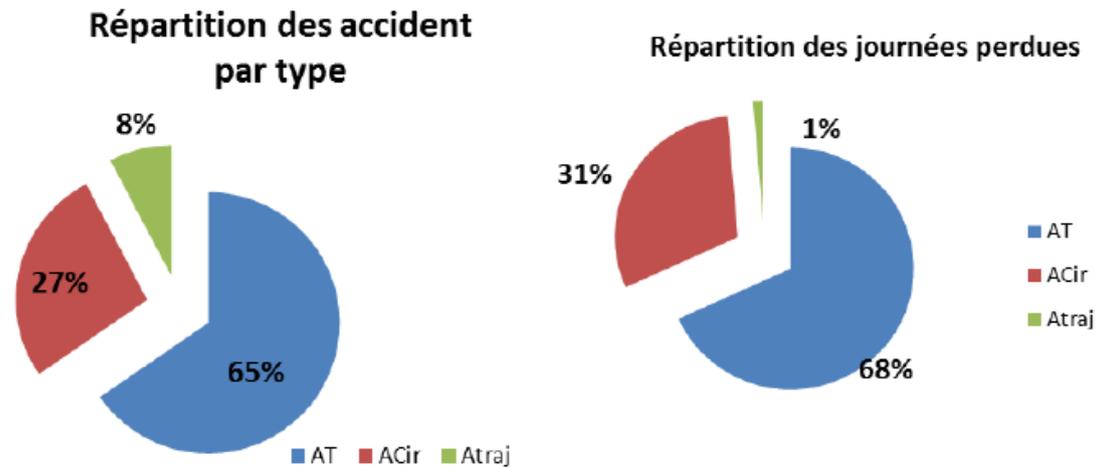
On compte au total 26 accidents, qui ont généré 372 journées perdues répartis comme suit :

16 accidents de travail liés directement à la tâche, qui ont généré **194** journées perdues;

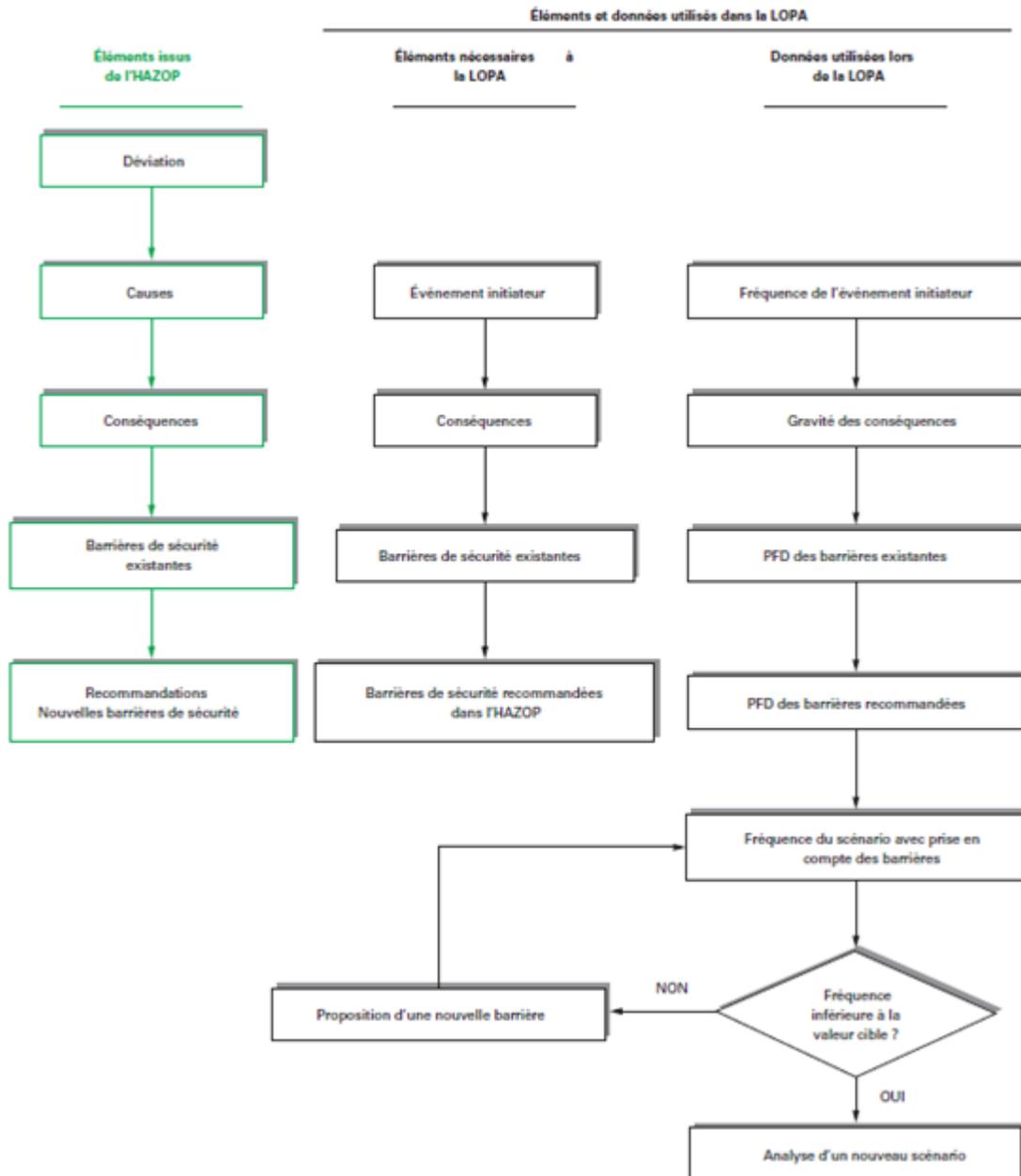
02 accidents de travail non liés directement à la tâche, qui ont généré **60** journées perdues;

02 accidents de trajet qui ont généré **05** journées perdues.

07 accidents de circulation qui ont généré **113** journées perdues



Annexe B : répartition des accidents et des journées perdues



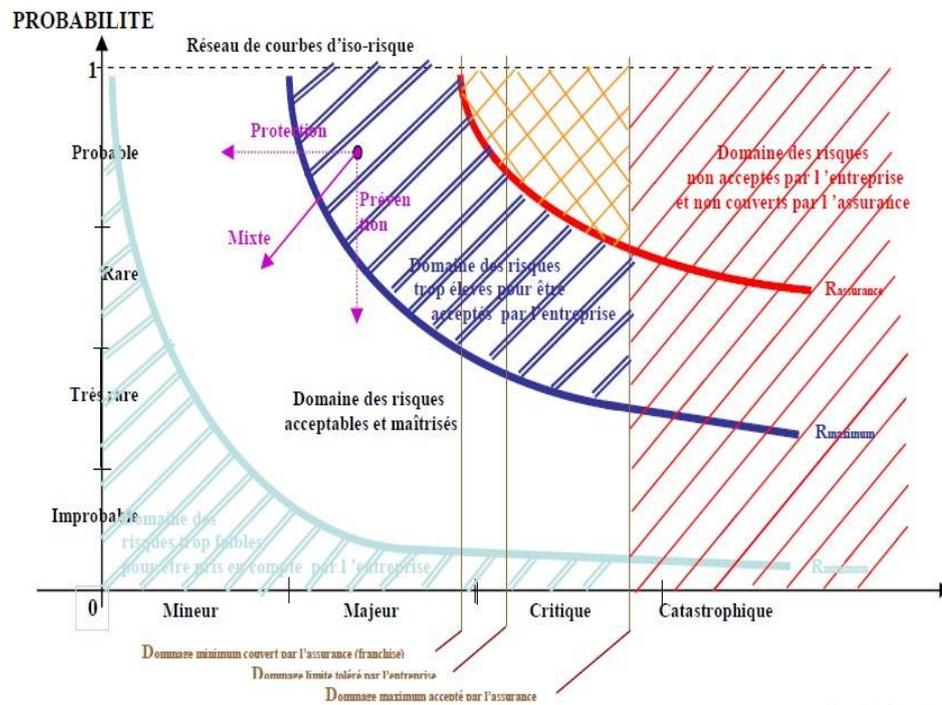
Annexe C : lien entre l'HAZOP et LOPA

Tableau 13 – Formules de calcul de la fréquence d’occurrence résiduelle du scénario	
Formule de calcul	Conséquence
$f_i^c = f_i^l \times \prod_{j=1}^n PFD_{ij}$	Fuite du produit
$f_i^c = f_i^l \times \left(\prod_{j=1}^n PFD_{ij} \right) \times P_{\text{Inflammation}}$	Fuite enflammée
$f_i^c = f_i^l \times \left(\prod_{j=1}^n PFD_{ij} \right) \times (1 - P_{\text{Inflammation}})$	Fuite non enflammée
$f_i^c = f_i^l \times \left(\prod_{j=1}^n PFD_{ij} \right) \times P_{\text{Présence}}$	Personnel exposé à la fuite de produit
$f_i^c = f_i^l \times \left(\prod_{j=1}^n PFD_{ij} \right) \times P_{\text{Inflammation}} \times P_{\text{Présence}}$	Personnel exposé à la fuite enflammée
$f_i^c = f_i^l \times \left(\prod_{j=1}^n PFD_{ij} \right) \times (1 - P_{\text{Inflammation}}) \times P_{\text{Présence}} \times P_{\text{Blessure}}$	Personnel exposé au seuil d’effet générant des blessures (toxique)
$f_i^c = f_i^l \times \left(\prod_{j=1}^n PFD_{ij} \right) \times (1 - P_{\text{Inflammation}}) \times P_{\text{Présence}} \times P_{\text{Mort}}$	Personnel exposé au seuil des effets générant la mort (toxique)
$f_i^c = f_i^l \times \left(\prod_{j=1}^n PFD_{ij} \right) \times P_{\text{Inflammation}} \times P_{\text{Présence}} \times P_{\text{Blessure}}$	Personnel exposé au seuil d’effet générant des blessures (thermique/surpression)
$f_i^c = f_i^l \times \left(\prod_{j=1}^n PFD_{ij} \right) \times P_{\text{Inflammation}} \times P_{\text{Présence}} \times P_{\text{Mort}}$	Personnel exposé au seuil des effets générant la mort (thermique/surpression)
Notations : f_i^l : fréquence de la conséquence associée à l’événement initiateur i à l’origine du scénario d’accident. PFD_{ij} : barrière de sécurité indépendante (IPL) numéro j vis-à-vis du scénario d’accident. $P_{\text{Inflammation}}$: probabilité d’inflammation. $P_{\text{Présence}}$: probabilité de présence du personnel dans la zone d’effet associée à la conséquence. P_{Blessure} : probabilité de blessure. P_{Mort} : probabilité de mort.	

Annexe D : Formules de calcul de la fréquence d’occurrence résiduelle du scénario

Tableau 8 – Proposition de fréquences d’occurrence pour des événements initiateurs (d’après [1])		
Événement initiateur	Intervalle de fréquence issu de la littérature (par an)	Exemple de valeur pour application à la LOPA (par an)
Perte de confinement d’un réservoir sous pression	10^{-7} à 10^{-5}	10^{-6}
Rupture d’une canalisation de 100 m	10^{-6} à 10^{-5}	10^{-5}
Brèche 10 % DN sur une canalisation de 100 m	10^{-4} à 10^{-3}	10^{-3}
Perte de confinement sur un réservoir à pression atmosphérique	10^{-5} à 10^{-3}	10^{-3}
Fuite sur joint	10^{-6} à 10^{-2}	10^{-2}
Survitesse d’un moteur générant une brèche sur le corps de l’équipement	10^{-4} à 10^{-3}	10^{-4}
Agressions par choc (véhicule, etc.)	10^{-4} à 10^{-2}	10^{-2}
Chute de grue	10^{-4} à 10^{-3} par levage	10^{-4} par levage
Impact de foudre	10^{-4} à 10^{-3}	10^{-3}
Ouverture intempestive d’une soupape	10^{-4} à 10^{-2}	10^{-2}
Défaillance d’un système de refroidissement	10^{-2} à 1	10^{-1}
Défaillance d’une garniture de pompe	10^{-2} à 10^{-1}	10^{-1}
Rupture d’un flexible de transfert	10^{-2} à 1	10^{-1}
Boucle du BPCS	10^{-2} à 1	10^{-1}
Incendie de faible envergure	10^{-2} à 10^{-1}	10^{-1}
Incendie de grande envergure	10^{-3} à 10^{-2}	10^{-2}
LOTO procédure	10^{-4} à 10^{-3} par opportunité	10^{-3} par opportunité
Erreur humaine pour exécuter une procédure de routine	10^{-3} à 10^{-1} par opportunité	10^{-2} par opportunité
Pour un opérateur bien formé, non stressé et non fatigué.		

Annexe E: fréquence des événements initiateurs



Annexe F : Zone de risques [Rapport EDD MPP4 HRM Centre, 2010]

Les PFDs de ces IPLs issu de la littérature sont données dans le tableau suivant :

IPL		PFD	Sources
Alarme et opérateur	Réponse à l'alarme	1,0E-01	[CCPS, 2001],[IEC-61511,2000], [ICSI, 2009]
SIS(PLC)	SIL1	1,0E-01	[CCPS, 2001]
	SIL2	1,0E-02	[CCPS, 2001]
	SIL3	1,0E-03	[CCPS, 2001]

Annexe G : PFD des IPLs