

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche Scientifique



École Nationale Polytechnique

Filière QHSE-GRI

Mémoire de projet de fin d'études

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en QHSE-GRI

Etude de défaillance des barrières de sécurité d'un ballon de séparation
haute pression et des phénomènes dangereux **associés**
Cas de SONATRACH DP TFT

M^r. MESSADH Abdallah

Sous la direction de M^r. Amin BENMOKHTAR Professeur ENP

Présenté et soutenu publiquement le (21/06/2016)

Composition du Jury :

Président	M ^r . Abdelkader NAMANE	Professeur ENP
Rapporteur/ Promoteur	M ^r . Amin BENMOKHTAR	Professeur ENP
Examineur 1	M ^{me} . Nadine OUSSEDIK	Professeur ENP
Examineur 2	M ^r . Aboubakre KARTOUS	Maître-Assistant ENP

ملخص

حواجز السلامة تمثل عناصر اساسية لتقليل او وضع حد للاضرار في حالة وقوع حادث صناعي .

الهدف من هذا العمل يتمثل في دراسة تعطل حواجز السلامة لخزان فصل ذو ضغط عالي, وهذا باستخدام طريقتين الاولى هي طريقة AMDEC والثانية هي طريقة HAZOP حيث يتمثل هدفهما في ايجاد سيناريوهات الحوادث, ثم سنقوم باستخدام طريقة LOPA من اجل تحليل تعطل حواجز السلامة و في النهاية سنقوم بدراسة الظواهر الخطيرة الناتجة من تعطل حواجز السلامة .

كلمات استدلالية:حواجز السلامة ,تعطل ,خزان فصل ذو ضغط عالي ,HAZOP, AMDEC, LOPA,سيناريو,الظواهر الخطيرة

Abstract

Safety barriers represent essential components to reduce or limit the damage generated by a major industrial accident. The objective of this work is the study of failure of the safety barriers for pressured tank of separation, by applying at first two classical methods of risk analysis: the first one is (AMDEC), the second is the (HAZOP). These two methods have the purpose of identification of the scenarios of accidents. Secondly, it is a question of applying an integrated method which is (LOPA) to analyze safety barriers. Finally, we will study the dangerous phenomena resulting from the failure of the safety barriers.

Key words: Safety barriers, Failure, pressured tank of separation, HAZOP, AMDEC, LOPA, scenario.

Résumé

Les barrières de sécurité représentent des éléments essentiels pour réduire ou limiter les dégâts engendrés en cas de survenance d'un accident industriel majeur. L'objectif de ce travail, s'agissait d'étudier la défaillance des barrières de sécurité d'un ballon de séparation haute pression, en appliquant dans un premier temps deux méthodes classiques d'analyse de risque ,la première est l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leur criticités (AMDEC), la deuxième est la *HAZard Opérabilité* (HAZOP), ces deux méthodes ont comme but l'identification des scénarios d'accidents, aussi dans un deuxième temps, il s'agit d'appliquer une méthode intégrée d'analyse de risque (LOPA) afin d'analyser les barrières de sécurité. Enfin nous allons étudier les phénomènes dangereux résultant de la défaillance des barrières de sécurité.

Mots clés : barrières de sécurité, défaillance, ballon de séparation haute pression, HAZOP, AMDEC, LOPA, scénario.

Dédicace

Je dédié ce travail
A mes parents
A toute la famille
A tous mes amis
A ceux qui m'aiment
A ceux qui j'aime

REMERCIEMENTS

J'aimerais en premier lieu remercier mon dieu **ALLAH** qui m'a donné la volonté et le courage pour la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur **Amin BENMOKHTAR**, mon encadreur pour l'aide inestimable qu'il m'a apporté afin de mener à bien la mission qu'il m'a confiée au cours de ce projet. D'emblée il m'a fait confiance ce qui m'a permis de rapidement m'investir dans mon projet.

Je remercie également Monsieur **Abdelkader NAMANE**, d'avoir accepté de présider le jury et Monsieur **Aboubakre KARTOUS** et Madame **Nadine OUSSEDIK**, Enseignants à l'ENP, qui ont bien voulu examiner mon travail en tant que membre du jury.

Je désire aussi exprimer mes essentiels remerciements à tout le personnel de la région TFT pour les orientations et les conseils.

Je remercie aussi mes camarades de filière Qualité Hygiène Sécurité et environnement, et mes enseignants ainsi qu'à tous les étudiants du département.

Une pensée affective toute particulière et un grand merci à ma famille et à tous mes amis.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION.....10

CHAPITRE 1 : CONTEXTE GÉNÉRAL, PROBLÉMATIQUE, OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

1.1. Présentation de SONATRACH DP.....13

1.2. Présentation du site de TIN FOUYE TABANKORT.....13

1.3. Description des procédés utilisés.....15

1.3.2. Unités de séparation d'huile.....15

1.3.3. Centres de Séparation.....16

1.3.4. Fonction séparation.....18

Problématique.....20

Objectifs.....20

Méthodologie20

CHAPITRE 2 : ANALYSE DES RISQUES

2.1. Principaux concepts et définitions23

2.1.1. Notion de danger23

2.1.2. Notion de risque23

2.1.3. Risque industriel majeur24

2.1.4. Barrière de sécurité25

2.2. Phénomènes dangereux25

2.2.1. Feu de flaqué26

2.2.2. Boule de feu26

2.2.3. VCE (*Vapour Cloud Explosion*).....26

2.2.4. Feux chalumeau27

2.2.5. Feu flash27

2.3. Gestion des risques	28
2.4. Analyse des risques.....	29
2.5. Méthodes d'analyse de risque	30
2.5.1. Méthodes classiques	30
Méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets et Criticités).....	31
Méthode HAZOP (<i>HAZard and OPerability study</i>).....	37
2.5.2. Méthodes intégrées	41
Méthode LOPA (<i>Layer of Protection Analysis</i>).....	41

CHAPITRE 3 : APPLICATION DES METHODES D'ANALYSE

3.1. Description de l'équipement étudié	47
3.1.1. Découpage fonctionnel du ballon de séparation HP	48
3.2. Identification des scénarios d'accidents.....	50
3.3. Identification des couches de protection indépendantes (IPL)	51
3.4. Représentation des scénarios d'accidents	52
3.5. Analyse quantitative des phénomènes dangereux	60
3.5.1. Développement des arbres des évènements.....	60
3.5.2. Etude du feu de nappe.....	66
3.5.2.1. Géométrie de la flamme.....	66
3.5.2.2 Modélisation du feu de nappe avec le logiciel PHAST.....	71
3.5.3. Extinction du feu de nappe	73
RECOMMANDATIONS	76
CONCLUSION	78
BIBLIOGRAPHIE.....	80
ANNEXES.....	82

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Exemple d'un tableau de type AMDEC.....	33
Tableau 2-2 : Modes de défaillance généraux.....	34
Tableau 2-3 : Modes de défaillance génériques.....	35
Tableau 2-4 : Exemple de tableau pour l'HAZOP.....	39
Tableau 2-5 : Exemples de mots-clés pour l'HAZOP.....	39
Tableau 3-1 : Caractéristiques du ballon de séparation HP.....	48
Tableau 3-2 : Découpage fonctionnel de ballon de séparation.....	49
Tableau 3-3 : Scénario de dangers retenus.....	50
Tableau 3-4 : Fréquence des événements initiateurs.....	52
Tableau 3-5 : Probabilités de défaillance à la demande des IPL.....	52
Tableau 3-6 : Feuille de travail LOPA de scénario -1-.....	56
Tableau 3-7 : Feuille de travail LOPA de scénario -2-.....	57
Tableau 3-8 : Feuille de travail LOPA de scénario -3-.....	58
Tableau 3-9 : Feuille de travail LOPA de scénario -4-.....	59
Tableau 3-10 : Types d'ignitions.....	60
Tableau 3-11 : Fréquences des conséquences des scénarios d'accidents.....	65
Tableau 3-12 : Seuils des effets thermiques.....	72
Tableau 3-13 : Distances d'effets de radiation du feu de flaque au centre CS1.....	73
Tableau 3-14 : Caractéristiques de la mousse.....	75

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Situation du champ Tin Fouye Tabankort	14
Figure 1-2 : Plan de circulation de l'huile	16
Figure 1-3 : Centre de Séparation d'huile	17
Figure 1-4 : schéma d'un séparateur	19
Figure 1-5 : Méthodologie du travail.....	21
Figure 2-1 : Processus de la gestion du risque	28
Figure 2-2 : Démarche d'analyse des risques	27
Figure 2-3 : Méthode de réalisation d'une AMDEC.....	31
Figure 2-4 : Principe d'analyse de l'HAZOP	38
Figure 2-5 : Barrières de sécurité indépendantes (IPL)	42
Figure 2-6 : Comparaison entre la méthode LOPA et l'analyse par arbre d'évènement	43
Figure 3-1 : Arbre d'événements relatif au scénario -1-	53
Figure 3-2 : Arbre d'événements relatif au scénario -2-.....	53
Figure 3-3 : Arbre d'événements relatif au scénario -3-.....	54
Figure 3-4 : Arbre d'événements relatif au scénario -4-.....	55
Figure 3-5 : Arbre d'événements relatif aux PhD de scénario d'accident N°1.....	61
Figure 3-6 : Arbre d'événements relatif aux PhD de scénario d'accident N°2.....	62
Figure 3-7 : Arbre d'événements relatif aux PhD de scénario d'accident N°3.....	63
Figure 3-8 : Arbre d'événements relatif aux PhD de scénario d'accident N°4.....	64
Figure 3-9 : Représentation graphique des phénomènes dangereux.....	66
Figure 3-10 : Inclinaison de la flamme sous l'effet du vent	68
Figure 3-11 : Rose des vents de site TFT	71
Figure 3-12 : Cartographie des effets thermiques d'un feu de flaque dans le centre de séparation CS1.....	72
Figure 3-13 : Cartographie des effets thermiques d'un feu de flaque dans le cas d'une vitesse de vent de 10(m/s).....	73

LISTE DES ABREVIATIONS

AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Criticités
APR	Analyse Préliminaire des Risques
BP	Basse Pression
CCPS	<i>Center of Chemical Process Safety</i>
CS	Centre de Séparation
DP	Division Production
EI	Evènement initiateur
G	Gravité
HAZOP	<i>HAZard and OPerability study</i>
HP	Haute Pression
IPL	<i>Independant Protection Layer</i>
LOPA	<i>Layer of Protection Analysis</i>
P	Probabilité
PDF	Probabilité de Défaillance A la Sollicitation
PhD	Phénomène Dangereux
PHAST	<i>Process Hazard Analysis Software Tool</i>
PNB	Produit national brut
SEI	Seuil des effets irréversibles
SEL	Seuil des premiers effets létaux
SELS	Seuil des effets létaux significatifs
TFT	Tin Fouye Tabankort
TOR	Tout ou rien
UTGA	Unité de Traitement de Gaz Associé
VCE	<i>Vapour Cloud Explosion</i>

INTRODUCTION

Dans le monde industriel actuel, l'industrie pétrochimique occupe une place essentielle parmi les autres industries. Si aujourd'hui plus que jamais, le pétrole et le gaz naturel nous aident à mieux vivre, de par leurs effets indésirables, inconnus et imprévisibles, ils nous font infiltrer dans une société du risque, notamment le risque industriel majeur. Récemment, plusieurs projets de recherche ont prêté attention aux risques d'accidents majeurs. La directive de Seveso II adoptée en 1996 par l'Union européenne déclare que les risques majeurs devraient être inclus dans des analyses de risque pour les installations classées.

Gérer un risque a pour objectif d'identifier, d'analyser et de réduire au maximum le risque ou de le maintenir dans des limites acceptables. L'analyse de risques vise principalement à qualifier ou à quantifier le niveau de risque, en évaluant les mesures de sécurité mises en place. Elle porte sur l'ensemble des modes de fonctionnement envisageables pour les installations, y compris les phases transitoires, les interventions ou modifications prévisibles susceptibles d'affecter la sécurité, aussi elle conduit l'exploitant des installations à identifier et hiérarchiser les points critiques en termes de sécurité, en référence aux bonnes pratiques ainsi qu'au retour d'expérience de toute nature.

Maitriser un risque veut dire l'élimination de l'ensemble des phénomènes dangereux résultants, cette maitrise est obtenue par l'ajout d'un ensemble des barrières de sécurité techniques ou organisationnelles, ces outils contribuent à rendre les systèmes plus sécurisés et assurent une fonction de sécurité.

La présente étude vise à appliquer un ensemble des méthodes classiques (HAZOP, AMDEC) et intégrées (LOPA), pour analyser la défaillance des barrières de sécurité mises en place, et ainsi déterminer les effets et les conséquences des risques majeurs résultants de cette défaillance.

Notre travail comporte trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la présentation du contexte général, à la problématique, les objectifs et la méthodologie de la présente étude.

Le deuxième chapitre a pour objectif de présenter les notions de base relatives à la sécurité, ainsi les phénomènes dangereux majeurs et les méthodes classiques (HAZOP, AMDEC) et intégrées (LOPA) d'analyse de risque.

Le troisième chapitre est consacré à l'application des méthodes d'analyse de risque, pour identifier les scénarios les plus critiques et pour analyser les couches de protection pour le ballon de séparation haute pression, ainsi de faire une analyse quantitative des phénomènes dangereux résultants de la défaillance des barrières de sécurité. Enfin, nous allons tenter de calculer les conséquences de phénomène dangereux le plus fréquent et de modéliser ses effets.

Enfin, le présent travail sera clôturé par une conclusion générale résumant le travail accompli, et des recommandations envisagées et des perspectives.

CHAPITRE 1 :
CONTEXTE GÉNÉRAL,
PROBLÉMATIQUE, OBJECTIFS
ET METHODOLOGIE

L'objectif de ce chapitre est de définir le cadre industriel dans lequel nous sommes intervenus. Après avoir présenté l'entreprise SONATRACH et plus particulièrement sa branche production, nous nous intéresserons à la fonction de séparation d'hydrocarbure car elle représente une partie essentielle de la production. La partie suivante concernera la représentation du ballon de séparation haute pression, dont examinerons le fonctionnement ainsi que ses équipements principaux.

1.1. Présentation de SONATRACH DP

SONATRACH est la compagnie nationale algérienne pour la recherche, la production, le transport par canalisation, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures dérivés. Elle intervient également dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement d'eau de mer. Elle exerce ses métiers en Algérie et partout dans le monde où des opportunités se présentent.

SONATRACH est la première entreprise du continent africain et occupe une place de premier plan au niveau mondial. Sa production globale (tous produits confondus) est de 230 millions de tonne en 2006. Ses activités constituent environ 30% du PNB de l'Algérie. Elle emploie 120.000 personnes dans l'ensemble du Groupe.

SONATRACH est divisé en quatre Activités : Amont, Aval, Transport par canalisation et Commercialisation. La **Division Production** (DP) fait partie intégrante de l'Activité amont. Les sites de production de la Division Production sont répartis en trois lots en fonction de leur situation géographique. Le lot 1 regroupe les directions régionales de Hassi Messaoud (Unités satellites, Borma, Mesdar), Hamra, Rhourde Nouss et Gassi Touil. Le lot 2 regroupe les directions régionales de Hassi R'Mel (Centre, Nord, Sud, Djebel Bissa, Oued Noumer et Ait Kheir) et de Haoud Berkaoui (Guellala et Benkehla). Le lot 3 regroupe les directions régionales d'In Amenas, Stah (Alar, Stah, Mereksen), Tin Fouye Tabankort et Ohanet.

1.2. Présentation du site de TIN FOUYE TABANKORT

La direction régionale de Tin Fouye Tabankort (TFT), fait partie de la division production de l'entreprise SONATRACH. Elle est chargée de la production du pétrole des champs de TFT et de la gestion de toutes les divisions qui lui sont rattachées.

La région de Tin Fouye Tabankort est nichée dans la partie occidentale du bassin d'illizi, à 284 kilomètres d'In Amenas, entre le croisement de deux oueds (Tin Fouye) et d'un puits artésien (Tabankort).

La Direction Régionale englobe neuf gisements plus ou moins importants et différentes unités de traitements : des centres de séparation d'huile, des centres de collecte d'huile, des centres de production et d'injection d'eau (pour le maintien de pression), une unité de traitement des gaz associés et des unités de compression de gaz (Gaz lift).

Implantation du champ

La région de Tin Fouye Tabankort est située au sud-est de l'Algérie et englobe neuf gisements plus ou moins importants répartis sur un vaste territoire. Ces gisements couvrent, au total, plus de 500 km².

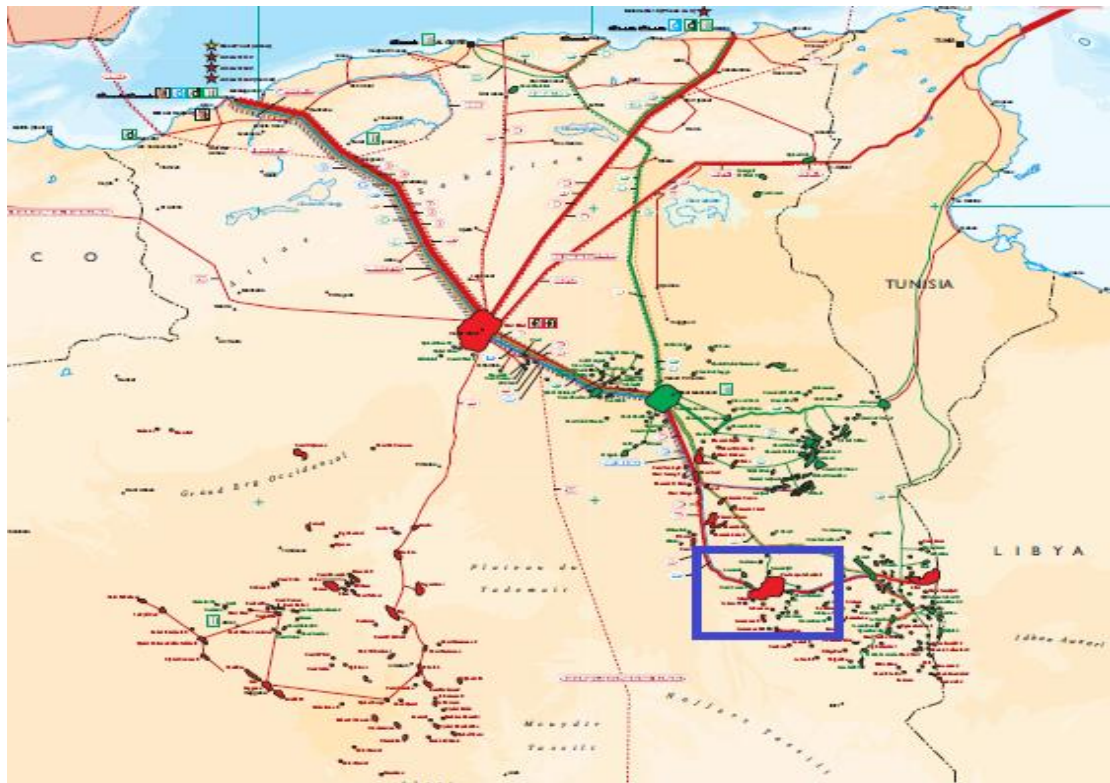


Figure 1-1 : Situation du champ Tin Fouye Tabankort [1].

1.3. Description des procédés utilisés

La région de Tin Fouye Tabankort est connue par sa capacité de production d'huile, la positionnant 2eme région productrice d'huile après la région de Hassi Messaoud. Elle produit en moyenne :

- 10 700 Tonnes d'huile /jour.
- 18 500 m³ d'eau / jour.
- 3 500 000 m³ de gaz/ jour.

Plusieurs techniques de récupération d'huile sont utilisées dans la région de Tin Fouye Tabankort : récupération primaire (puits éruptif) et récupération secondaire (gaz- lift, maintien de pression par injection d'eau et pompage électrique).

La production de l'huile, du gaz et de l'eau est constituée des groupes d'unités suivants:

- Dix-Neuf centres de séparation et/ou de stockage d'huile, récoltant l'huile brute des puits et effectuant la séparation de l'huile, du gaz et de l'eau. Certaines de ces unités assurent le stockage de l'huile avant son expédition.
- Une usine de traitement et de compression des gaz associés, récoltant, comprimant et purifiant le gaz produit dans les différentes unités.
- Quatre stations de compression, comprimant une partie du gaz produit pour le réinjecter dans les puits producteurs d'huile et assurer la production de ces puits.
- Divers stations de production et d'injection d'eau dans des puits producteurs d'huile pour assurer la production de ces puits.

1.3.2. Unités de séparation d'huile

La séparation de l'huile, de l'eau et du gaz s'effectue au sein des nombreux Centres de Séparation réunis sur le site de Tin Fouye Tabankort. L'huile dans les Centres de Séparation est envoyée vers les Centres Principaux de Collecte et de Stockage puis est expédiée. Le schéma ci-après représente les transferts d'huile stabilisée entre les Centres Principaux de Collecte et les Centres de Séparation.

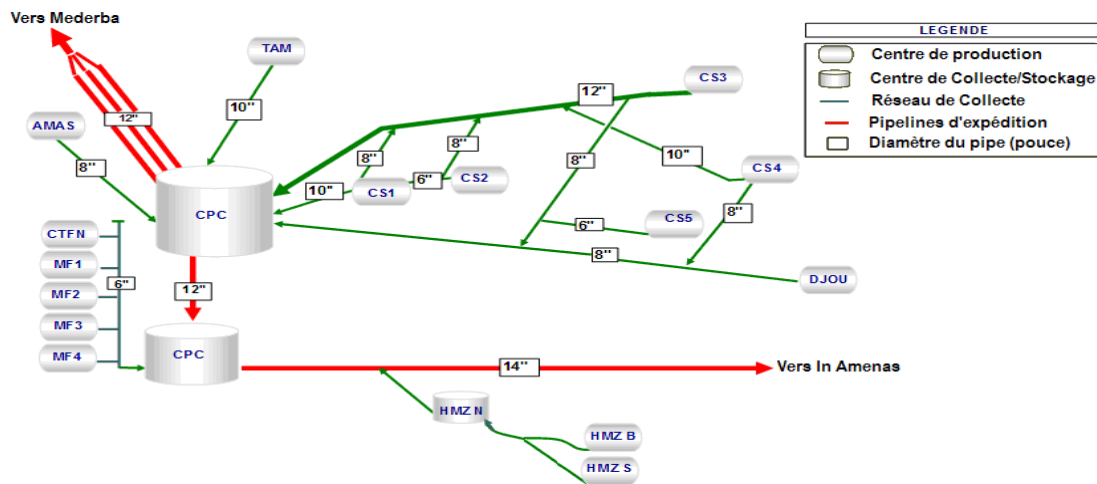


Figure 1-2 : Plan de circulation de l'huile [1].

1.3.3. Les Centres de Séparation

Tous les Centres de Séparation sont similaires. Les équipements principaux d'un centre de séparation sont :

Manifold arrivée des puits : Il reçoit les pipelines de production venant des têtes de puits d'huile et les deux manifolds intermédiaires.

Séparateurs : Ces séparateurs triphasiques constituent les deux batteries de séparation (sélective et production); les séparateurs HP et les séparateurs BP. La batterie test est constituée de deux séparateurs HP et BP.

Chambres de mesure : pour test des puits.

Scrubbers : Utilisés pour élimination des entraînements d'huile.

Réchauffeur : Qui permet de chauffer le gaz instrument et l'alimentation des pompes durant la période hivernale.

Pompes Burton d'expédition : de type volumétrique et fonctionnant en parallèle.

Bacs tampons : pour le stockage tampon de l'huile.

Le bournier : C'est un espace réservé pour les rejets d'eau décantée, il peut être d'une forme rectangulaire, carré ou circulaire avec des superficies variables, en fonction du débit d'eau rejetée.

Le bournier est généralement construit soit en excavation (terrain non rocailleux) ou en surélévation (dans le cas d'un terrain rocheux : c'est le cas de TFT).

Le schéma ci-après représente un Centre de Séparation d'huile.

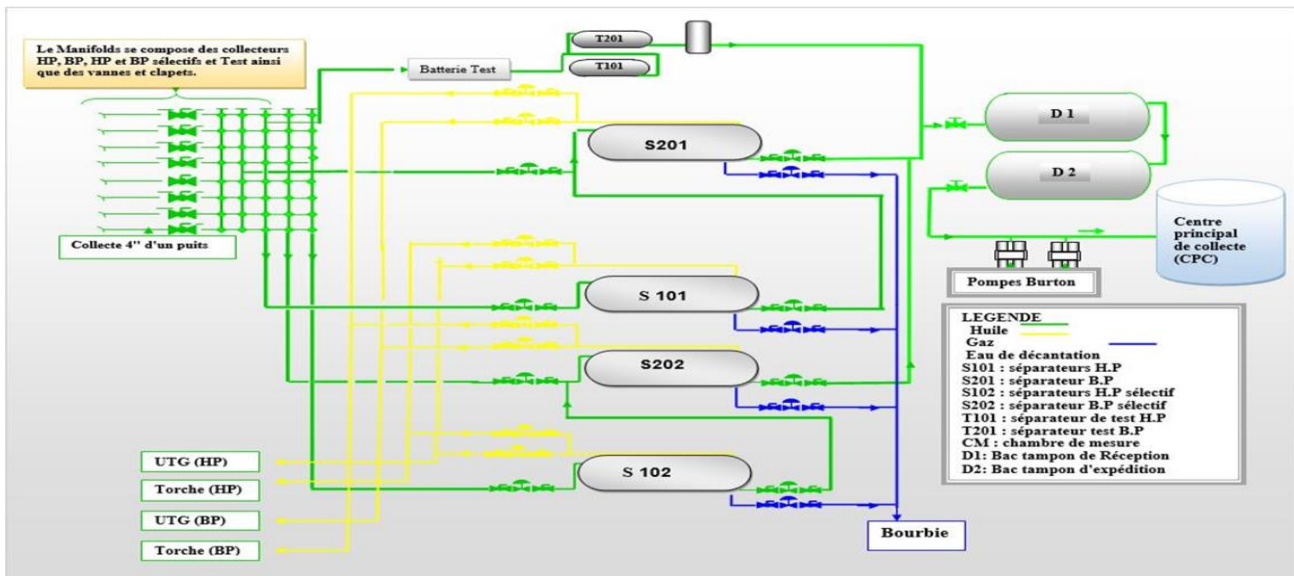


Figure 1-3 : Centre de Séparation d'huile [1].

L'huile brute arrive dans le manifold d'entrée à travers lequel elle est dirigée vers les séparateurs en fonction de sa pression. Le brut à HP est envoyé vers le ballon de séparation haute pression. Ce ballon de séparation triphasique sépare la phase aqueuse, l'huile et le gaz. L'eau, avec un faible pourcentage d'huile, est envoyée vers le bourbier du centre de séparation.

Le gaz récupéré est divisé en différents flux. Une partie du gaz est utilisée comme utilité après avoir été filtré. En fonction des centres, un certain pourcentage du gaz est envoyé à l'Unité de Traitement de Gaz Associé (UTGA), le reste étant dirigé vers les torches. L'huile est dirigée vers le ballon de séparation BP, où elle subit le même processus que dans le ballon HP. L'huile stabilisée est envoyée dans les bacs réception et d'expédition. L'huile stabilisée est ensuite envoyée vers les Centres de Collecte par un système de pompes Burton.

1.3.4. La fonction séparation

L'opération de séparation consiste à séparer un effluent complexe en une phase gazeuse et une ou plusieurs phases liquides, par l'utilisation d'une des trois principes physiques (effet de gravité, force centrifuge, inertie).

1.3.4.1. Les séparateurs

Nous trouvons le ballon de séparation dans toutes les unités de traitement d'huile, pour le site TFT, le ballon assure la séparation de l'huile, du gaz et de l'eau par gravité.

Un séparateur est une enceinte sous pression incorporée à un circuit ou elle provoque un ralentissement de la vitesse d'écoulement de l'effluent, il se présente comme un réservoir cylindrique disposé soit verticalement, soit horizontalement.

Selon l'usage auquel on les destine, on distingue :

- Les séparateurs de détente utilisés pour le traitement des gaz à condensat.
- Les séparateurs gaz / huile / eau.
- Les scrubbers et filtres.

1.3.4.2. Constitutions d'un séparateur

Un séparateur quel que soit le modèle, (Horizontal, vertical, sphérique) comprendra les éléments suivants:

- Une entrée des effluents dans la partie haute de la capacité.
- Une série de chicanes dans la partie basse pour supprimer les vagues et les agitations de la phase liquide.
- Une sortie gaz dans la partie supérieure de la capacité, opposée à l'entrée des effluents, pourvue également de chicanes pour éviter les entraînements de liquides avec la phase gazeuse.

1.3.4.3. Equipement d'un séparateur

Soupape de sécurité : C'est une soupape tarée à la pression maximale du séparateur et fonctionnant en tout au rien. Elle est reliée à la torche par une conduite munie d'un clapet anti-retour.

Plaque d'éclatement : C'est un disque servant à assurer la sécurité du séparateur sous pression en cas de défaillance de la soupape de sécurité.

Les organes de contrôle :

- Manomètres : 1,5 à 2 fois la pression de travail du séparateur.
- Thermomètres sur la sortie huile et gaz.
- Capteur de pression.
- Capteur de niveau.

Les Organes de commande :

- Vannes de sortie huile, eau et gaz.
- Élément premières de mesure (flotteurs).

Les Organes d'entretien :

- Orifice d'entretien.
- Les purges de vidange.

Le schéma ci-après représente un exemple d'un ballon de séparation

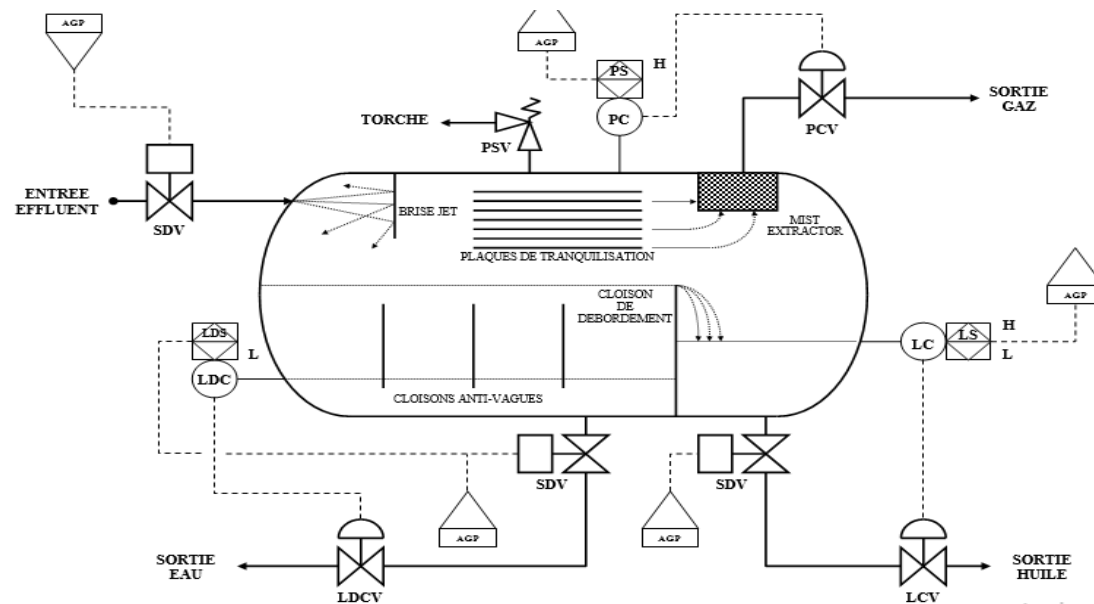


Figure 1-4 : Schéma d'un séparateur [1]

Problématique

Le développement de l'industrie pétrochimique a provoqué une augmentation du nombre d'accidents, à un point tel qu'aujourd'hui nous ne devrions plus les ignorer si nous voulons garantir la sécurité de nos systèmes, tout en respectant les objectifs de production.

SONATRACH notamment dans sa branche de production du pétrole et du gaz, met en œuvre des procédés industriels à risques, à partir de produits souvent très inflammables et dans des conditions de température et de pression inhabituelles. Comme acteur incontournable de la production des hydrocarbures en Algérie et dans le monde, l'entreprise a un rang à tenir qui dépend en partie de sa capacité à maîtriser ses risques industriels.

Le ballon de séparation haute pression représente un des équipements les plus critiques sur le site Tin Fouye Tabankort, car il contient non seulement des produits inflammables mais aussi de la haute pression ce qui augmente son niveau de criticité.

Pour réduire le niveau de criticité de ce ballon, plusieurs barrières de sécurité sont mises en place, ces barrières doivent être fortement efficaces afin de réduire le niveau de risque existant, à un niveau jugé tolérable et à le maintenir dans le temps.

Dans cette optique, nous avons jugé utile de développer un sujet traitant la performance des barrières de sécurité dans le cadre de la maîtrise des risques industriels. Pour ce faire, les questions que nous devrions poser sont : quelle démarche allons-nous appliquer pour étudier la défaillance des barrières de sécurité et quels sont les phénomènes dangereux qui découlent de cette défaillance ?

Objectifs

L'objectif de ce travail est de fournir une méthodologie pour étudier la défaillance des barrières de sécurité d'un ballon de séparation haute pression situé au centre de séparation N°1 du site TFT, et de déterminer les phénomènes dangereux résultants de cette défaillance ainsi que de modéliser les effets du phénomène dangereux le plus fréquent.

Méthodologie

Pour donner une réponse à notre problématique et pour atteindre les objectifs déjà soulignés, nous allons représenter une méthodologie qui résume le chemin suivi pour effectuer notre travail.

La figure 1-5 résume la démarche générale suivie :

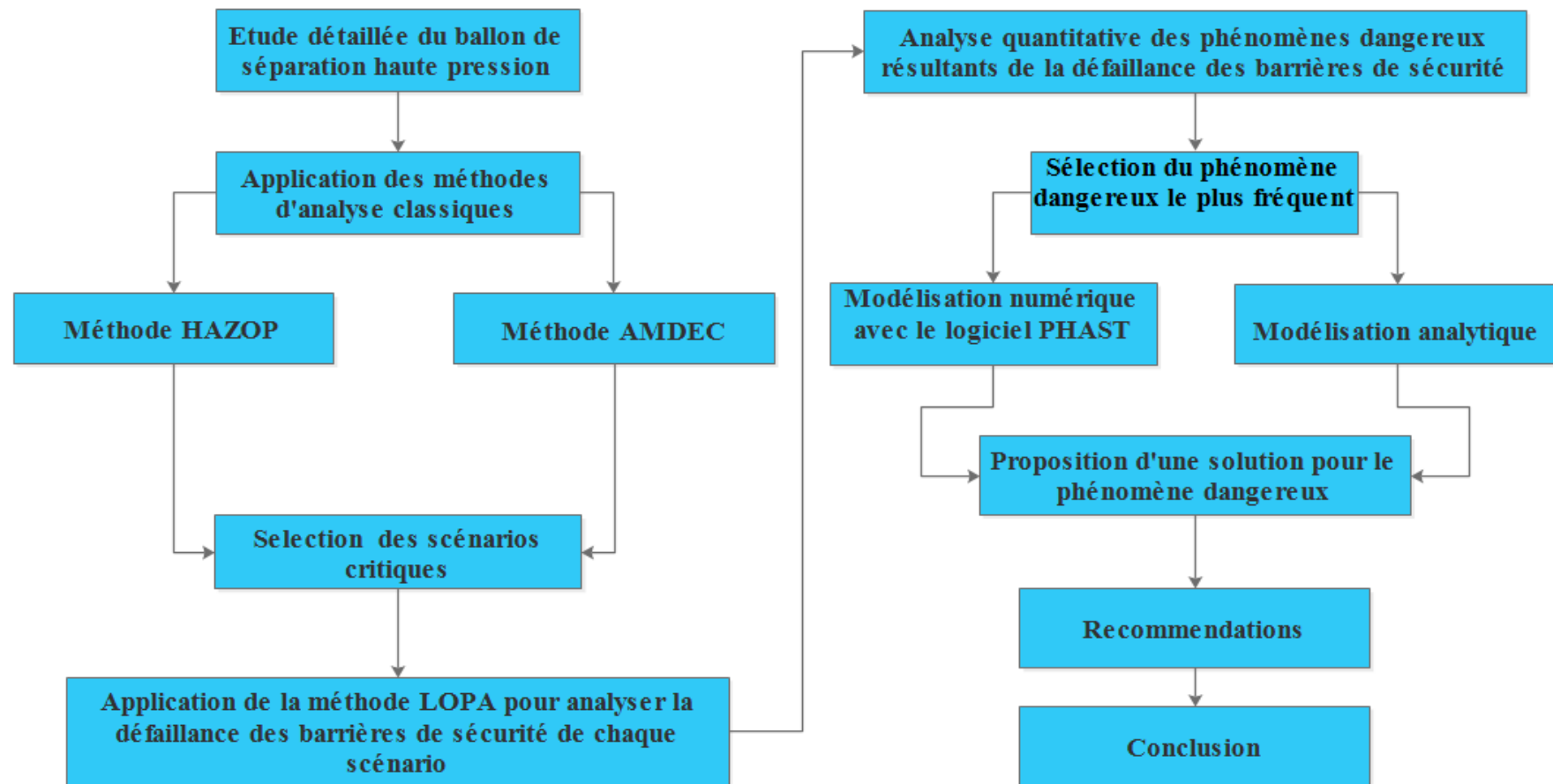


Figure 1-5: Méthodologie du travail

CHAPITRE 2 :
ANALYSE DES RISQUES

L'objectif de ce chapitre est de définir le cadre scientifique dans lequel nous avons ancré notre travail. Nous commencerons par établir quelques notions de vocabulaire relatives au domaine de la maîtrise des risques industriels. Nous présenterons ensuite les méthodes classiques (HAZOP/AMDEC) qui répondent dans un premier temps à une démarche qualitative ainsi la méthode intégrée (LOPA) qui répond à une démarche semi-quantitative.

2.1. Principaux concepts et définitions

2.1.1. Notion de danger

Le danger désigne une nuisance potentielle pouvant porter atteinte aux biens (détérioration ou destruction), à l'environnement, ou aux personnes. Les dangers peuvent avoir une incidence directe sur les personnes, par des blessures physiques ou des troubles de la santé, ou indirecte, au travers de dégâts subis par les biens ou l'environnement [2].

Selon la norme **OHSAS 18001** [3]: "un danger est une source ou une situation pouvant nuire par blessure ou atteinte à la santé, dommage à la propriété et à l'environnement du lieu de travail, ou une combinaison de ces éléments ". Les dangers liés à un système sont inhérents au fonctionnement ou au dysfonctionnement du système, soit extérieur au système.

Selon **Mazouni** [4] : le danger se définit comme une propriété intrinsèque inhérente à un type d'entité ou un type d'événement qui a la potentialité de provoquer un dommage.

2.1.2. Notion de risque

D'une façon générale, un risque peut être défini comme la « probabilité d'un danger menaçant ou portant atteinte à la vie et, plus globalement, au cadre d'existence d'un individu ou d'un collectif » [5].

Un risque est la combinaison de la probabilité et de la (des) conséquence(s) de la survenue d'un événement dangereux spécifié. [6]

« Le risque constitue aujourd'hui un thème central dans nos sociétés » [7], car il représente une des grandes contradictions de la société postindustrielle : à une qualité de vie jamais atteinte dans l'histoire de l'humanité, une augmentation des pertes et des dommages provoqués par des phénomènes naturels extrêmes est observée.

2.1.3. Risque industriel majeur

Un risque industriel majeur est un événement accidentel se produisant sur un site industriel et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les populations avoisinantes les biens et/ou l'environnement [8]. Le risque industriel concerne essentiellement les sites industriels chimiques et/ou pétrochimiques.

Les événements dangereux susceptibles de se produire et avoir des effets importants pour les personnes et les biens sont l'incendie, l'explosion et l'émission de produits toxiques. Ces événements sont souvent liés à une perte de confinement d'une matière dangereuse [9]. Si un liquide inflammable se déverse sur le sol, une flaque inflammable se forme, qui peut prendre feu au contact d'une source d'énergie. La fuite d'un gaz conduit à sa dispersion dans l'atmosphère. Si le gaz est plus léger que l'air atmosphérique, il se répand dans l'atmosphère en se dissipant. Dans le cas contraire, il s'accumule à proximité du sol. Si le gaz est inflammable, son mélange turbulent avec l'air atmosphérique conduit à la formation d'un nuage inflammable voire explosif. Si le gaz est toxique, il se trouvera en concentration plus ou moins importante dans différents lieux [10].

Les effets de ces événements dangereux sont thermiques, mécaniques et toxiques. Les effets thermiques résultent des incendies et explosions. La transmission de chaleur s'effectue par rayonnement, par conduction et par convection, et provoque des brûlures plus ou moins graves. Les effets mécaniques comportent la surpression qui se produit suite à une onde de choc provoquée par une explosion [9].

La surpression provoque des blessures primaires à tout organe du corps humain qui contient de l'air (poumons, oreilles, organes abdominaux). Des lésions secondaires résultent des fragments de l'explosion qui sont projetés sur les personnes ou les biens, alors que les traumatismes tertiaires sont la conséquence de la chute de la personne à cause de l'onde de choc [11].

Enfin, la gravité des conséquences d'une exposition à une matière toxique dépend du niveau de concentration de la matière et de la durée d'exposition [12].

2.1.4. Barrière de sécurité

Ensemble d'éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité. On distingue parfois :

- Les mesures (ou barrières) de prévention : mesures visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, ces mesures se situent en amont de l'événement redouté central.
- Les mesures (ou barrières) de limitation : ces mesures se situent à l'aval de l'événement redouté central. Ces mesures visent à réduire la probabilité du phénomène dangereux en absence de mesures et à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux. On distingue parfois aussi les mesures (ou barrières) de protection : mesure visant à limiter les conséquences sur les cibles potentielles par diminution de la vulnérabilité. [13].

Rôle des barrières dans la réduction du risque

Il est important au cours de l'évaluation des fréquences d'occurrence des causes de bien identifier si la barrière (technique ou organisationnelle) associée à la cause n'a pas déjà été prise en compte dans la fréquence de la cause : si la barrière est déjà prise en compte, elle ne doit pas être prise en compte une deuxième fois en tant que barrière. Par exemple, si le risque de départ de feu est évalué en tenant compte de l'interdiction de fumer mise en place sur une zone donnée (retour d'expérience tenant compte de cette interdiction), on ne tiendra pas compte de l'interdiction de fumer en tant que barrière supplémentaire [13].

2.2. Phénomènes dangereux

Un phénomène dangereux est la cause qui est capable de provoquer une lésion physique ou une atteinte à la santé. Une activité industrielle peut être à l'origine de différents phénomènes pouvant avoir quatre types d'effets sur les personnes et les structures, les effets sont :

- Thermiques.
- Toxiques.
- Surpression.
- Projection (liés au précédent).

2.2.1. Feu de flaque

Le terme "feu de flaque " ou "feu de nappe " décrit un incendie résultant de la combustion d'une nappe de combustible liquide. Ce phénomène implique principalement la surface de la nappe en contact avec l'air. Les dimensions et la géométrie de la nappe peuvent être tout à fait variables. Il convient ainsi de distinguer:

- Les feux de réservoir : le feu est alors contenu dans une enceinte dont la surface est déterminée par les dimensions du réservoir.
- Les feux de cuvette (de rétention) : l'extension de la nappe est limitée par une cuvette de rétention dont le dimensionnement est imposé notamment par les exigences réglementaires applicables au stockage,
- Les feux de flaque libre, en l'absence de moyens physiques prévus pour limiter l'extension de la nappe ou lorsque la cuvette de rétention n'est pas complètement envahie, l'extension de la nappe est alors principalement fonction des caractéristiques du terrain, des conditions météorologiques et des conditions de rejet du combustible [14].

2.2.2. Boule de feu

La boule de feu est un phénomène rapide qui se produit lors de la rupture d'une canalisation ou d'un ballon (cuve sous pression, citerne de camion, wagon) remplie d'un gaz sous pression avec une ignition immédiate. Il se produit alors une boule de feu qui ne dure que quelques secondes durant lesquelles en fonction de la masse de gaz relâchée, les dégâts dus aux radiations importantes se propagent loin de la source et peuvent être considérables [14].

2.2.3. VCE

Un VCE (*Vapour Cloud Explosion*) est une explosion de gaz à l'air libre .Dans le cas d'un gaz inflammable, cette explosion produit des effets thermiques et des effets de pression.

Un VCE comprend généralement les étapes suivantes :

- Rejet dans l'atmosphère.
- Mélange avec l'oxygène de l'air pour former un volume inflammable.

- De manière concomitante, dilution et transport du nuage de gaz dont une partie du volume reste inflammable.
- Inflammation de ce nuage.
- Propagation d'un front de flamme des parties inflammables du nuage ; ce front de flamme, associé à l'expansion des gaz brûlés, agit à la manière d'un piston sur les gaz frais environnant et peut être à l'origine de la formation d'une onde de pression aérienne, appelée déflagration, si sa vitesse de propagation est suffisante.
- Enfin, le cas échéant, mélange avec l'air et combustion des parties du nuage qui étaient initialement trop riches en combustible pour être inflammables [15].

2.2.4. Feux chalumeau

Dans l'environnement industriel, les feux chalumeau appelés également feux torche peuvent survenir suite à des fuites accidentelles de fluides inflammables, ou à des évacuations intentionnelles de sous-produits par l'intermédiaire de torchères. Le système de torchère est très couramment utilisé dans l'industrie pétrolière pour évacuer sans danger d'importantes quantités de vapeurs inflammables superflues.

Les torchères sont en général des feux torche bien contrôlés par l'industriel et qui représentent donc que peu de dangers pour l'environnement. En revanche, les feux torche qui sont le résultat de l'inflammation de fuites accidentelles de gaz ou de liquide peuvent être très dévastateurs en milieu industriel. Les feux torche accidentels proviennent en général de fuites à un raccord ou à une vanne, de parois perforées ou de ruptures de canalisation. Ces fuites produisent des dards enflammés pouvant occasionner de graves avaries sur le reste de l'installation et donc conduire à la propagation de l'incendie ou bien provoquer de nouveaux accidents [14].

2.2.5. Feu flash

Le feu de flash, également appelé feu de nuage résulte de la combustion non explosive d'un nuage de gaz ou de vapeurs inflammables avec l'air en milieu non confiné. En général, la durée d'un tel feu ne dépasse pas la dizaine de secondes. Les effets d'un feu flash sont donc limités [14].

2.3. Gestion des risques

La gestion du risque est l'ensemble des activités coordonnées en vue de réduire le risque à un niveau jugé tolérable ou acceptable [16].

De manière classique, la gestion du risque est un processus itératif qui inclut notamment les phases suivantes :

- Appréciation du risque (analyse et évaluation du risque),
- Acceptation du risque,
- Maîtrise ou réduction du risque

L'enchaînement de ces différentes phases est décrit de manière schématique dans la Figure 2-1 ci-dessous.

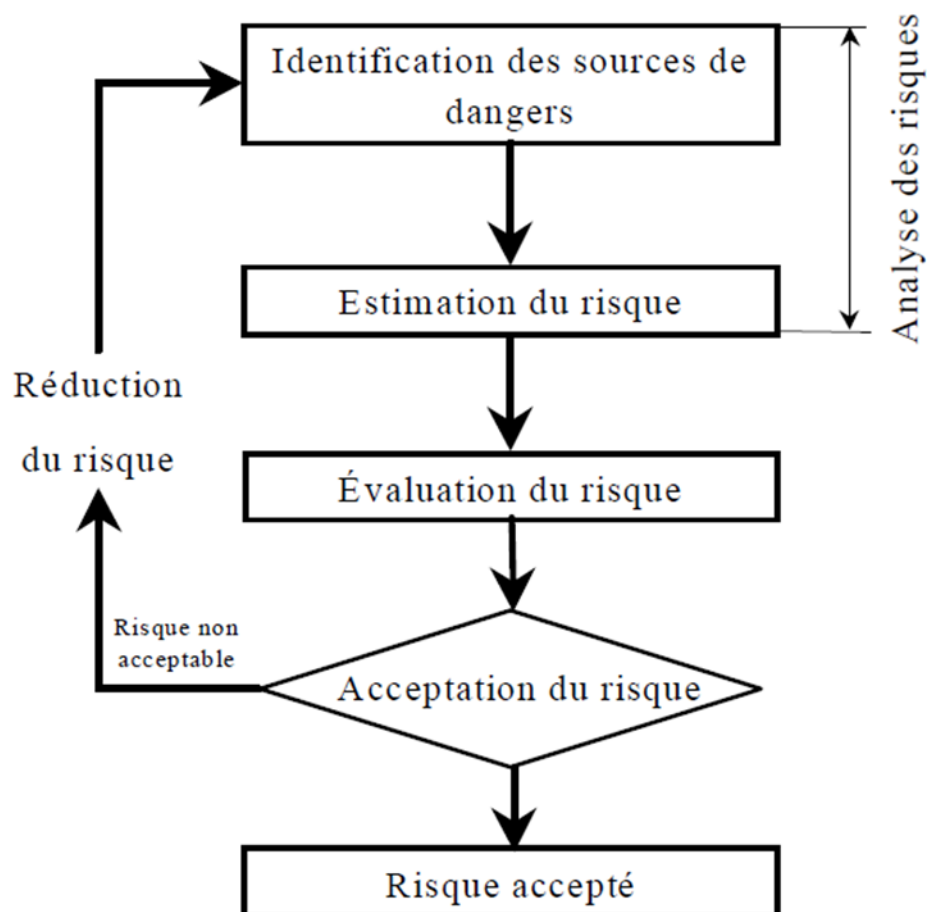


Figure 2-1: Processus de la gestion du risque [16]

2.5. Analyse des risques

L'analyse du risque est définie comme « l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque » [16].

L'analyse des risques vise tout d'abord à identifier les sources de dangers et les situations associées qui peuvent conduire à des dommages sur les personnes, l'environnement ou les biens.

Dans un second temps, l'analyse des risques permet de mettre en lumière les barrières de sécurité existante en vue de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrières de prévention) ou d'en limiter les conséquences (barrières de protection).

Consécutivement à cette identification, il s'agit d'estimer les risques en vue de hiérarchiser les risques identifiés au cours de l'analyse et de pouvoir comparer ultérieurement ce niveau de risque à un niveau jugé acceptable.

Son estimation peut être effectuée de manière semi-quantitative à partir :

- D'un niveau de probabilité que le dommage survienne,
- D'un niveau de gravité de ce dommage.

La Figure 2-2 représente une démarche d'analyse des risques :

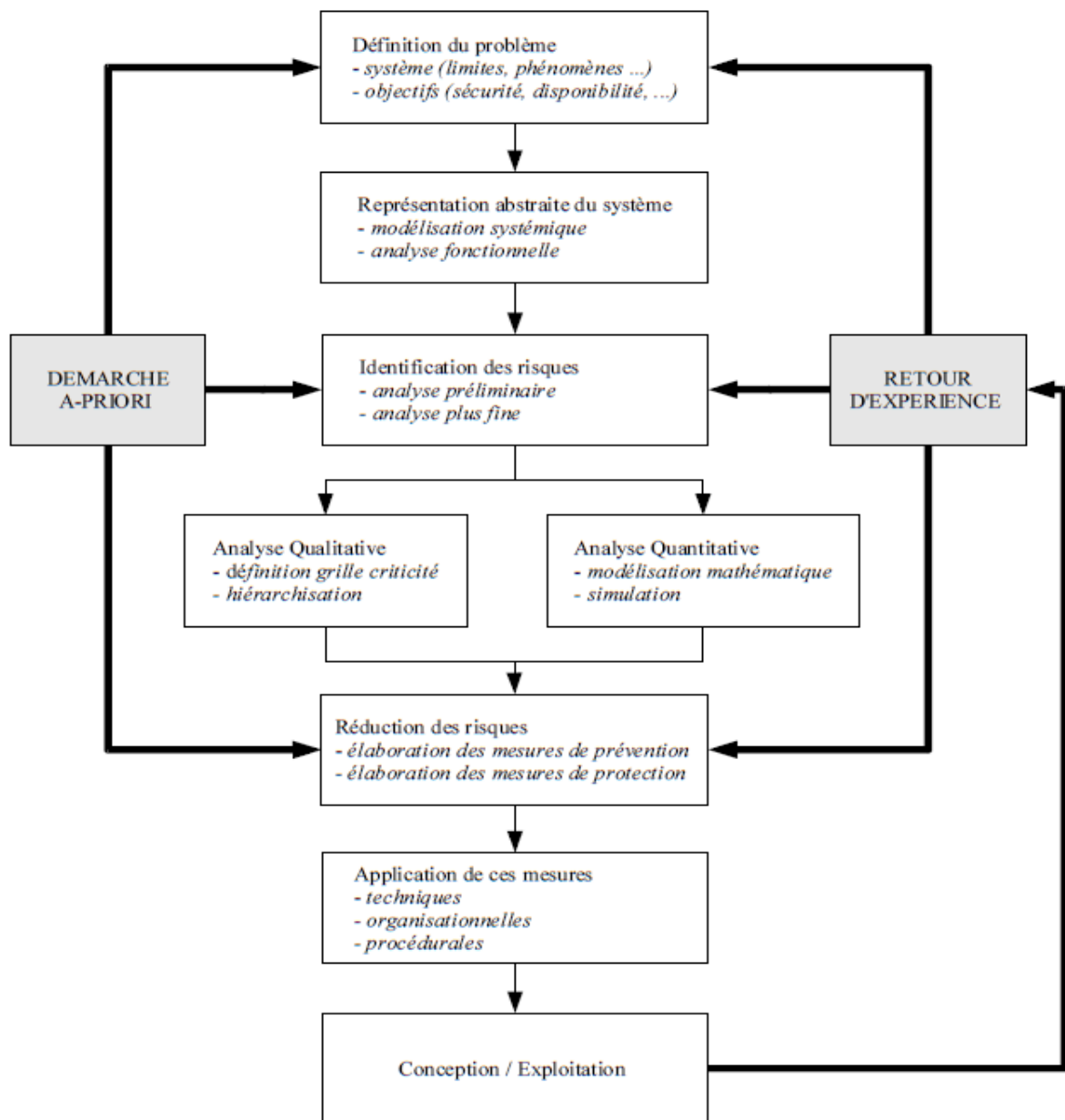


Figure 2-2 : Démarche d'analyse des risques [17]

2.5. Méthodes d'analyse de risque

2.5.1 Méthodes classiques

L'identification de l'ensemble des relations entre les causes, les dégradations et les effets, de nombreuses méthodes est basée sur les connaissances expertes. Nous retiendrons essentiellement l'Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Criticités (AMDEC) et l'HAZard and OPerability study (HAZOP) qui constituent réellement des

méthodes synthétiques accompagnées de règles d'analyse se basant sur une description du système.

- **Méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets et Criticités)**

L'Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets et Criticités (AMDEC) (Norme CEI 1985) [2], représente une méthode d'analyse inductive et qualitative étudiant les défaillances d'un système en s'aidant d'une liste quasi-exhaustive de modes de défaillances génériques.

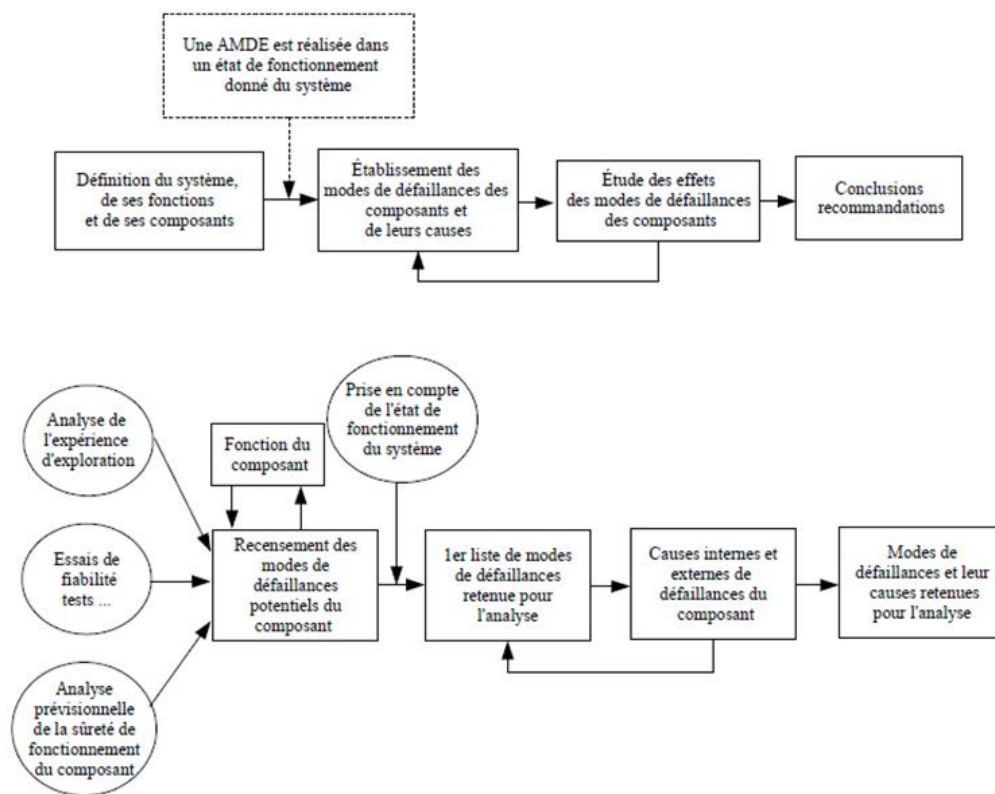


Figure 2-3 : Méthode de réalisation d'une AMDEC [18]

L'AMDEC a pour objectif d'examiner comment chaque entité d'une installation peut tomber en panne. On définit les notions de modes de défaillances, de causes de défaillances et d'effets d'une défaillance.

Principe

L'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets repose notamment sur les concepts de :

- Défaillance, soit la cessation de l'aptitude d'un élément ou d'un système à accomplir une fonction requise.
- Mode de défaillance, soit l'effet par lequel une défaillance est observée sur un élément du système.
- Cause de défaillance, soit les évènements qui conduisent aux modes de défaillances.
- Effet d'un mode de défaillance, soit les conséquences associées à la perte de l'aptitude d'un élément à remplir une fonction requise.

L'AMDEC est une méthode inductive d'analyse qui permet :

- D'évaluer les effets et la séquence d'évènements provoqués par chaque mode de défaillance des composants d'un système sur les diverses fonctions de ce système.
- Déterminer l'importance de chaque mode de défaillance sur le fonctionnement normal du système et en évaluer l'impact sur la fiabilité, la sécurité du système considéré.
- Hiérarchiser les modes de défaillances connus suivant la facilité que l'on a à les détecter et les traiter.

Déroulement

De manière très schématique, une AMDEC se déroule sous la forme suivante [18]:

1. Dans un premier temps, choisir un élément ou composant du système.
2. Retenir un état de fonctionnement (fonctionnement normal, arrêt...).
3. Pour cet élément ou composant et pour cet état, retenir un premier mode de défaillance.
4. Identifier les causes de ce mode de défaillance ainsi que ses conséquences tant au niveau du voisinage du composant que sur tout le système.
5. Examiner les moyens permettant de détecter le mode de défaillance d'une part, et ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets.
6. Procéder à l'évaluation de la criticité de ce mode de défaillance en termes de probabilité et de gravité.
7. Prévoir des mesures ou moyens supplémentaires si l'évaluation du risque en montre la nécessité.

8. Vérifier que le couple (Probabilité, Gravité) peut être jugé comme acceptable.
9. Envisager un nouveau mode de défaillance et reprendre l'analyse au point 4).
10. Lorsque tous les modes de défaillances ont été examinés, envisager un nouvel état de fonctionnement et reprendre l'analyse au point 3).
11. Lorsque tous les états de fonctionnement ont été considérés, choisir un nouvel élément ou composant du système et reprendre l'analyse au point 2).

Dans les faits, il est intéressant de se doter de tableaux tant en qualité de support pour mener la réflexion que pour la présentation des résultats. Un exemple de tableau est fourni ci-dessous.

Tableau 2-1 : Exemple d'un tableau de type AMDEC [18]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Equipement Repère	Fonctions, états	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effet local	Effet final	Moyens de détection	Dispositifs de Remplacements	P	G	Remarques

- Equipement (colonne 1) :

Concrètement, il s'agit de passer en revue chaque équipement ou composant identifié lors de la description fonctionnelle.

Il est généralement utile de repérer l'équipement considéré à partir des données fournies dans des diagrammes ou autres plans.

- Fonctions et états (colonne 2) :

Pour chacun des équipements, il s'agit de lister ses fonctions et états de fonctionnements. Ces fonctions et états sont normalement identifiés au cours de la description fonctionnelle.

Afin de mener l'analyse de la manière la plus complète possible, il est indispensable de considérer l'ensemble des états susceptibles de survenir au cours de l'exploitation (ex. fonctionnement normal, arrêt, démarrage, *stand-by*...)

- Modes de défaillance (colonne 3) :

Pour chaque équipement et en fonction de l'état de fonctionnement, il faut envisager de manière systématique les modes de défaillances possibles (Colonne3).

La définition des modes possibles de défaillance pour un équipement peut être réalisée à partir du retour d'expérience associé à l'exploitation d'équipements similaires, de tests ou essais.

Par ailleurs, les modes de défaillance considérés devront tenir compte :

- Des utilisations du système.
- Des caractéristiques de l'équipement considéré.
- Du mode de fonctionnement.
- Des spécifications relatives au fonctionnement.
- Des délais fixés,
- De l'environnement.

Quel que soit le type d'équipement considéré, la liste suivante tirée de la norme

(CEI 60812 1985) facilite l'identification des modes de défaillance.

Tableau 2-2 : Modes de défaillance généraux [18]

1	Fonctionnement prématuré
2	Ne fonctionne pas au moment prévu
3	Ne s'arrête pas au moment prévu
4	Défaillance en fonctionnement

De plus, cette même norme propose une liste-guide de modes de défaillance génériques, qui permet d'aider le groupe de travail dans l'analyse. Cette liste est reprise ci-après. Elle présente une série de modes de défaillance génériques pouvant s'appliquer en théorie à tous les cas de figure envisageables. Néanmoins, elle pourra être utilement complétée en vue de tenir compte des spécificités du système étudié.

Tableau 2-3: Modes de défaillance génériques [18]

1	Défaillance structurelle (rupture)	18	Mise en marche erronée
2	Blocage physique ou coincement	19	Ne s'arrête pas
3	Vibrations	20	Ne démarre pas
4	Ne reste pas en position	21	Ne commute pas
5	Ne s'ouvre pas	22	Fonctionnement prématuré
6	Ne se ferme pas	23	Fonctionnement après le délai prévu (retard)
7	Défaillance en position ouverte	24	Entrée erronée (augmentation)
8	Défaillance en position fermée	25	Entrée erronée (diminution)
9	Fuite interne	26	Sortie erronée (augmentation)
10	Fuite externe	27	Sortie erronée (diminution)
11	Dépasse la limite supérieure tolérée	28	Perte de l'entrée
12	Est en dessous de la limite inférieure tolérée	29	Perte de la sortie
13	Fonctionnement intempestif	30	Court-circuit (électrique)
14	Fonctionnement intermittent	31	Circuit ouvert (électrique)
15	Fonctionnement irrégulier	32	Fuite (électrique)
16	Indication erronée	33	Autres conditions de défaillance exceptionnelles suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnements et les contraintes opérationnelles
17	Ecoulement réduit		

- Causes de défaillance (colonne 4) :

Pour chaque mode de défaillance, il faut identifier les causes potentielles conduisant à ce mode de défaillance. Un mode de défaillance peut résulter de plusieurs causes, qu'il convient donc d'inventorier et de numéroter pour plus de facilité.

La liste présentée dans le tableau précédent permet également de préciser des causes de défaillance dans la mesure où ces causes peuvent parfois s'apparenter à des modes de défaillance.

- Effets de la défaillance (colonnes 5 et 6) :

De la même façon qu'il s'agit d'identifier les causes potentielles de défaillance, d'examiner les conséquences de cette défaillance, au niveau du composant lui-même tout d'abord (colonne 5) puis au niveau du système global (colonne 6).

- Moyens de détection (colonne 7) :

Pour le mode de défaillance envisagé, il faut examiner et consigner les moyens prévus pour détecter ce mode de défaillance.

Dispositifs de remplacement (colonne 8) :

Toutes les dispositions prises, par exemple au niveau de la conception de l'installation, en vue de prévenir ou atténuer l'effet du mode de défaillance doivent alors être examinées.

Cette étape, dont les résultats sont consignés en colonne 8, vise d'une certaine façon à caractériser le comportement du système lorsqu'un de ses composants est affecté par un mode de défaillance.

Evaluation de la criticité (colonnes 9 et 10) :

Les colonnes 9 et 10 permettent de consigner les évaluations réalisées par le groupe de travail de la probabilité du mode de défaillance (P) et de la gravité associée à ses conséquences (G). Cette approche permet de mesurer l'influence des barrières de sécurité mises en place et de juger de la pertinence d'envisager de nouvelles barrières au regard du risque présenté.

Limites et avantages

L'AMDEC s'avère très efficace lorsqu'elle est mise en œuvre pour l'analyse de défaillances simples d'éléments conduisant à la défaillance globale du système. De par son caractère systématique, et sa maille d'étude généralement fine, elle constitue un outil précieux pour l'identification de défaillances potentielles et les moyens d'en limiter les effets ou d'en prévenir l'occurrence.

Comme elle consiste à examiner chaque mode de défaillance, ses causes et ses effets pour les différents états de fonctionnement du système, l'AMDEC permet d'identifier les modes communs de défaillances pouvant affecter le système étudié. Les modes communs de défaillances correspondent à des événements qui de par leur nature ou la dépendance de certains composants, provoquent simultanément des états de panne sur plusieurs composants du système. Les pertes d'utilités ou des agressions externes majeurs constituent généralement des modes communs de défaillance.

Dans le cas de systèmes particulièrement complexes comptant un grand nombre de composants, l'AMDEC peut être très difficile à mener et particulièrement fastidieuse compte tenu du volume important d'informations à traiter. Cette difficulté est décuplée lorsque le système considéré comporte de nombreux états de fonctionnement. [16].

- **Méthode HAZOP (*HAZard and OPerability study*)**

L'HAZOP est fondamentalement différente de l'AMDEC puisqu'elle se focalise non pas sur les composants mais sur les flux échangés entre les composants. En effet, la méthode étudie l'ensemble des déviations d'un flux en se basant sur des déviations types et analyse les causes et les effets de ces déviations sur le système [20]. Comme l'AMDEC, cette méthode est accompagnée d'une analyse structurelle pour recenser l'ensemble des flux du système.

Principe :

La méthode de type HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermo-hydrauliques pour lesquels il est primordial de maîtriser des paramètres comme la pression, la température, le débit...

Pour chaque partie constitutive du système examiné, la génération des dérives est effectuée de manière systématique par la conjonction :

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

Mot-clé + Paramètre = Dérive

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

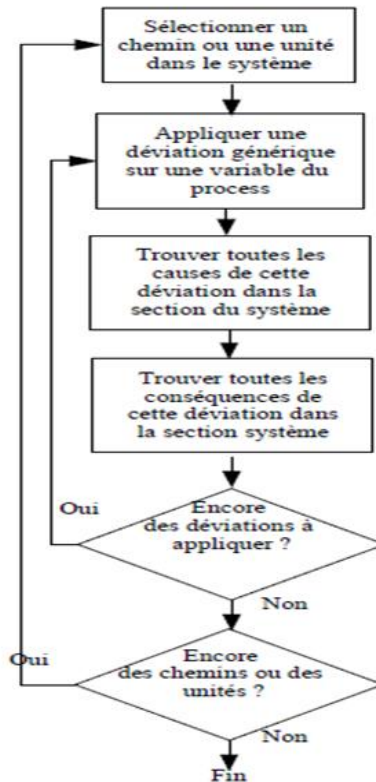


Figure 2-4 : Principe d'analyse HAZOP [20]

Déroulement

1. Dans un premier temps, choisir une ligne ou de la maille. Elle englobe généralement un équipement et ses connexions, l'ensemble réalisant une fonction dans le procédé identifiée au cours de la description fonctionnelle.
2. Choisir un paramètre de fonctionnement.
3. Retenir un mot-clé et générer une dérive.
4. Vérifier que la dérive est crédible. Si oui, passer au point 5, sinon revenir au point 3.
5. Identifier les causes et les conséquences potentielles de cette dérive.
6. Examiner les moyens visant à détecter cette dérive ainsi que ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets.
7. Proposer, le cas échéant, des recommandations et améliorations.
8. Retenir un nouveau mot-clé pour le même paramètre et reprendre l'analyse au point 3).
9. Lorsque tous les mots-clés ont été considérés, retenir un nouveau paramètre et reprendre l'analyse au point 2).

10. Lorsque toutes les phases de fonctionnement ont été envisagées, retenir une nouvelle ligne et reprendre l'analyse au point 1).

Tout comme pour quelques autres méthodes d'analyse de risque (APR, AMDEC ...) un tableau de synthèse se révèle souvent utile pour guider la réflexion et collecter les résultats des discussions menées au sein du groupe de travail.

Tableau 2-4 : Exemple de tableau pour l'HAZOP [20]

Date :								
Ligne ou équipement :								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
N°	Mot clé	Paramètre	Causes	Conséquences	Détection	Sécurités existantes	Propositions d'amélioration	Observations

- Définition des mots-clés (colonne 2) :

Les mots-clés, accolés aux paramètres importants pour le procédé, permettent de générer de manière systématique les dérives à considérer.

Tableau 2-5 : Exemples de mots-clés pour l'HAZOP [20]

<i>Type de déviation</i>	<i>Mot-Guide</i>	<i>Exemples d'interprétation</i>
Négative	NE PAS FAIRE	Aucune partie de l'intention n'est remplie
Modification quantitative	PLUS	Augmentation quantitative
	MOINS	Diminution quantitative
Modification qualitative	EN PLUS DE	Présence d'impuretés – Exécution simultanée d'une autre opération/étape
	PARTIE DE	Une partie seulement de l'intention est réalisée
Substitution	INVERSE	S'applique à l'inversion de l'écoulement dans les canalisations ou à l'inversion des réactions chimiques
	AUTRE QUE	Un résultat différent de l'intention originale est obtenu
Temps	PLUS TOT	Un événement se produit avant l'heure prévue
	PLUS TARD	Un événement se produit après l'heure prévue
Ordre séquence	AVANT	Un événement se produit trop tôt dans une séquence
	APRES	Un événement se produit trop tard dans une séquence

- Définition des paramètres (colonne 3) :

Les paramètres auxquels sont accolés les mots-clés dépendent bien sûr du système considéré. Généralement, l'ensemble des paramètres pouvant avoir une incidence sur la sécurité de l'installation doit être sélectionné. De manière fréquente, les paramètres sur lesquels porte l'analyse sont : la température, la pression, le débit, le niveauetc.

La combinaison de ces paramètres avec les mots clé précédemment définis permet donc de générer des dérives de ces paramètres.

- Causes et conséquences de la dérive (colonnes 4 et 5) :

Une fois la dérive aperçue, il faut identifier les causes de cette dérive, puis les conséquences potentielles de cette dérive.

- Moyens de détection, sécurités existantes et propositions (colonnes 6, 7 et 8) :

La méthode HAZOP prévoit d'identifier pour chaque dérive les moyens accordés à sa détection et les barrières de sécurité prévues pour en réduire l'occurrence ou les effets.

Limites et avantages

L'HAZOP est un outil particulièrement efficace pour les systèmes thermo-hydrauliques. Cette méthode présente tout comme l'AMDEC un caractère systématique et méthodique. Considérant, de plus, simplement les dérives de paramètres de fonctionnement du système, elle évite entre autres de considérer, à l'instar de l'AMDEC, tous les modes de défaillances possibles pour chacun des composants du système.

En revanche, l'HAZOP permet difficilement d'analyser les événements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances. Par ailleurs, il est parfois difficile d'affecter un mot clé à une portion bien délimitée du système à étudier. Cela complique singulièrement l'identification exhaustive des causes potentielles d'une dérive. En effet, les systèmes étudiés sont souvent composés de parties interconnectées si bien qu'une dérive survenant dans une ligne ou maille peut avoir des conséquences ou à l'inverse des causes dans une maille voisine et inversement. Bien entendu, il est possible a priori de reporter les implications d'une dérive d'une partie à une autre du système. Toutefois, cette tâche peut rapidement s'avérer complexe [16].

2.5.2 Méthodes intégrées

- **LOPA (*Layer of Protection Analysis*)**

La méthode LOPA, *Layer Of Protection Analysis*, a été développée à la fin des années 1990 par le CCPS (*Center of Chemical Process Safety*). L'objectif de cette méthode est d'évaluer le niveau de maîtrise de risque avec les barrières existantes sur un système et de décider si des barrières supplémentaires doivent être ajoutées. Elle est définie par ses auteurs comme une méthode simplifiée semi-quantitative car elle s'appuie sur des niveaux définis par des puissances de 10 pour représenter les probabilités, les fréquences et les niveaux de gravité [21].

Cette méthode est un outil d'analyse qui s'utilise à la suite d'une méthode d'identification qualitative des risques, comme une analyse préliminaire des risques, AMDEC, HAZOP. Un concept-clé dans l'approche LOPA est la notion de couche indépendante de protection, appelé IPL (*Independant Protection Layer*). La méthode vise à déterminer si suffisamment de niveaux de protection ont été mis en place pour assurer que le niveau de risque est tolérable.

Un IPL est défini comme un système réalisant une fonction de sécurité, de façon active ou de façon passive, et qui doit vérifier les critères suivants [21] :

- Un IPL doit permettre de détecter et prévenir ou atténuer les conséquences d'évènements redoutés spécifiques, comme par exemple une perte de confinement ou un emballement de réaction.
- Un IPL doit être indépendant de toutes les autres couches de protection associées à l'évènement redouté.
- Un IPL doit être fiable de façon à réduire le risque d'un niveau spécifié.
- Un IPL doit être vérifiable de façon à permettre une validation périodique des fonctions de sécurité qu'il assure.

Citons quelques exemples d'IPL :

- Le système de conduite du procédé.
- Les alarmes avec un acquittement de l'opérateur.
- Les systèmes instrumentés de sécurité.
- Les soupapes.
- Les murs anti-explosion.

La méthode LOPA se veut être une méthode capable d'assurer que le niveau de risque est maîtrisé à un niveau acceptable. C'est une méthodologie rationnelle, s'appuyant sur une démarche argumentée, qui permet une identification rapide des niveaux de protection diminuant la fréquence et/ou la conséquence des événements initiateurs redoutés. Elle propose une approche pour l'évaluation des barrières pour éliminer l'aspect subjectif des méthodes qualitatives, avec un rapport cout-efficacité meilleur que celui d'une méthode purement quantitative.

La méthode LOPA suppose qu'une identification préalable des scénarios conduisant à des dommages a été réalisée. Chacun des scénarios étudiés part d'un événement initiateur redouté vers une conséquence. Pour ce scénario, on détermine quelles sont les barrières de sécurité indépendantes (IPL) existantes, qu'elles soient de nature technique, organisationnelle ou humaine.

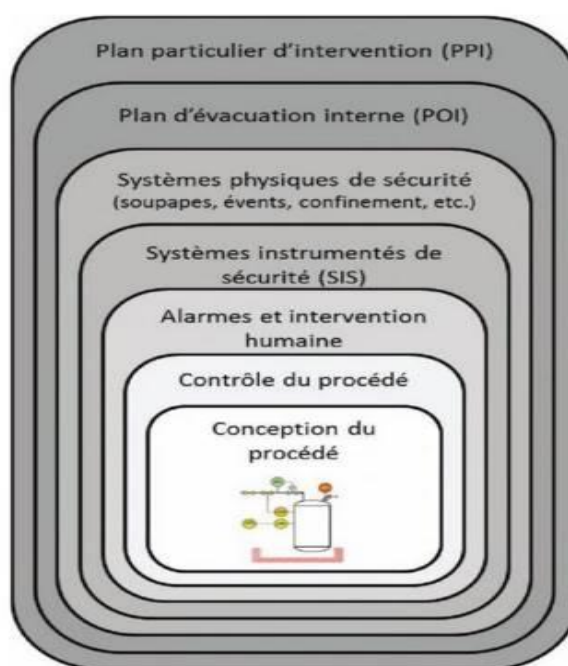


Figure 2-5 : Barrières de sécurité indépendantes (IPL) [21].

Les barrières sont représentées sur le scénario. La probabilité de celui-ci est d'évaluée avec un arbre d'évènements, permettant de coter les différentes conséquences possibles en fonction du bon fonctionnement des barrières. Comme cela est représenté sur la figure 2-7

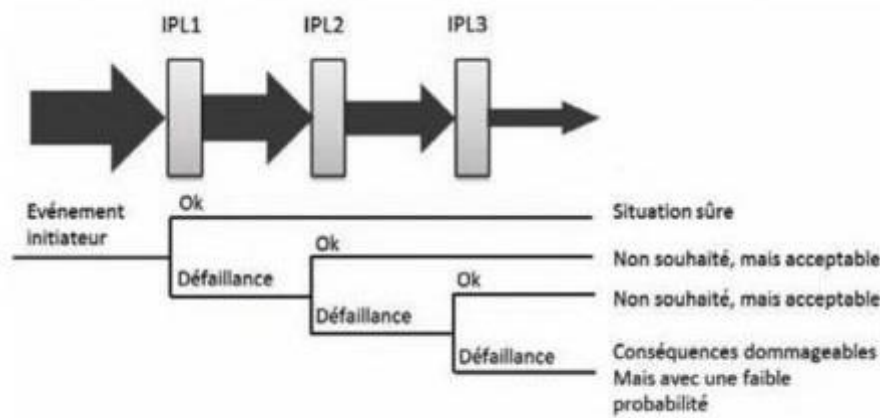


Figure 2-6 : Comparaison entre la méthode LOPA et l'analyse par arbre d'évènement [21]

Les étapes de la méthode sont les suivantes :

1) Etablissement des critères de sélection des scénarios :

Cette étape est réalisée dans la tâche « établissement du contexte », préalablement à l'étape d'appréciation du risque. Elle est importante car elle permet de limiter le temps nécessaire pour l'étude. Une règle peut être de ne considérer que les scénarios significatifs en termes de conséquences, soit en se basant uniquement sur l'intensité du phénomène, soit en combinant cette intensité à la vulnérabilité.

2) Développement des scénarios :

À partir d'une analyse de risque de type AMDEC/HAZOP, les scénarios à construire sont sélectionnés selon les critères définis ci-dessus.

3) Identification des fréquences des événements initiateurs : les fréquences des événements initiateurs sont estimées à partir du retour d'expérience interne et d'informations disponibles dans les bases de données de fiabilité ou dans les documents publiés par des organismes interprofessionnels.

4) Identification des moyens de sécurité (IPL) et de leur probabilité de défaillance à la sollicitation (PFD) :

Pour chaque scénario, une analyse détaillée permet d'identifier les barrières de sécurité existantes en vérifiant bien que ces dispositifs sont indépendants les uns des autres et

des différentes défaillances et phénomènes dangereux pouvant se produire dans le système (cause commune notamment). La probabilité de défaillance à la sollicitation est évaluée partir de règles définies.

5) Calcul du niveau du risque :

La probabilité de l'évènement final du scénario, celui caractérisant les conséquences, peut être calculée à partir de celles des évènements initiateurs et des PFD des IPL. Il est alors possible de déterminer le niveau de risque en utilisant une matrice de risque, ou tout autre moyen choisi par l'analyste.

6) Evaluation du risque et du traitement à effectuer :

Cette étape consiste à comparer le niveau de risque du scénario à celui fixé par le CCPS (la fréquence du risque tolérable maximum 10^{-5}) pour déterminer si ce risque est acceptable ou inacceptable. Si nécessaire, de nouveaux IPL seront ajoutés.

Identification des scénarios

Ce travail est effectué après avoir déjà réalisé une analyse de risques de type HAZOP et/ou AMDEC. Les évènements redoutés (ou leurs causes) pouvant potentiellement conduire à des conséquences graves sont sélectionnés comme évènements initiateurs. Le scénario accidentel peut être représenté sous la forme d'un arbre d'évènements.

Comme les niveaux de protection sont supposés indépendants, la fréquence de l'évènement final peut être obtenue en suivant la même approche que pour les arbres d'évènements ou les diagrammes nœud papillon :

$$f_c = f_i \times PFD_1 \times \dots \times PFD_n \quad (2-1)$$

Où f_c est la fréquence des conséquences en cas de mauvais fonctionnement de toutes les barrières (IPL), f_i est la fréquence de l'évènement initiateur et PFD_i est la probabilité de défaillance sur demande de la barrière i .

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre certains éléments de vocabulaire et certains éléments du contexte scientifique dans lequel s'inscrit notre travail.

Nous avons tout d'abord présenté brièvement les notions de gestion et d'analyse des risques. Notre propos était de préciser les objets auxquels nous allions nous intéresser tout au long de notre travail.

Nous avons ensuite présenté les outils que nous avons mobilisés pour réaliser notre travail, notamment les méthodes classiques et les méthodes intégrées d'analyse de risque.

CHAPITRE 3 :
APPLICATION DES METHODES
D'ANALYSE

L'analyse du cas de défaillance des barrières de sécurité est une étape importante de l'analyse du niveau de risque pour un système donné, car ces barrières interviennent dans la réduction du risque à travers la prévention et la limitation de son impact.

Pour analyser les défaillances des barrières de sécurité d'un système et pour identifier les différents scénarios d'accidents, il est indispensable d'avoir certaines données, comme les fréquences des événements initiateurs et les probabilités de défaillance des barrières de sécurité, l'obtention de ce genre de données s'effectue généralement à partir du retour d'expérience du système étudié ou bien à partir des banques de données dans le cas de manque de celles-ci.

Il sera exposé dans ce chapitre deux méthodes classiques d'analyse de risque (AMDEC/HAZOP), qui ont comme but l'identification des scénarios d'accidents, aussi l'application d'une méthode intégrée d'analyse de risque (LOPA) afin d'analyser les couches de protection, ensuite il sera étudié les phénomènes dangereux résultant de la défaillance des barrières de sécurité.

3.1. Description de l'équipement étudié

Nous trouvons le ballon de séparation dans toutes les unités de traitement d'huile de site Tin Fouye Tabankort, le ballon assure la séparation de l'huile, du gaz et de l'eau par densité.

Le séparateur choisi est le séparateur HP du centre de séparation CS1, il possède la plus grande pression et le plus grand volume des séparateurs sous pression utilisés sur le site de Tin Fouye Tabankort.

Le ballon HP réceptionne le condensat venant du manifold de collecte HP au niveau du centre de séparation. Après la séparation, l'eau est envoyée au bourbier, le gaz vers le fuel gaz, le gaz instrument, ou l'UTGA et l'huile est envoyée dans le ballon BP. Le ballon HP joue le rôle de récupération des condensats avant l'envoi dans la section de pompage (pompes volumétrique Burton). Les caractéristiques principales de ce ballon sont reprises dans le tableau 3-1 ci-après.

Tableau 3-1 : Caractéristiques de ballon de séparation HP

Caractéristiques	Valeurs
Type d'installation	Ballon sous pression
Substance	Huile brute
T (°C)	T° ambiante
Pservice (bar)	19.7
Pdesign (bar)	30.5
Volume (m ³)	26.9

3.1.1. Découpage fonctionnel de ballon de séparation HP

Le découpage fonctionnel de ballon de séparation HP permet de connaître en détail l'ensemble des sous-systèmes de ballon séparateur ainsi tous les équipements existants et les entrées et les sorties du ballon.

Tableau 3-2 : Découpage fonctionnel de ballon de séparation

Systèmes				Sous-systèmes			
Nom	Entrés	Sorties	S _s N°	Nom	Entrées	Sorties	Équipements
Ballon de séparation HP	Pétrole brut	Gaz vers la torche, le fuel gaz, le gaz instrument, ou l'UTGA Huile vers séparateur BP Eau vers borbier	1	Sous-système de Commande	Pétrole brut	Eau Gaz Huile	Vanne sortie Huile Vanne sortie gaz Vanne sortie Eau Flotteurs
			2	Sous-système de protection/prévention	Niveau d'huile Niveau d'eau Pression	Action sur le niveau Action sur la pression	Vanne d'entrée de sécurité de type TOR Soupape de sécurité Disque de rupture Bypass
			3	Sous-système de contrôle	Niveau d'huile Niveau d'eau Pression Température	Indication visuelle Action sur la vanne TOR	Capteur de pression Capteur de niveau Manomètre Thermomètre
			4	Sous-système d'entretien			Orifice d'entretien. Les purges de vidange

3.2. Identification des scénarios d'accidents

Identifier les scénarios d'accidents est une étape clé dans le processus d'analyse de risque. Dans notre cas, nous avons identifié les scénarios de dangers liés au ballon de séparation HP par l'application de la méthode AMDEC et la méthode HAZOP, qui constituent réellement des méthodes synthétiques accompagnées de règles d'analyse descriptives du système.

- Méthode HAZOP : permet d'analyser les différentes déviations des paramètres de fonctionnement du ballon de séparation HP à savoir le niveau, le débit, la température ..., Afin de déterminer leurs causes, leurs conséquences et les mesures de sécurité mises en place. Le tableau correspondant est présenté en Annexe (A).
- Méthode AMDEC : permet d'identifier les modes communs de défaillances pouvant affecter le ballon de séparation HP et aussi de classer les conséquences selon leur niveau de criticité. Le tableau correspondant est présenté en Annexe (B).

Nous avons sélectionné quatre scénarios résumés dans le Tableau 3-3.

Tableau 3-3 : scénario de dangers retenus

Scénario	Evènement initiateur	Conséquence	Barrières de sécurité
1	Défaillance vanne d'entrée de sécurité TOR en position ouverte	Rupture de séparateur HP Débordement de brut et Dispersion de gaz Possibilité d'incendie/explosion en cas d'ignition	Surveillance périodique Capteur de niveau Soupape de sécurité Disque de rupture
2	Défaillance Vanne sortie huile en position fermée	Rupture de séparateur HP Débordement de (brut, huile) Possibilité d'incendie/explosion en cas d'ignition	Surveillance périodique Capteur de niveau Soupape de sécurité Disque de rupture

3	Défaillance Vanne sortie eau en position fermée	Rupture de séparateur HP Débordement de (brut, eau) Dispersion de gaz Possibilité d'incendie/explosion en cas d'ignition	Surveillance périodique Capteur de niveau Soupape de sécurité Disque de rupture
4	Défaillance Vanne sortie gaz en position fermée	Rupture de séparateur HP Débordement de brut et Dispersion de gaz Possibilité d'incendie/explosion en cas d'ignition	Capteur de pression Surveillance périodique Soupape de sécurité Disque de rupture

Les scénarios sont sélectionnés selon leur niveau de criticité (le produit entre le niveau de probabilité et le niveau de gravité).

L'identification de ces scénarios est une étape primordiale dans le processus de développement de la méthode LOPA. Les éléments de ces scénarios, à savoir les événements initiateurs et les conséquences sont identifiées par la méthode HAZOP et la méthode AMDEC

3.3. Identification des couches de protection indépendantes (IPL)

L'identification des couches de protection indépendantes est faite au préalable par la méthode HAZOP et par la méthode AMDEC mais uniquement celles qualifiées d'IPL et répondants aux critères présentés en détails dans le chapitre 2, sont pris en considération dans cette application. Les couches de protection indépendantes prises en compte dans notre étude sont les suivantes :

- Capteur de niveau.
- Capteur de pression.
- Surveillance périodique.
- Soupape de sécurité.
- Disque de rupture.

Les données utilisées pour estimer les fréquences des événements initiateurs et les PFD des barrières de sécurité sont représentées par le Tableau (3-4) et le Tableau (3-5).

Tableau 3-4: Fréquence des événements initiateurs [21]

N°	Evènement initiateur	Fréquence (an ⁻¹)
1	Défaillance vanne d'entrée de sécurité TOR	10 ⁻²
2	Défaillance Vanne sortie huile	10 ⁻¹
3	Défaillance Vanne sortie eau	10 ⁻¹
4	Défaillance Vanne sortie gaz	10 ⁻¹

Tableau 3-5: Probabilités de défaillance à la demande (PFD) des IPL [21]

N°	Couches de protection indépendantes (IPL)	PFD (an ⁻¹)
1	Capteur de niveau	4.38 × 10 ⁻¹
2	Soupape de sécurité	10 ⁻²
3	Disque de rupture	10 ⁻²
4	Surveillance humaine	10 ⁻²
5	Capteur de pression	1.13 × 10 ⁻²

La probabilité d'ignition est égale à : 10⁻¹ /ans [22].

3.4. Représentation des scénarios d'accidents

La représentation des scénarios d'accidents est faite par des arbres d'évènements, en représentant l'enchaînement des événements passant de l'évènement initiateur jusqu'à la conséquence finale. Les résultats seront représentés par des tableaux fournis par le CCPS (*Center for Chemical Process Safety*) [21].

- Scénario N°1 :

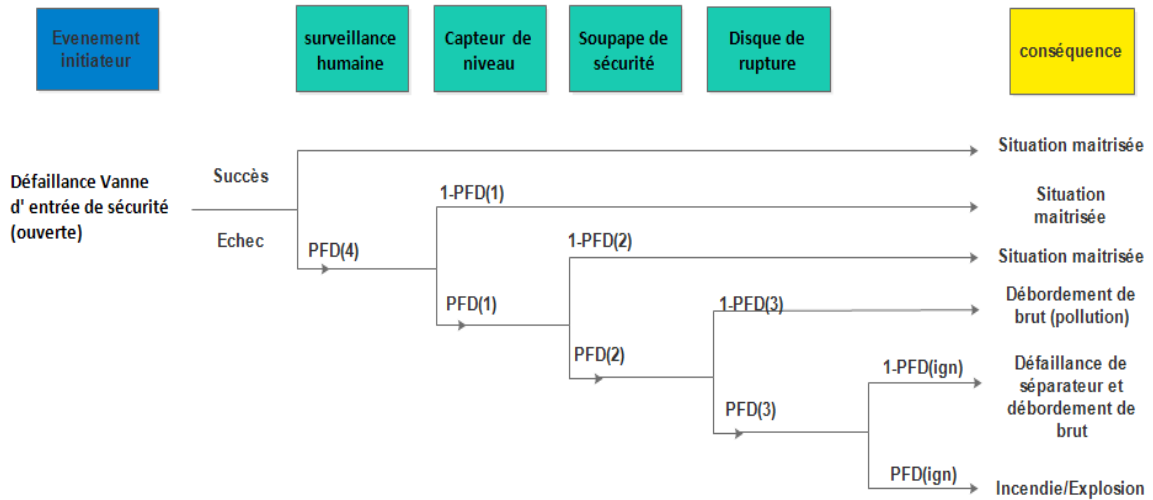


Figure 3-1 : Arbre d'événements relatif au scénario -1-

La fréquence de la conséquence de scénario -1- est calculée en utilisant l'équation (1-1) de chapitre 1 :

$$f_{c1} = EI1 \times PFD(4) \times PFD(1) \times PFD(2) \times PFD(3) \times PFD(ign)$$

$$= 4.38 \times 10^{-10} \text{ans}^{-1}$$

- Scénario N°2 :

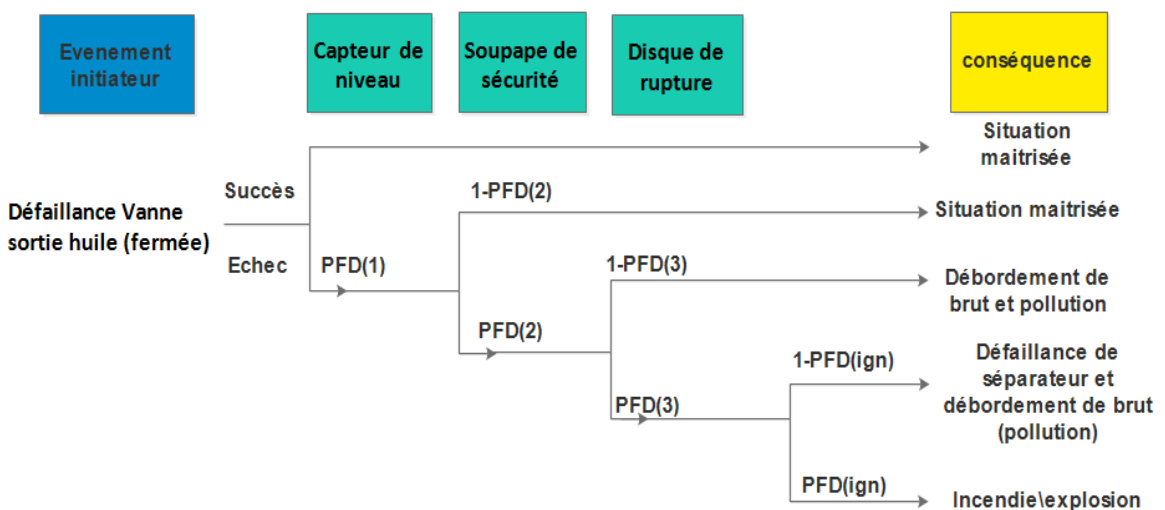


Figure 3-2: Arbre d'événements relatif au scénario -2-.

La fréquence de la conséquence de scénario -2- est calculée en utilisant l'équation (1-1) de chapitre 1 :

$$f_{c2} = EI2 \times PFD(1) \times PFD(2) \times PFD(3) \times PFD(ign) = 4.38 \times 10^{-7} \text{ans}^{-1}$$

- Scénario N°3 :

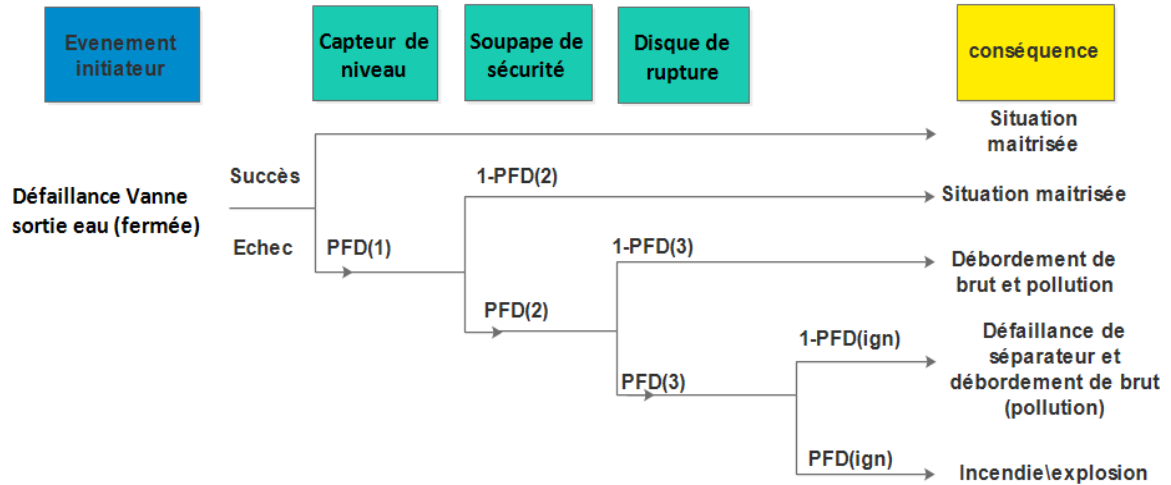


Figure 3-3 : Arbre d'événements relatif au scénario -3-

La fréquence de la conséquence de scénario -3- est calculée en utilisant l'équation (1-1) de chapitre 1 :

$$f_{c3} = EI3 \times PFD(1) \times PFD(2) \times PFD(3) \times PFD(ign) = 4.38 \times 10^{-7} \text{ans}^{-1}$$

- Scénario N°4 :

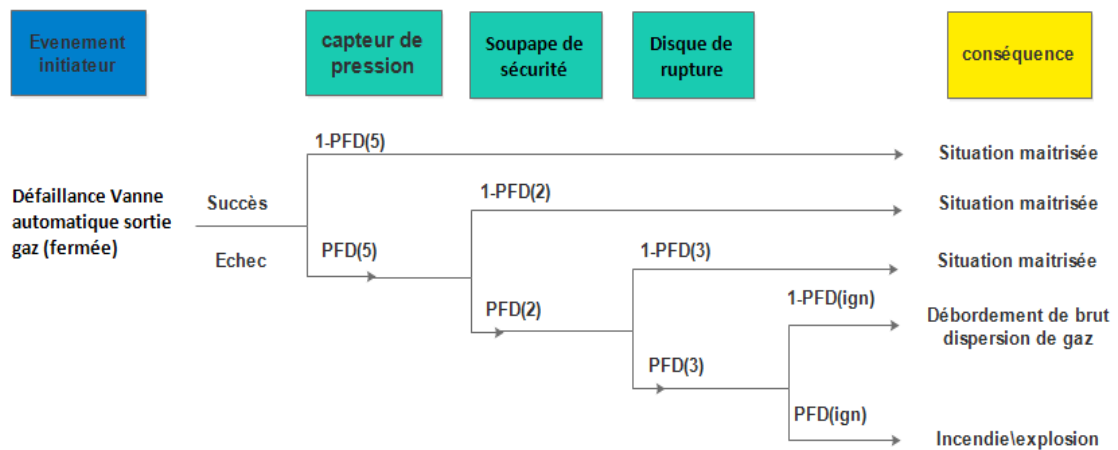


Figure 3-4 : Arbre d'événements relatif au scénario -4-

La fréquence de la conséquence de scénario 4 est calculée en utilisant l'équation (1-1) de chapitre 1 :

$$f_{c4} = EI4 \times PFD(5) \times PFD(2) \times PFD(3) \times PFD(ign) = 1.13 \times 10^{-8} \text{ans}^{-1}$$

L'étape suivante est consacrée à la représentation des résultats obtenus sur des feuilles de travail LOPA (LOPA *worksheet*) fournies par le CCPS (*Center for Chemical Process Safety*) [18].

Tableau 3-6 : Feuille de travail LOPA de scénario -1-

Scénario N° 1	Equipement : ballon de séparation HP	Titre de scénario : débordement d'hydrocarbure suite à une défaillance d'une vanne d'entrée de type TOR	
Date : 10/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences	Rupture de séparateur HP, Débordement de brut et Dispersion de gaz Possibilité d'incendie/explosion en cas d'ignition		
Evènement initiateur	Défaillance vanne d'entrée de sécurité TOR en position ouverte		10 ⁻² /ans
Modificateurs conditionnels	Probabilité d'ignition	10 ⁻¹	
Couches de protection indépendantes(IPLs)	Capteur de niveau.	4.38 ×10 ⁻¹	
	Surveillance périodique.	10 ⁻²	
	Soupape de sécurité.	10 ⁻²	
	Disque de rupture.	10 ⁻²	
PFD totale (TPFD)		4.38×10 ⁻⁷	
Fréquence de scénario : 4.38 × 10 ⁻¹⁰ ans ⁻¹			
Tolérance de risque : risque acceptable (> 10 ⁻⁵)			
Observations : N/A			

Tableau 3-7: Feuille de travail LOPA de scénario -2-

Scénario N° 2	Equipement : ballon de séparation HP	Titre de scénario : débordement d'hydrocarbure suite à une défaillance d'une vanne de sortie huile	
Date : 10/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences	Rupture de séparateur HP, Débordement de (brut, huile) Possibilité d'incendie/explosion en cas d'ignition		
Evènement initiateur	Défaillance Vanne sortie huile en position fermée		10 ⁻¹ /ans
Modificateurs conditionnels	Probabilité d'ignition	10 ⁻¹	
couches de protection indépendantes(IPLs)	Capteur de niveau.	4.38 × 10 ⁻¹	
	Soupape de sécurité.	10 ⁻²	
	Disque de rupture.	10 ⁻²	
PFD totale (TPFD)		4.38 × 10 ⁻⁵	
Fréquence de scénario : 4.38 × 10 ⁻⁷ ans ⁻¹			
Tolérance de risque : risque acceptable ■ (> 10 ⁻⁵)			
Observations : N/A			

Tableau 3-8 : Feuille de travail LOPA de scénario -3-

Scénario N° 3	Equipement : ballon de séparation HP	Titre de scénario : débordement d'hydrocarbure suite à une défaillance d'une vanne de sortie eau	
Date : 10/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences	Rupture de séparateur HP, Débordement de (brut, eau), Dispersion de gaz, Possibilité d'incendie/explosion en cas d'ignition		
Evènement initiateur	Défaillance Vanne sortie eau en position fermée		10 ⁻¹ /ans
Modificateurs conditionnels	Probabilité d'ignition	10 ⁻¹	
couches de protection indépendantes(IPLs)	Capteur de niveau. Soupape de sécurité. Disque de rupture.	4.38 × 10 ⁻¹ 10 ⁻² 10 ⁻²	
PFD totale (TPFD)		4.38 × 10 ⁻⁵	
Fréquence de scénario : 4.38 × 10 ⁻⁷ ans ⁻¹			
Tolérance de risque : risque acceptable ■ (> 10 ⁻⁵)			
Observations : N/A			

Tableau 3-9 : feuille de travail LOPA de scénario -4-

Scénario N° 4	Equipement : ballon de séparation HP	Titre de scénario : débordement d'hydrocarbure suite à une défaillance d'une vanne de sortie gaz	
Date : 10/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences	Rupture de séparateur HP ,Débordement de brut et Dispersion de gaz ,Possibilité d'incendie/explosion en cas d'ignition		
Evènement initiateur	Défaillance Vanne sortie gaz en position fermée		10 ⁻¹ /ans
Modificateurs conditionnels	Probabilité d'ignition	10 ⁻¹	
couches de protection indépendantes(IPLs)	Capteur de pression.	1.13 ×10 ⁻²	
	Soupape de sécurité.	10 ⁻²	
	Disque de rupture.	10 ⁻²	
PFD totale (TPFD)		1.13×10 ⁻⁶	
Fréquence de scénario : 1.13 × 10 ⁻⁸ ans ⁻¹			
Tolérance de risque : risque acceptable (> 10 ⁻⁵)			
Observations : N/A			

Discussion des résultats

Les fréquences des conséquences des scénarios d'accidents sont calculées à l'aide de l'équation (1-1) de chapitre 1, ces scénarios sont obtenus lorsque nous considérons qu'une défaillance de la totalité des barrières de sécurité est survenue pour chaque scénario étudié. Par la suite nous comparons la fréquence finale de scénario d'accident avec la fréquence du risque tolérable maximum fixée par le CCPS (*Center for Chemical Process Safety*), qui est égale à 10^{-5} /ans [18].

Nous remarquons que pour les fréquences f_{c1} , f_{c2} , f_{c3} , f_{c4} des conséquences de chaque scénario, le résultat obtenu pour le niveau de risque est considéré comme acceptable, cela veut dire que le ballon de séparation se trouve à un niveau de risque acceptable malgré la défaillance de la totalité des barrières.

Pour ce résultat nous pouvons déduire que le niveau de risque pour le ballon de séparation haute pression est acceptable et que l'ajout d'autres barrières de sécurité pour réduire le niveau de risque est pas obligatoire pour l'instant.

3.5. Analyse quantitative des phénomènes dangereux

Dans cette étape nous allons étudier les différents phénomènes dangereux pour les scénarios précédents selon le type d'ignition.

Les données utilisées pour estimer la probabilité d'ignition (immédiate, retardée, explosion) sont représentés par le Tableau 3-10.

Tableau 3-10 : les types d'ignitions [1].

Produit Type d'ignition	Brut	Gaz
Ignition immédiate	0.09	0.5
Ignition retardé	0.1	0.2
Explosion	0.3	0.3

- Scénario N°2 :

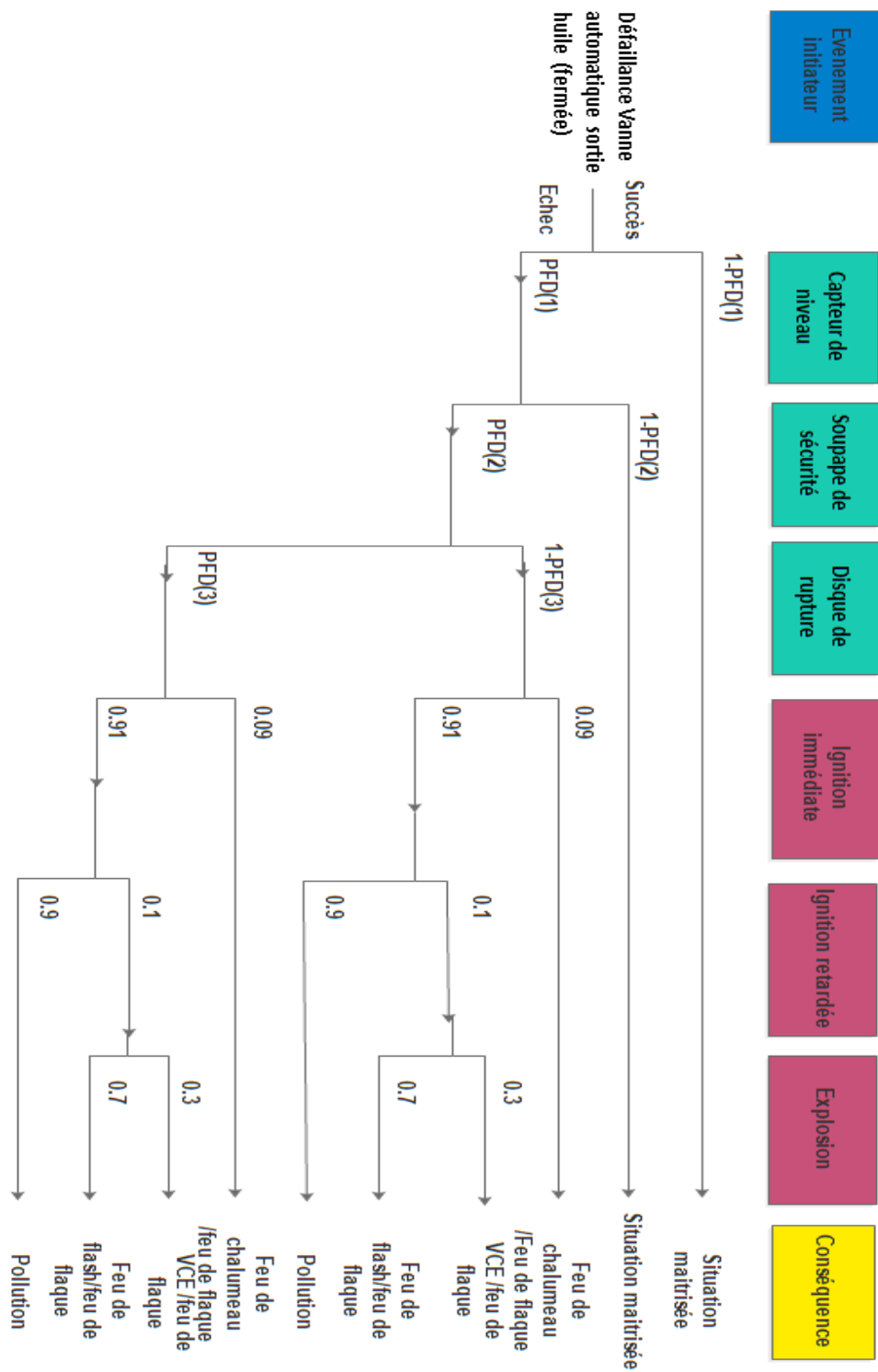


Figure 3-6 : Arbre d'événements relatif aux phénomènes dangereux de scénario d'accident N°2.

- Scénario N°3 :

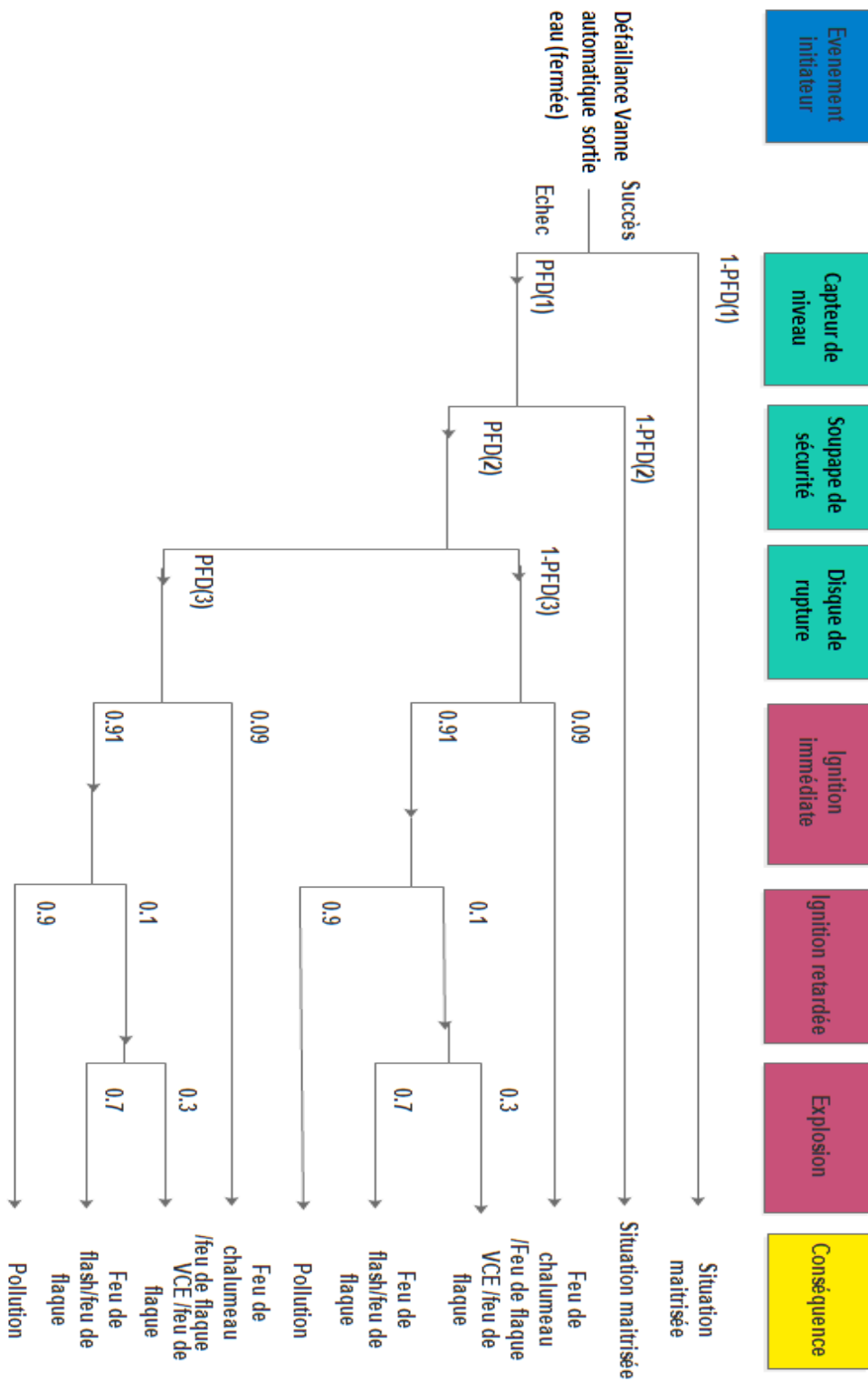


Figure 3-7 : Arbre d'événements relatif aux phénomènes dangereux de scenario d'accident N°3.

- Scénario N°4 :

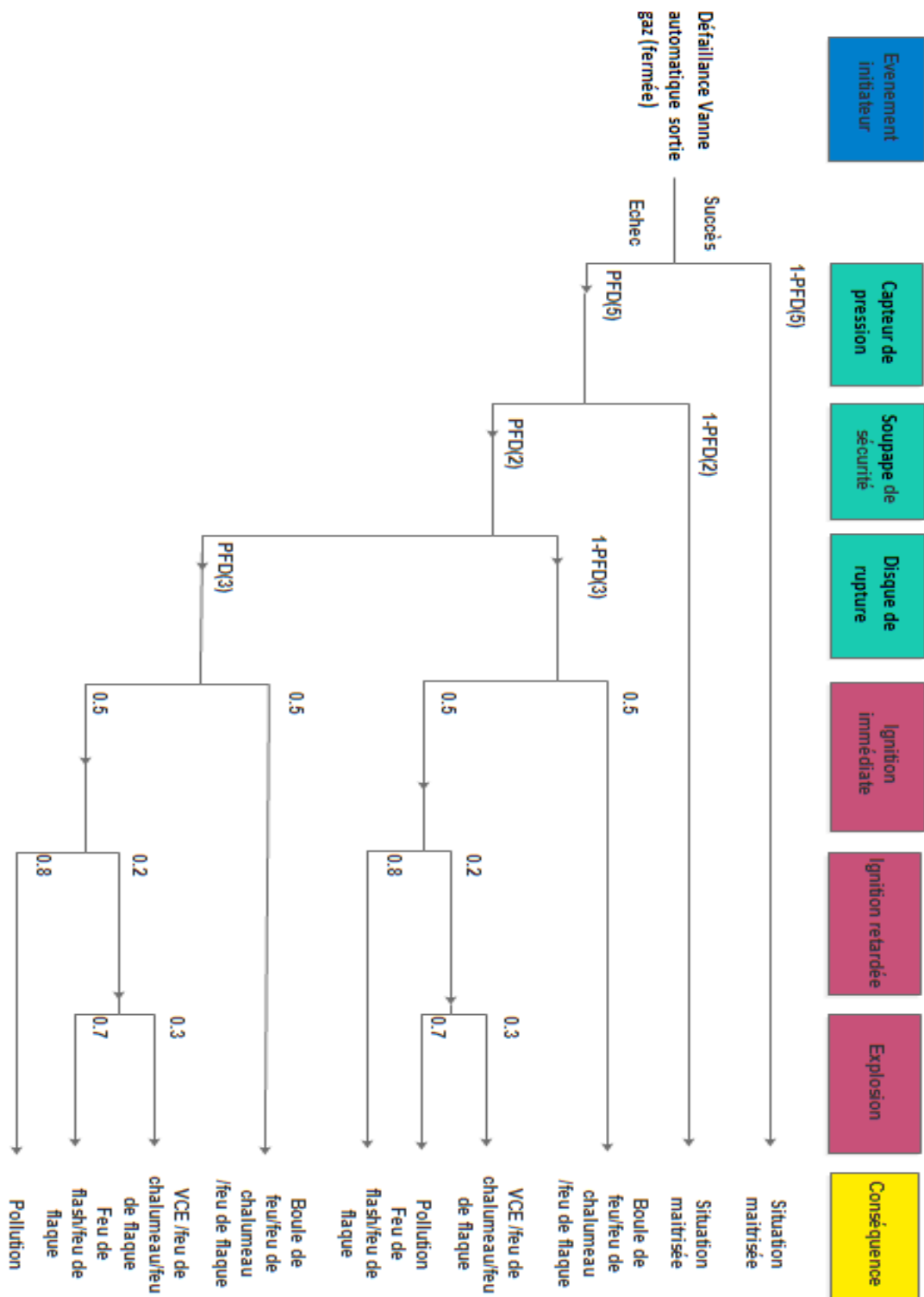


Figure 3-8 : Arbre d'événements relatif aux phénomènes dangereux de scénario d'accident N°4.

Les résultats obtenus montrent qu'il existe cinq phénomènes dangereux différents (VCE, Boule de feu, Feu de flaque, Feu de flash, Feu de chalumeau). Pour chaque scénario d'accidents nous avons calculé les fréquences des conséquences en multipliant les probabilités des événements du même chemin .les fréquences totales des conséquences sont calculées en additionnant les fréquences des conséquences pour les scénarios ayant les mêmes conséquences. Les résultats sont représentés dans le tableau 3-11.

Tableau 3-11 : Fréquences des conséquences des scénarios d'accidents.

Fréquences des conséquences Phénomènes Dangereux (ans⁻¹)	scénario -1-	scénario -2-	scénario -3-	scénario -4-	Fréquences totales des conséquences
<i>Vapor Cloud Explosion</i>	1.2×10^{-9}	1.18×10^{-5}	1.18×10^{-5}	3.35×10^{-7}	2.39×10^{-5}
Boule de feu	0	0	0	5.64×10^{-6}	5.64×10^{-6}
Feu de flaque	4.3×10^{-8}	9.02×10^{-5}	9.02×10^{-5}	6.7×10^{-6}	1.87×10^{-4}
Feu de flash	2.96×10^{-9}	2.8×10^{-5}	2.8×10^{-5}	7.8×10^{-7}	5.6×10^{-5}
Feu de chalumeau	3.9×10^{-8}	3.94×10^{-5}	3.94×10^{-5}	6×10^{-6}	8.48×10^{-5}
Pollution	4.33×10^{-8}	3.59×10^{-4}	3.59×10^{-4}	4.5×10^{-6}	7.23×10^{-4}
Situation maîtrisée	9.9×10^{-3}	9.95×10^{-2}	9.95×10^{-2}	9.99×10^{-2}	3.07×10^{-1}

Les résultats de tableau montrent que la majorité des conséquences sont maîtrisées, ce qui confirme le niveau de risque acceptable du ballon de séparation HP, la pollution aussi prend une place parmi les conséquences mais avec une faible fréquence ,pour les autres conséquences ,il résulte cinq phénomènes dangereux différents .

La représentation graphique des phénomènes dangereux résultants nous a permis de connaître le phénomène dangereux le plus fréquent (Figure 3-9), qui est dans notre cas le feu de flaque (feu de nappe) qui sera étudié dans la suite de ce chapitre.

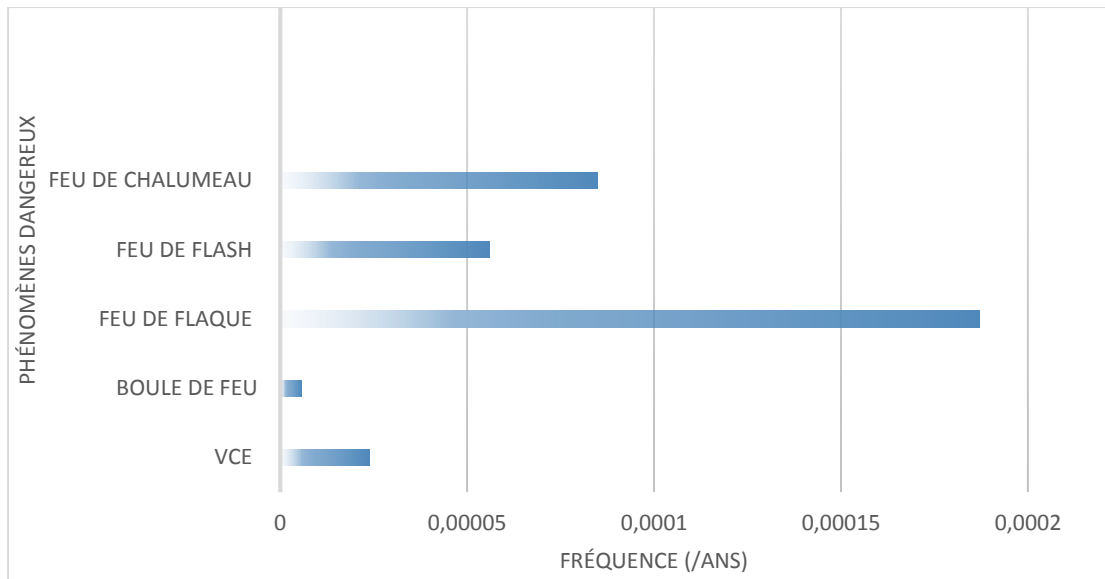


Figure 3-9 : Représentation graphique des phénomènes dangereux.

3.5.2. Etude du feu de nappe

Dans cette étape nous allons étudier le feu de nappe en calculant quelques paramètres liés à la géométrie de la flamme, et aussi nous allons faire une modélisation du feu par le logiciel PHAST (*Process Hazard Analysis Software Tool*).

3.5.2.1. Géométrie de la flamme

Pour caractériser la géométrie de la flamme, il est indispensable de déterminer entre autres :

- La surface de la base de la flamme
- Sa hauteur.
- Si nécessaire, les effets dus à l'action du vent.

- **Diamètre équivalent**

En fonction des conditions de rejet du combustible, des caractéristiques du terrain et de la présence éventuelle de cuvettes de rétention, la surface occupée par la nappe peut prendre des géométries diverses. Pour l'application des corrélations visant à déterminer notamment la hauteur de flamme il est d'usage de se ramener à une surface circulaire dont le diamètre est défini comme le diamètre équivalent, représentatif du

comportement de la flamme. Ce paramètre n'est a priori utile que pour l'emploi de ces corrélations [23].

- Cas d'un rejet dans une cuvette de rétention non circulaire :

Pour un feu de cuvette non circulaire, le diamètre équivalent, D_{eq} , peut être estimé par la formule suivante :

$$D_{eq} = 4 \times \frac{\text{Surface de la cuvette}}{\text{Périmètre de la cuvette}} \quad (3-1)$$

- **Hauteur de la flamme**

La hauteur de la flamme associée à un feu de nappe peut être estimée grâce à des corrélations établies à partir d'essais ou de données disponibles dans la littérature. En règle générale, ces dernières font intervenir la notion de débit masse surfacique de combustion, noté m'' ($Kg/(m^2s)$) [23].

Le débit masse de combustion par unité de surface, m'' , représente la quantité de combustible participant à l'incendie par unité de temps et de surface de combustible au sol.

Afin d'estimer la valeur du débit masse surfacique de combustion, **BABRAUSKAS** propose la corrélation suivante [23] :

$$m'' = m''_{\infty} (1 - \exp^{-k_{\beta} D}) \quad (3-2)$$

Avec :

m''_{∞} : débit masse surfacique pour une nappe de taille infinie (kg/m^2s)

k_{β} : coefficient d'extinction de la nappe (m^{-1})

D : diamètre équivalent de la nappe (m)

Remarque : les propriétés de substance étudiée se trouve en Annexe (C) et Annexe (D).

- Corrélation de **THOMAS** [24]

Dans des situations sans vent, la hauteur de la flamme d'un feu de nappe peut être calculée à partir de la corrélation de **Thomas** :

$$H = 42 \times D \cdot \left(\frac{m''}{\rho_a \sqrt{g \cdot D_{eq}}} \right)^{0,61} \quad (3-3)$$

Avec :

m'' : débit massique surfacique de combustion (kg/m².s)

ρ_a : masse volumique de l'air à température ambiante (1,161 kg/m³)

g : accélération gravitationnelle (= 9,81 m/s²)

- **Effets dus au vent**

Inclinaison de la flamme :

L'inclinaison de la flamme sera représentée par l'angle θ , repéré par rapport à la verticale, conformément à la Figure 3-10 :

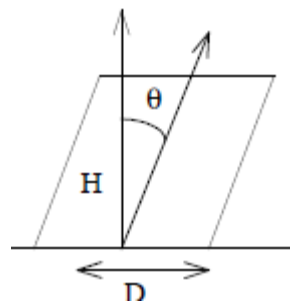


Figure 3-10 : Inclinaison de la flamme sous l'effet du vent [25]

Cet angle peut être estimé à partir de la vitesse du vent par l'application de la formule suivante [23]:

$$u^* = \frac{u_w}{\sqrt[3]{\frac{g \cdot m'' \cdot D}{\rho_a}}} \quad (3-4)$$

Si $u^* < 1$ alors $\cos \theta = 1$, Sinon

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{u^*}}$$

Avec :

u_w : vitesse du vent. (m/s).

- **Durée de l'incendie**

Le débit masse surfacique de combustion représente la quantité de combustible participant à l'incendie par unité de temps et de surface de combustible au sol. Ainsi, ce paramètre permet, dans une certaine mesure, d'estimer l'ordre de grandeur de la durée de l'incendie de manière simple :

$$T = \frac{M}{m'' \times S} \quad (3-5)$$

Avec :

T : Temps estimé de l'incendie.

M : Masse totale de combustible (kg).

m'' : Débit masse surfacique de combustion (kg/ (m²s)).

S : Surface au sol de combustible (m²).

Applications

Le scénario étudié représente une libération de la totalité du contenu du ballon de séparation dans la cuvette de rétention.

Notant que la cuvette de rétention est d'environ 20 m de côté, pour une hauteur de 1,2m permet de limiter la surface d'une éventuelle flaque en cas de fuite d'huile.

La surface de la cuvette est égale à : $S = 20 \times 20 = 400 \text{ m}^2$

- Calcul du diamètre équivalent : pour calculer le diamètre équivalent nous allons utiliser l'équation (3-1) :

$$D_{eq} = 4 \times \frac{400}{80} = 20 \text{ m} .$$

- Débit masse de combustion par unité de surface : pour calculer le débit masse de combustion par unité de surface nous allons utiliser l'équation (3-2) :

$$m'' = 0.0335(1 - e^{-2.8 \times 20}) = 0.0335 \text{ (kg/ (m}^2\text{s))}$$

- Hauteur de la flamme : pour calculer la hauteur de la flamme nous allons utiliser l'équation (3-3) :

$$H = 42 \times 20 \left(\frac{0.0335}{1.161 \sqrt{9.81 \times 20}} \right)^{0.61} = 19.3 \text{ m}$$

- Effet du vent :

D'après les données météorologiques de site TFT [1], nous avons trouvé que la vitesse de vent est toujours inférieure à 11 (m/s), nous supposons que la vitesse maximale est égale à 10 m/s.

$$u_w = 10 \text{ m/s}$$

$$u^* = \frac{10}{\sqrt[3]{\left(\frac{9.81 \times 0.0335 \times 20}{1.161} \right)}} = 5.61$$

Et comme $u^* > 1$ donc : $\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{u^*}} = \frac{1}{\sqrt{5.61}} = 0.42 \Rightarrow \theta = 65.16^\circ$

- Estimation de la durée de l'incendie : la durée de l'incendie est estimée en utilisant la formule (3-5) :

Pour calculer la masse de la substance, nous avons comme données le volume du brut qui est égale à 26.9 m³ et la masse volumique du brut qui est égale à 840 (kg /m³).

$$M = \rho_{brut} \cdot V_{brut} \tag{3-6}$$

$$M = 840 \times 26.9 = 22596 \text{ kg}$$

Donc :

$$T = \frac{22596}{0.0335 \times 400} = 1686.26 \text{ s} = 28 \text{ min } 6 \text{ s} .$$

3.5.2.2. Modélisation du feu de nappe avec le logiciel PHAST (*Process Hazard Analysis Software Tool*)

Les effets d'un feu de flaque vont être modélisés avec le logiciel PHAST, qui est un logiciel complet d'analyse des risques pour tous les stades de la conception et de l'exploitation, il est utilisé pour évaluer les situations présentant des risques potentiels pour le personnel, les installations et l'environnement, et pour mesurer la gravité de ses situations.

Le scénario supposé est la rupture catastrophique du séparateur HP, donc le contenu total du ballon sera libéré immédiatement, Le volume libéré immédiatement lors de la rupture est égale à 26.9 m³.

Données d'entrées [1]

- Type d'équipement : Ballon sous pression.
- Substance : Huile brute
- Volume : 26.9 m³
- Masse de substance : 22596 kg
- Pression : 10 bars
- Température : 40 ° C
- L'humidité : 7 %

Pour les situations avec vent nous avons étudié le cas d'une vitesse de vent égale à 10 (m/s) et avec une direction du vent vers l'Est (90 °), qui représente la vitesse maximale la plus fréquente, les données sont estimées à partir de la rose des vents (Figure 3-11) représentée ci-dessous :

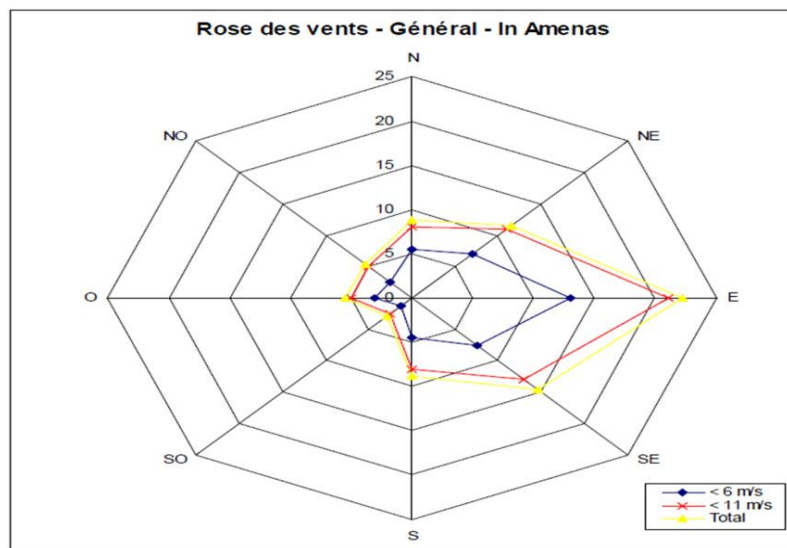


Figure 3-11 : Rose des vents de site TFT [1]

Les seuils des effets thermiques :

Tableau 3-12 : Seuils des effets thermiques [26]

Niveau de radiation	Pour la vie humaine	Pour les structures
3 kW/m ²	seuil des effets irréversibles (SEI), « zone des dangers significatifs pour la vie humaine ».	Pas d'effet significatif.
5 kW/m ²	seuil des premiers effets létaux (SEL), « zone des dangers graves pour la vie humaine ».	seuil de destruction significative des vitres.
8 kW/m ²	seuil des effets létaux significatifs (SELS), « zone des dangers très graves pour la vie humaine ».	seuil des effets dominos, seuil des dégâts graves.

Représentation des résultats

- Situation stable (faible vitesse du vent)

Dans ce cas nous avons représenté les conséquences du feu de nappe, sans prendre en considération la vitesse et la direction de vent (cas des faibles vitesses de vent). Les résultats de la modélisation avec le logiciel PHAST sont représentés par la Figure 3-12 suivante :

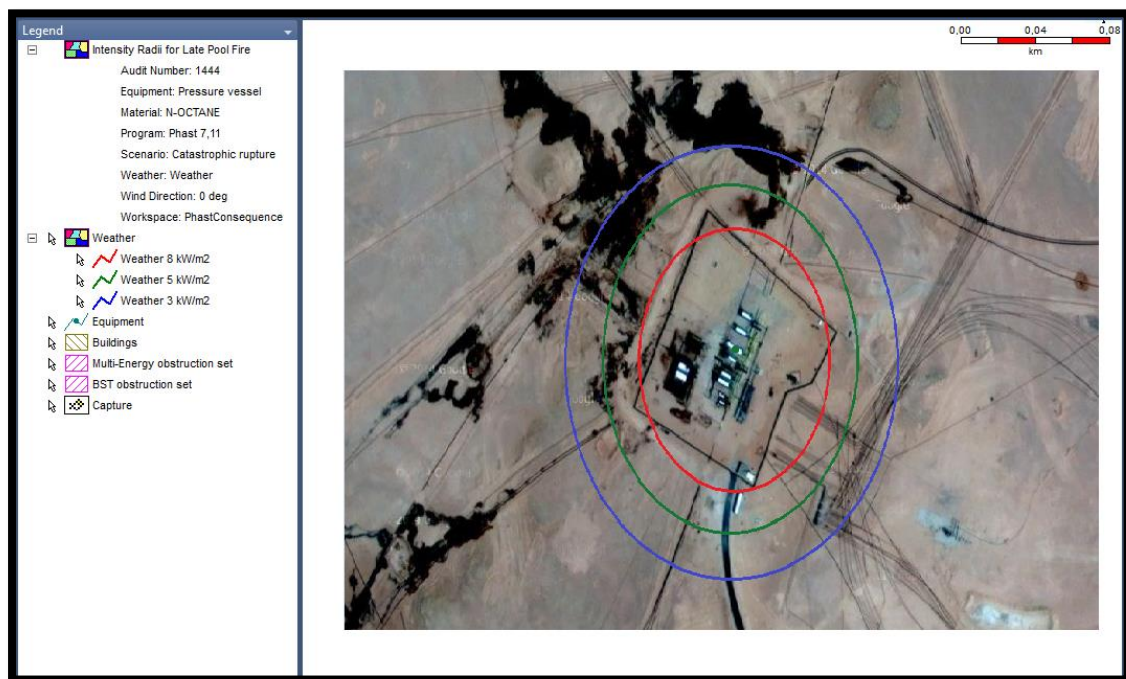


Figure 3-12: Cartographie des effets thermiques d'un feu de flaque dans le centre de séparation CS1.

Les distances d'effets de radiation du feu de nappe après la rupture catastrophique du séparateur HP sont représentés dans le Tableau 3-13 suivant :

Tableau 3-13 : Distances d'effets de radiation d'un feu de flaque au centre CS1

Niveau de radiation (kW/m ²)	Distances d'effets en mètres
3	226
5	176
8	128

- Situation instable (avec vent)

Nous avons représenté les résultats en considérant la direction du vent la plus fréquente (vers l'Est) avec une vitesse du vent égale à 10 (m/s), Les résultats de la modélisation sont représentés par la Figure 3-13 suivante :

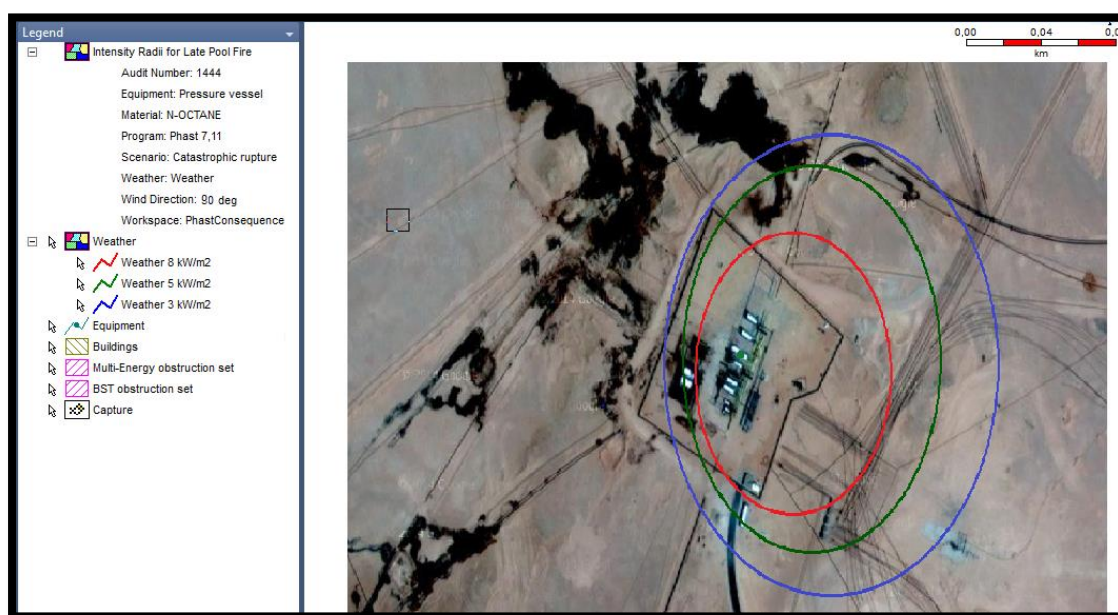


Figure3-13 : Cartographie des effets thermiques d'un feu de flaque dans le cas d'une vitesse de vent de 10(m/s)

Discussion des résultats

Les modélisations sont effectuées à l'aide du logiciel PHAST, la substance utilisée pour représenter les effets liés à une libération d'huile brute est l'octane (la substance la plus dominante dans le brut).

Pour la situation avec faible vitesse du vent les résultats montrent que la zone d'effet pour les seuils de 8 kW/m² (128 mètres de rayon), de 5 kW/m² (176 mètres de rayon)

et de 3 kW/m² (226 mètres de rayon) recouvre l'entièreté du site de la zone de séparation étudiée, mais également les équipements voisins du site.

Pour la situation avec vent les résultats montrent que la zone d'effets pour les différents seuils dépendra de la vitesse et de la direction de vent, la grande partie de la zone d'effets se trouve à l'extérieur du site de séparation, tous les équipements de centre de séparation sont touchés par la zone d'effet pour les seuils de 5 kW/m² et de 3 kW/m², par contre les bacs tampons ne sont pas touchés par la zone d'effet pour le seuil de 8 kW/m².

Nous pouvons conclure que la zone d'effets dépendra fortement de la direction de la flamme. L'ensemble des équipements du centre de traitement étudié peuvent être situés dans les différentes zones, et donc potentiellement touchés par les zones d'effets caractéristiques des effets dominos. Les équipements les plus exposés sont évidemment ceux situés dans la direction de la flamme. Les effets dominos se caractériseront par un endommagement thermique des installations touchées.

La durée de feu de nappe est égale à 28 min et 6 s comme nous avons trouvé précédemment, ce qui en fait un phénomène lent. Dans une durée lente d'exposition, les équipements inclus dans le feu de nappe sont considérés comme potentiellement endommagés.

3.5.4. Extinction du feu de nappe

Pour l'extinction du feu de nappe nous allons utiliser la mousse comme agent extincteur, car la mousse permet d'étouffer le feu, en empêchant l'apport de l'air au liquide en feu, et stopper les vapeurs d'hydrocarbures émises, elle permet également de refroidir le feu même si l'action est faible. Le tableau 3-14 représente les caractéristiques de la mousse utilisée.

Tableau 3-14 : Caractéristiques de la mousse [1]

Type d'émulseur	Coefficient de foisonnement	Foisonnement	Concentration
Synthétique	6	bas foisonnement	3 %

La législation Algérienne à l'instar de la législation Française exige que l'épaisseur de la mousse dans le cas de l'extinction d'un feu d'hydrocarbure doit être supérieure à 15 cm, quel que soit le foisonnement de la mousse [27], pour notre cas nous allons utiliser une épaisseur de 20 cm.

- Le volume de la mousse : lors de l'extinction du feu de nappe le volume de la mousse va prendre la forme de la cuvette de rétention, pour une surface de cuvette de rétention égale à 400 m² et pour une épaisseur égale 0.2 m, le volume de la mousse est égale à :

$$V_{mousse} = S_{cuvette} \times \text{épaisseur} \quad (3-7)$$

$$V_{mousse} = 80 \text{ m}^3$$

- Le volume de la solution moussante : Pour préparer une mousse il faut mélanger trois éléments principaux : L'eau, l'émulseur et l'air. La solution moussante représente le mélange entre l'émulseur et l'eau.

Le Foisonnement représente le rapport entre le volume de la mousse obtenue et le volume de la solution moussante ayant servi à produire cette mousse. Plus nous introduisons d'air plus le foisonnement est élevé.

$$f = \frac{V_{mousse}}{V_{solution\ moussante}} \quad (3-8)$$

$$\rightarrow V_{solution\ moussante} = \frac{V_{mousse}}{f} = 13.333 \text{ m}^3$$

- Le volume d'émulseur :

La concentration d'émulseur est égale à 3%.

$$V_{émulseur} = V_{solution\ moussante} \times \text{concentration} \quad (3-9)$$

Donc :

$$V_{émulseur} = V_{solution\ moussante} \times 0.03 = 0.4 \text{ m}^3$$

- Le volume d'eau nécessaire pour l'extinction du feu :

$$V_{solution\ moussante} = V_{émulseur} + V_{eau} \quad (3-10)$$

$$\rightarrow V_{eau} = V_{solution\ moussante} - V_{émulseur} = 13.333 - 0.4 = 12.933\ m^3$$

Dans ce cas il faut un réservoir d'eau qui contient au moins $15\ m^3$.

Nous recommandons un réservoir à eau cylindrique dont les dimensions sont 1.5 m de rayon et 2.5 m en hauteur, soit un réservoir de $17.6\ m^3$. Ceci nous permettra d'emmagasiner jusqu'à un maximum de $17.5\ m^3$.

Recommandations

Afin de réduire le niveau de risque et de le maintenir à un niveau acceptable et aussi d'améliorer la situation, diverses actions ont été recommandées :

- Assurer une maintenance périodique et garantir une fiabilité de l'ensemble des vannes de ballon de séparation HP.
- Mettre en place un programme d'entretien et d'inspection pour les différents capteurs et systèmes de contrôle du ballon de séparation HP.
- Vérifier la pression de tarage des soupapes vis-à-vis de la pression de design et contrôle périodique pour les disques de rupture.
- Mettre en service le système d'injection d'inhibiteur de corrosion sur le ballon de séparation HP pour le but d'éliminer la corrosion.
- Mettre en place une mesure de protection de manière à sectionner le ballon automatiquement en cas de rupture.
- Mettre en place un programme d'inspection périodique de mesure d'épaisseur ballon de séparation HP pour limiter tout risque de corrosion de ballon.
- Mettre en place un programme périodique de mise en peinture anticorrosion de manière à prévenir le risque de corrosion externe.
- Mise en place d'un planning d'inspection pour tout type de fuite de produit inflammable.
- Installer des détecteurs de gaz et d'incendie combinés à un *shutdown* général automatique des installations en cas d'alarme avec sectionnement des équipements.

- Installer un système de sectionnement de l'alimentation de séparateur à distance pour réduire la quantité de brut mis à l'atmosphère en cas de fuite au niveau de séparateur.
- Installer des détecteurs de gaz et d'incendie combinés à un *shutdown* général automatique de l'installation.
- Mettre en place un ensemble d'équipements de pompage d'hydrocarbure liquide afin de pouvoir récupérer le produit débordé en cas de fuite.
- Mettre en place un système anti-incendie automatique lié à des détecteurs de flamme, qui se déclenche automatiquement en cas d'incendie.
- Mettre en service un ensemble des détecteurs de gaz et de flamme.
- Mettre le ballon de séparation HP sous protection cathodique.

CONCLUSION

Le ballon de séparation haute pression représente un équipement critique dans le centre de séparation du site Tin Fouye Tabankort, car il contient non seulement des produits inflammables mais aussi de la haute pression, ce qui augmente son niveau de criticité.

La réduction des risques d'un système industriel est une exigence importante pour l'entreprise. Réduire un risque à un niveau acceptable ou tolérable, en utilisant plusieurs barrières de sécurité, revient à évaluer l'efficacité de ces barrières.

Durant le présent projet de fin d'études, Il nous a été confié la mission, au sein de site Tin Fouye Tabankort, d'analyser la défaillance des barrières de sécurité implanté dans le ballon de séparation haute pression, et aussi d'étudier les phénomènes dangereux résultants de la défaillance de ces barrières.

Notre travail a été décomposé en trois étapes majeures :

La première avait pour but d'identifier les scénarios les plus critiques pour le ballon de séparation haute pression, nous avons utilisé deux méthodes classiques complémentaires entre elles. La première est la méthode AMDEC qui nous a aidé à connaître les modes de défaillance et le niveau de criticité de chaque équipement du ballon, La deuxième est la méthode HAZOP qui nous a aidé à connaître l'enchaînement des évènements de chaque scénario commençant par l'évènement initiateur jusqu'aux conséquences finales. Nous avons sélectionné quatre scénarios critiques pour l'étude.

La deuxième étape consistait à appliquer une méthode intégrée qui est LOPA, cette dernière nous a permis d'analyser les couches de protection (barrières de sécurité) pour les scénarios précédents, nous avons vérifié que le niveau de risque pour chaque scénario étudié est acceptable après la comparaison avec le niveau de risque tolérable proposé par le CCPS (les quatre scénarios ont une probabilité supérieure à la probabilité proposée par le CCPS qui est égale à 10^{-5}), nous avons jugé que le niveau du risque de ballon est acceptable, et que l'ajout d'autres barrières de sécurité pour réduire le niveau de risque du ballon est pas obligatoire pour l'instant.

La troisième partie de notre travail a été consacrée à l'application d'une méthode d'analyse quantitative pour les phénomènes dangereux résultants de la défaillance des barrières de sécurité selon le type d'ignition. Nous avons trouvé cinq phénomènes

dangereux différents (VCE, Boule de feu, Feu de flaque, Feu de flash, Feu de chalumeau). Le feu de flaque est le phénomène le plus fréquent, nous avons calculé sa géométrie (la hauteur est égale à 19.3 m, le diamètre est égale à 20 m), ainsi la durée estimée du feu qui est égale à 28 min 6s, ensuite nous avons appliqué une modélisation de ses effets en utilisant le logiciel de simulation PHAST qui nous a donné les résultats sous forme de distances d'effets thermiques. A la fin, pour lutter contre les effets du feu de flaque nous avons proposé une solution, en calculant la quantité de la mousse, la quantité d'émulseur et la quantité d'eau nécessaire pour l'extinction.

L'élaboration de ce travail nous a permis, d'une part, d'approfondir nos connaissances déjà acquises durant les années de notre formation à l'École Nationale Polytechnique, et d'autre part, de nous préparer à l'intégration dans le milieu professionnel. Quoique certaines difficultés sont rencontrées lors de l'élaboration de ce travail, comme le manque des données pour les calculs, nous pouvons dire que ce travail est un premier pas dans l'évaluation de la performance des barrières de sécurité pour d'autres points de site Tin Fouye Tabankort, et il serait souhaitable que les recommandations proposées dans ce rapport soient mises en pratique pour améliorer au mieux le niveau de sécurité au sein de site Tin Fouye Tabankort.

Bibliographie

1. Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures Division Production, 2010.
2. Norme CEI 61508, Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques / électroniques / électroniques programmables relatifs à la sécurité – Parties 1 à 7, octobre 1998-2000. Commission Electrotechnique Internationale, Genève, Suisse.
3. OHSAS 18001, Système de management de la santé et de la sécurité au travail – Spécification. BSI, AFNOR; 2007
4. Mazouni M-H « Pour une Meilleure Approche du Management des Risques: De la modélisation Ontologique du Processus Accidentel au Système Interactif d'Aide à la Décision ». Thèse de doctorat, Université de Nancy, Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 2008.
5. Lévy J., Lussault 2003. Dictionnaire de géographie et de l'espace des sociétés. Belin, Paris. P 974.
6. Gey, J. & Courdeau, D. 2005, Pratiquer le management de la santé et de la sécurité au travail : Maitriser et mettre en œuvre l'OHSAS 18001, ISBN 2124750836, AFNOR Editions .
7. Veyret Y., Beucher S., Reghezza M., 2004. Les risques. Bréal. ed, Amphi Géographie- Capes/Agrégation. Paris.205p.
8. MEDAD 2007. Le plan de prévention des risques technologiques (PPRT) – Guide méthodologique.
9. Londiche .2004, Analyse des risques, Document interne Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
10. Rigas 2004.*Major Hazards Analysis for Populations Adjacent to Chemical Storage Facilities. Process Safety and Environmental Protection*
11. *National Association of Emergency Medical Technicians, 2007. Pre Hospital Trauma Life Support, 6th edition, Mosby, ISBN: 978-0-323-03331-2.*
12. Fédération Nationale des Sapeurs-Pompiers Français, 2002. Guide d'intervention face au risque chimique, 2eme édition, ISBN : 2-9511767-5

13. INERIS – DRA – PREV – 2005 - 46036 – Op j – Probabilité – partie 2 : Données quantifiées.
14. INERIS DRA-14-141478-03176A, 2014.
15. Les phénomènes dangereux associés aux GPL dans les établissements de stockage hors raffineries et pétrochimie Indice 5 - décembre 2006.
16. INERIS – DRA 35 - Outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle ,2003.
17. P.Périlhon, Eléments méthodiques d'analyse des risques, Phoebus.
18. CEI Norme Internationale 812-1985. Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes –Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE).
19. Villemeur A., Sécurité de fonctionnement de systèmes industriels: fiabilité - facteurs humains - informatisation, Collection des études et recherches d'électricité de France n°67, Ed Eyrolles, 1988.
20. Lawley, H. [1974], '*Operating study and hazard analysis*', *Chemical Engineering Progress*.
21. LOPA - *Layer Of Protection Analysis, simplified process risk assessment*, CCPS, 2001.
22. Canvey : *an investigation of potential hazards from operations in the Canvey Island/Thurrock area. Health and Safety Executive, HSMO, 1978.*
23. BABRAUSKAS, *Estimating large pool fire burning rates; Fire technology*, 1983.
24. THOMAS, *Fire research note 600; Fire research station, Borehamwood, England, 1965.*
25. INERIS Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA-76),2014.
26. http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/5123
27. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000023791687&categorieLien=id>

ANNEXE A : TABLEAU HAZOP

Equipement : Ballon de séparation HP5000 (S101)

paramètre	Déviaton	Mot clé	Cause	Conséquence	Prévention	Protection	Observations
Débit	Moins	Pas assez de débit	Vanne d'entrée de sécurité TOR fermée	Chute de niveau Chute de pression Problème d'alimentation de séparateur BP	Indicateur de niveau Surveillance périodique	Bypass	Pour le ballon de séparation HP la vanne V d'entrée de sécurité TOR doit être restée ouverte pour assurer l'alimentation continue de centrale électrique
	Trop	trop de débit	Défaillance Vanne sortie huile (ouverte complètement) Défaillance de la plaque de brise de jet Défaillance vanne sortie eau (ouverte complètement) Défaillance de la plaque de brise de jet	Chute de niveau d'huile Chute de pression Chute de niveau Chute de pression	Indicateur de niveau Surveillance périodique Indicateur de niveau Surveillance périodique		
	Retour	Débit inverse	Chute de pression en amont	Chute de niveau Chute de pression	Indicateur de niveau Surveillance périodique	Clapet anti retour	Le clapet anti retour se trouve en amont de ballon de séparation HP

Pression	Moins	Moins de pression	<p>Pas assez de débit Retour de débit Manque d'alimentation</p>	<p>Perturbation au niveau de système d'instrumentation Problème d'alimentation pour les autres unités</p>	<p>Surveillance périodique Indicateur de niveau</p>		Le système d'instrumentation est assuré par le gaz (pneumatique)
	trop	Trop de pression	<p>Rupture de séparateur Corrosion Vannes sorties gaz et huile défailantes Vanne de sécurité HP défailante</p> <p>Augmentation de température Défaillance vannes sorties gaz et eau (fermées) Augmentation de niveau</p>	<p>Débordement de brut Fuite de gaz Pollution environnement Risque explosion</p> <p>Rupture de séparateur Risque de monté eau et corrosion Débordement de brut et dispersion de gaz Explosion en cas d'ignition Incendie en cas d'ignition</p>	<p>Surveillance périodique Indicateur de niveau</p> <p>Indicateur de niveau</p>	<p>Bypass Moyens de lutte contre incendie</p> <p>Soupape de sécurité Disque de rupture Moyens de lutte contre incendie</p>	

Niveau	Moins	Pas assez de niveau	<p>Vanne d'entrée de sécurité TOR fermée Défaillance vannes de sorties eau et huile (ouvertes complètement) Manque d'alimentation</p> <p>Rupture de séparateur Corrosion</p>	<p>Problème d'alimentation des autres unités (centre de collecte le centrale électrique et l'UTGA)</p> <p>Débordement de brut Dispersion de gaz risque de feu en cas d'ignition</p>	<p>Indicateur de niveau Surveillance périodique</p> <p>Indicateur de niveau Surveillance périodique</p>	<p>Bypass</p> <p>Moyens de lutte contre incendie</p>	
--------	-------	---------------------	--	---	---	--	--

	Trop	Trop de niveau	Vanne d'entrée de sécurité TOR ouverte Défaillance vannes sorties gaz et eau (fermées)	rupture de séparateur Débordement de brut Dispersion de gaz risque d'incendie /explosion en cas d'ignition	Indicateur de niveau Surveillance périodique	bypass Moyens de lutte contre incendie	
Température	Moins	Température faible	Température hivernale	chute de débit engorgement de bac	Capteur de température	Réchauffeur	
	Trop	Trop de température	Feu dans la zone Température estivale	augmentation de pression	Capteur de température		

ANNEXE B : TABLEAU AMDEC

◆ **Échelle de probabilité [2]**

Probabilité	
Échelle	Traduction quantitative
4	Évènement très probable : s'est déjà produit sur le site ou de nombreuses fois sur d'autres sites
3	Évènement probable : ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais a été observé de façon récurrente sur d'autres sites.
2	Évènement peu probable : ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais quelques fois sur d'autres sites
1	Évènement improbable : ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais très rarement sur d'autres sites.

◆ **Échelle de gravité [2]**

Gravité	
Échelle	Traduction quantitative
4	Effets critiques (irréversibles) : arrêt du système, détérioration irréversible de l'équipement ou atteinte de la sécurité à l'extérieur du site
3	Effets critiques (réversibles) : arrêt du système, détérioration réversible de l'équipement ou de la sécurité
2	Aucun effet critique : le système continue à fonctionner, détérioration limitée au composant
1	Pas d'effets significatifs sur l'équipement

◆ **Matrice de criticité [2]**

Niveau de Gravité					
4					
3					
2					
1					
	1	2	3	4	Niveau de probabilité

Site : CS1

Date :02/04/2016

Equipement : Ballon de séparation HP5000 (S101)

Equipement Repère	Fonction	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effet local	Effet final	Prévention	protection	P	G	C
Vanne entrée de sécurité brut de type TOR	Vanne de type TOR (ouverte complètement ou fermée complètement) qui permet la rentrée de brut	Défaillance en position ouverte	Défaillance mécanique interne Défaillance de régulation	Augmentation de niveau Augmentation de pression	Rupture de séparateur HP Débordement de brut et Dispersion de gaz Possibilité d'incendie/explosion en cas d'ignition	Surveillance périodique capteur de niveau	Bypass Cuvette de rétention Soupape de sécurité Disque de rupture moyens de lutte contre l'incendie	4	3	12
		Défaillance en position fermée	Défaillance mécanique interne Défaillance de régulation	Chute de niveau Chute de pression en amont, montée en pression	Problème d'alimentation des autres unités	Surveillance périodique Capteur de niveau	Bypass	4	2	8
		Défaillance structurelle	Impact externe Défaillance de joint	Débordement de brut Dispersion de gaz	Dégâts environnementaux Incendie/explosion en cas d'ignition	Surveillance périodique Capteur de niveau	bypass moyens de lutte contre l'incendie	1	3	3


		Fuite externe	Corrosion	Fuite de brut Fuite de gaz	Dégâts environnementaux Incendie/explosion en cas d'ignition	Surveillance périodique Capteur de niveau	bypass moyens de lutte contre l'incendie	2	3	6
Vanne sortie Huile	Vanne de régulation qui permet la sortie de l'huile	Défaillance en position ouverte	Défaillance mécanique interne, Blocage de flotteur	Chute de niveau Chute de pression		Surveillance périodique Capteur de niveau	Bypass	4	2	8
		Défaillance en position fermée	Défaillance mécanique interne Blocage de flotteur	Augmentation de niveau Augmentation de pression	Rupture de séparateur HP Débordement de brut et Dispersion de gaz Possibilité d'incendie/explosion en cas d'ignition	Surveillance périodique Capteur de niveau	bypass Cuvette de rétention Soupape de sécurité Disque de rupture moyens de lutte contre l'incendie	4	3	12
		Défaillance structurelle	Impact externe Défaillance de joint	Débordement de l'huile	Pollution de l'environnement Incendie en cas d'ignition	Surveillance périodique Entretien périodique	bypass moyens de lutte contre l'incendie	1	3	3
		Fuite externe	Corrosion	Fuite de l'huile	Pollution de l'environnement Incendie en cas d'ignition	Surveillance périodique Inhibiteur de corrosion	bypass moyens de lutte contre l'incendie	2	3	6

Vanne sortie gaz	Vanne de régulation qui permet la sortie de gaz en fonction de pression	Défaillance en position ouverte	Défaillance mécanique interne Défaillance Capteur de pression	Chute de pression	Chute de pression	Capteur de pression Surveillance périodique	bypass	4	2	8
		Défaillance en position fermée	Défaillance mécanique interne Défaillance Capteur de pression	Augmentation de pression Ouverture de soupape de sécurité Eclatement disque de rupture	Dispersion de gaz Explosion en cas d'ignition	Surveillance périodique Capteur de pression	Soupape de sécurité Disque de rupture moyens de lutte contre l'incendie	4	3	12
		Défaillance structurelle	Impact externe	Dispersion de gaz	Pollution atmosphérique Risque d'explosion	Surveillance périodique Entretien périodique	moyens de lutte contre l'incendie	1	3	3
		Fuite externe	Corrosion	Fuite de gaz	Pollution atmosphérique Risque d'explosion	Surveillance périodique Inhibiteur de corrosion	moyens de lutte contre l'incendie	2	3	6

Vanne sortie Eau	Vanne de régulation qui permet la sortie de l'eau en fonction de niveau	Défaillance en position ouverte	Défaillance mécanique interne Blocage de flotteur	Chute de niveau Chute de pression		Surveillance périodique Capteur de niveau	Bypass	4	2	8
		Défaillance en position fermée	Défaillance mécanique interne Blocage de flotteur	Augmentation de niveau Augmentation de pression	Rupture de séparateur HP Débordement de brut Dispersion de gaz	Surveillance périodique Capteur de niveau	bypass Cuvette de rétention Soupape de sécurité Disque de rupture moyens de lutte contre l'incendie	4	3	12
		Défaillance structurelle	Impact externe Défaillance de joint	Débordement de l'eau		Surveillance périodique Entretien périodique	bypass	1	2	2
		Fuite externe	Corrosion	Fuite de l'eau		Surveillance périodique Inhibiteur de corrosion	bypass	2	2	4

Flotteur huile	Régler l'ouverture de la vanne sortie huile en fonction de niveau de l'huile	Défaillance structurelle	Impact interne	Mauvaise régulation de la vanne	Problème de l'activité de séparation	Capteur de niveau Surveillance Périodique Entretien périodique		1	2	2
		Blocage physique ou coincement	Impuretés Engorgement de l'huile	Mauvaise régulation de la vanne huile	Problème de l'activité de séparation	Capteur de niveau Surveillance Périodique Entretien périodique		2	2	4
Flotteur eau	Régler l'ouverture de la vanne sortie eau en fonction de niveau d'eau	Défaillance structurelle	Impact interne	Mauvaise régulation de la vanne eau	Problème de l'activité de séparation	Capteur de niveau Surveillance Périodique Entretien périodique	Capteur de niveau	1	2	2
		Blocage physique ou coincement	Impuretés	Mauvaise régulation de la vanne eau	Problème de l'activité de séparation	Capteur de niveau Surveillance Périodique Entretien périodique	Capteur de niveau	3	2	4

ANNEXE C : Propriété du Pétrole brut

Pétrole brut		
Autres noms		
La formule chimique		
Le Numéro CAS	8002-05-9	
Les Propriétés Physiques		
<i>Poids moléculaire</i>		g/mol
<i>Point d'ébullition</i>	24 – 140	°C
<i>Point de fusion</i>	< -40	°C
<i>Tension de vapeur (à 20°C)</i>	40 – 800	Mbar
<i>Densité Relative de la vapeur saturée dans l'air (20°C)</i>	1,1 – 2,1	Référence air = 1
<i>Densité Relative eau (20°C)</i>		Référence eau = 1
<i>Solubilité dans l'eau</i>	Insoluble	g/100ml
<i>Chaleur de combustion</i>	49500	kJ/kg
<i>Limites d'explosivité (LEL%-UEL%)</i>	0,6 – 8	vol% - vol%
<i>Température d'auto-inflammation</i>	250	°C
<i>Point d'éclair</i>	< 21	°C
<i>Energie minimale d'ignition</i>		mJ
<i>Etat</i>	Liquide	
Les Propriétés toxicologiques		
<i>IDLH</i>	-	Ppm
<i>LC50, rat, 4h</i>	382	mg/l
<i>LD50, rat, orale</i>	-	mg/kg
<i>Indices NFPA</i>	1	Nh
	3	Nf
	0	Nr
Les Propriétés aquatoxiques		
<i>Pas d'information disponible sur la substance</i>		
Les phrases de risques	R45	
Etiquetage EU		

ANNEXE D : Paramètres permettant d'estimer le débit masse surfacique de combustion

Nature du combustible	Densité (kg/m ³)	Δh_v (kJ/kg)	Δh_c (MJ/kg)	m_{∞} (kg/m ² .s)	$k\beta$ (m ⁻¹)	k (m ⁻¹)	T_f (K)	$X_f^{(e)}$ (-)
Gaz liquéfiables								
H ₂ liquide	70	442	120,0	0,017 (±0,001)	6,1 (±0,4)	-	1600	0,25
Gaz naturel liquéfié (fréquemment CH ₄)	415	619	50,0	0,078 (±0,018)	1,1 (±0,8)	0,5	1500	0,16-0,23
Gaz de pétrole liquéfié (fréquemment C ₃ H ₈)	585	426	46,0	0,099 (±0,009)	1,4 (±0,5)	0,4	-	0,26
Alcools								
Méthanol (CH ₃ OH)	796	1195	20,0	0,017 ???	a	-	1500	0,17-0,20
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	794	891	26,8	0,015 ???	a	0,4	1490	0,20
Combustibles organiques classiques								
Butane (C ₄ H ₁₀)	573	362	45,7	0,078 (±0,003)	2,7 (±0,3)	-	-	0,27-0,30
Benzène (C ₆ H ₆)	874	484	40,1	0,085 (±0,002)	2,7 (±0,3)	4,0	1460	0,14-0,38
Hexane (C ₆ H ₁₄)	650	433	44,7	0,074 (±0,005)	1,9 (±0,4)	-	1300	0,20-0,40
Heptane (C ₇ H ₁₆)	675	448	44,6	0,101 (±0,009)	1,1 (±0,3)	-	-	
Xylènes (C ₈ H ₁₀)	870	543	40,8	0,090 (±0,007)	1,4 (±0,3)	-	-	
Acétone (C ₃ H ₆ O)	791	668	25,8	0,041 (±0,003)	1,9 (±0,3)	0,8	-	
Dioxane (C ₄ H ₈ O ₂)	1035	552	26,2	0,018 ^b	5,4 ^b	-	-	
Diéthyl éther (C ₄ H ₁₀ O)	714	382	34,2	0,085 (±0,018)	0,7 (±0,3)	-	-	
Hydrocarbures								
Ether de pétrole	740	-	44,7	0,048 (±0,002)	3,6 (±0,4)	-	-	
Essence	740	330	43,7	0,055 (±0,002)	2,1 (±0,3)	2,0	1450	0,18
Kérosène	820	670	43,2	0,039 (±0,003)	3,5 (±0,8)	2,6	1480	0,35
JP-4	760	-	43,5	0,051 (±0,002)	3,6 (±0,1)	-	1250	
JP-5	810	700	43,0	0,054 (±0,002)	1,6 (±0,3)	0,5	1250	
Huile pour transformateur	760	-	46,4	0,039 ^b	0,7 ^b	-	1500	
Fioul lourd	940-1000	-	39,7	0,035	1,7 (±0,6)	-	-	
Brut	830-880	-	42,6	0,0335 (±0,003)	2,8 (±0,4)	-	-	0,18