REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Hygiène et sécurité industrielle

Spécialité : Hygiène et sécurité industrielle

Investigation sur l'explosion du complexe de gaz liquéfié (cas de SKIKDA 2004) : Causes et conséquences

Présenté par : ***proposé et Dirigé par :***

- Khaldi khaled Imad
- Boukhtache Oussama

Dr : Sarrai Abdel Aziz

Promotion 2022

Remerciements

Nous remercions tout d'abord « Allah »

Qui nous a armés de patience et de courage durant ces longues années d'étude.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères d'abord à M. RAHMANI Chérif qui nous a énormément aidé durant le parcours universitaire, ainsi qu'à Dr. Sarrai Abdel Aziz pour son aide précieuse à l'élaboration de ce mémoire, ce dernier a toujours été à notre écoute, sa disponibilité pour la réalisation de ce mémoire fut remarquable et nous en sommes reconnaissants. Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions. Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à toutes les professeures et tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études. Enfin, nous tenons également à remercier nos amis qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à tout.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes chers parents qui se sont sacrifiés toute ma vie

Cours étudiant pour les encourager

Pour leur volonté et leur désir de me voir pleinement

J'ai étudié brillamment sans oublier mes sœurs, frères et neveux

Ainsi qu'à tous mes professeurs qui ont contribué à ma formation

De mes débuts à l'école primaire jusqu'à aujourd'hui

A mes amis Midou, Zahro, Lokman et Wisall, aussi Khadîdja

Et bien sûr à mon ami Oussama Boukhtache

Pour compléter ce message

Je tiens à remercier le Dr Sarrai Abdelaziz et le Dr Rahmani chérif (qui était comme un père pour nous)

Et à tous ceux qui m'ont tant aidé

A la fin de ce message

Pour tous les étudiants faisant partie de

La branche HSI merci beaucoup pour toutes ces belles journées souhaite du bonheur

Enfin, à tous ceux que j'aime et à ceux qui m'aiment.

IMAD

Dédicaces

Je dédie ce travail de fin d'études à:

- à mes chers parents qui se sont sacrifiés durant tout mon

Parcours estudiantin pour leurs encouragements

Pour leur volonté et leur désir de moi voir achever

- À tous mes amis

- Et bien sûr à mon binôme Khaldi Imad

Pour la réalisation de ce mémoire

- je tiens à remercier Dr Sarrai et Dr Rahmani

Pour son soutien et ses activités bénéfiques

- Ainsi à tous ceux qui ont été pour moi d'une aide précieuse

À la réalisation de ce mémoire

- A l'ensemble des étudiants faisant partie

De la HSI

- enfin, à tous ceux que j'aime, et qui m'aime

OUSSAMA

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale 1

CHAPITRE I : LES RISQUE ET ACCIDENTES INDUSTRIELS MAJERES EN ALGERIE

I.1 Introduction 3

I.2 Quelques définitions 3

I.2.1 Hygiène: 3

I.2.2 Sécurité : 4

I.2.3 Danger : 4

I .2.3 Le risque : 5

I .2.4 Dommage : 5

I .3 LES ACCIDENTS MAJEURS OU CATASTROPHES 6

I .3.1 Généralité : 6

I .3.2 Définitions 6

I .4 LES RISQUES ET ACCIDENTS INDUSTRIELS MAJEURS 10

I .4.1 Définitions et caractéristiques : 10

I.4.3 Les risques industriels 12

I .4.3.1 Risques professionnels 13

I .4.3.2 Risques industriels majeurs ou hauts risques 14

I .4.3.3 Les causes des risques industriels 15

I .5 Quelques accidents industriels en Algérie 15

I .5.1 SEBDOU – TLEMCEN - 20/11/2002 15

I .5.2 ALGER - 21/06/2004 15

I .5.3 BEKHAITA - MASCARA - 22/10/2006 16

I .5.4 ARZEW – ORAN - 08/11/2007 16

I .5.5 CONSTANTINE - 16/06/2009 16

I .5.6 HASSI MESSAOUD - 08/08/2011 16

I .5.7 SKIKDA - 05/01/2016 17

I .6 Présentation des accidents majeurs en Algérie....17
I .6.1 L'accident de SKIKDA 04/10/2005....17
Les effets et les conséquences de l'accident :....18
I.6.2 L'accident de NEZLA 15/ 09 / 2006 :....18
Les effets et les conséquences de l'accident :....18
I .6.3 L'accident de BETHIOUA 01/07/2019 :....18
Les effets et les conséquences de l'accident :....19
I .7 La gestion des risques technologiques :....19
I .7.1 L'acteur principal dans la gestion des risques....20
I .8 LES INCENDIES ET LES EXPLOSIONS :....21
I .8.1Généralités sur les incendies et les explosions....21
I .8.1.1 L'incendie....22
I .8.1.2 Les effets de l'explosion :....22
I .8.1.3 Les différents types d'effets :....23
I .8.1.4 Comment prévenir les explosions ou en limiter les effets....24
CHAPITRE II : LES METHODES D'ANALYSE DE RISQUE INDUSTRIELLE
Introduction....25
II.1 L'analyse de risque....26
a. Approche déterministe....27
b. Approche probabiliste....28
II .2 Méthodes quantitatives et qualitatives....29
II .2.1 Méthodes quantitatives....29
II .2.2 Méthode semi quantitative....29
II .2.3 Méthodes qualitatives....29
II .3.1 Démarche déductive....30
II .3.2 Démarche inductive....30
II .4 Les différentes méthodes d'analyse de risques....31
II .5 Panorama des méthodes d'analyse de risque....32
II .6 Arbre de Défaillance (AdD) :....33
II .6.1 Caractéristiques de la méthode :....33
II .6.2 Les objectifs de l'analyse par arbre des défaillances:....34
II.7 Arbre des causes (ADC)....36
II.7.1 Description de la méthode de l'arbre des causes (Principe de la méthode)....36
II.7.2 Apport de l'arbre des causes à l'analyses a priori des risques....37

II.8 Arbre d'événements (ADE) 38
II.8.1 Historique et domaine d'application 38
II.8.2 Principe 38
II.8.3 Objectif de l'arbre d'événements 38
II.8.4 Applications de l'arbre d'événements 39
II.9 Nœud Paillon 40
II.9.1 Historique et domaine d'application 40
II.9.2 Présentation de la méthode 40
II.9.2.1 Principe 40
II.9.3 Intérêts et limites 46
CHAPITRE III : L'EXPLOSION DU COMPLEX DE GAZ LIQUEFIE
III.1 Introduction 47
III.2 Wilaya de SKIKDA 47
III.4 Présentation de complexe GL1k : 47
III.5 Description des installations du complexe GL1K : 47
III.5.1 GAZ NATUREL LIQUIFIE : 48
III.5.2 Les principaux matériaux utilisés lors du processus de liquéfaction du gaz naturelle 48
III.6 Scenario l'explosion de complexe GNLK1 de Skikda survenu le 19-01-2004 49
III.6.1 Les cause d'accident 50
III.6.2 Chaudière à vapeur 51
III.6.3 Importance De la Sécurité industriel 51
III.7 Les conséquences de l'explosion du GNL de Skikda. 52
III.7.1 Economique 52
III.7.2 Social 52
III.7.3 Organisationnel 52
III.8 Appliquer la méthode du nœud papillon à l'explosion de complexe GNLK1 53
III.9 Que pouvons-nous faire pour réduire et éviter la récurrence de l'accident du complexe de liquéfaction du gaz naturel ? 55
III.10 Conclusion 55
Conclusion générale 57

الملخص

الهدف الرئيسي من دراستنا هو تحليل ودراسة أسباب وعواقب انفجار مصنع تسييل الغاز في سكيكدة عام 2004، والذي يعتبر من اكبر مصانع تمييع الغاز في الجزائر ، اخترنا طريقة عقدة الفراشة التي سمحت لنا بالحصول على رؤيه تفصليه لأسباب ونتائج الحادث وبناء على استخدام هذه الطريقة اقترحنا العديد من حواجز الوقاية والحماية التي تساعدنا لتفادي مثل هذه الحوادث في المستقبل

الكلمات المفتاحية : انفجار,خطر,عقدة الفراشة,الاسباب,النتائج

Abstract

The main objective of our study is to analyze and study the causes and consequences of the explosion of the gas liquefaction plant in Skikda in 2004, which is considered to be one of the largest liquefaction plants of gas in Algeria. We opted for the risk analysis by "BOW TIE" method, which allowed us to have a very detailed view of the accident by highlighting their causes and consequences. Finally, we propose the various prevention and protection barriers in order to avoid and minimize these types of accidents in the near future.

Keywords: Explosion, Risk, Bow Tie, Causes, Consequences

Résumé

L'objectif principal de notre étude est d'analyser et d'étudier les causes et les conséquences de l'explosion de l'usine de liquéfaction de gaz à Skikda en 2004, qui est considérée comme l'une des plus grandes usines de liquéfaction de gaz en Algérie. Nous avons opté pour la méthode d'analyse de risque «**Nœud de Papillon»,** qui nous a permis d'avoir une vision très détaillée sur l'accident en mettant en exergue leurs causes et leurs conséquences. Enfin, nous proposons les différentes barrières de prévention et protection afin d'éviter et de minimiser ces types d'accidents prochainement.

Mots Clés : Explosion, Risque, Nœud de Papillon, Causes, Conséquences.

Liste des figures

Figure I.1 : Accident Catastrophiques……..	9
Figure I.2 : Gravité des accidents signalés à la base de données MMRS…….…	13
Figure I.3 : Causes premières des accidents signalés à la base de données MARS…….	14
Figure I.4 : Conséquences des accidents industriels majeurs……...	14
Figure I.5 : Principales causes des accidents industriels majeurs…….	18
Figure II.1 : Classement des méthodes d'analyse des risques……..	30
Figure II.2 : Typologies et Approches des méthodes d'analyse de risque……...	31
Figure II.3 : Démarches inductives et déductives …….	33
Figure II.4 : Représentation de l'arbre de défaillance……...	38
Figure II.5 : Représentation de l`arbre des causes…….	41
Figure II.6 : Représentation de l`arbre d`évènement…….	43
Figure II.7 : Schéma d'un nœud papillon……..	45
Figure III.1 : Complexe Gl1k dans la zone industrielle Skikda……	52
Figure III.2 : Complexe GL1K (unités 20,30 et 40) avant l'accident…….....	54
Figure III.3 : L'explosion du complexe de GNL (GL1K) de Skikda……	55
Figure III.4 : Chaudière à vapeur ……..	56

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Panorama des méthodes d'analyse de risque……..35

Tableau II.2 : Symboles de certains éléments de l'AdD……....38

Tableau II.3 : Définition des événements composant un nœud papillon…….. 46

Liste des abréviations

ADE : Arbre d'évènement

AMDEC : L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité

AMDE : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets

APR : Analyse préliminaire des risques

ADD: Arbre des Evénements

BELEVE: Boiling liquid expanding vapor explosion

BIT : Bureau international

Boil over : Boule de feu

EDD : Etude de danger

EPR: Evaluation Probabiliste de Risque

EB : Événement de base

EI : Événement intermédiaire

ER : Événement redouté

ERS : Événement redouté secondaire

HAZOP : Analyse de risques et de sécurité de fonctionnement

LIE : Limite inférieur d'explosivité

MARS: Major accident reporting system

GPL : gaz de pétrole liquéfié

PCT : La pro calcitonine comme aide au diagnostic du speiss

Ph D : Phénomène dangereux

POI : Plan d'opération interne

PPI : Plan particulier d'intervention

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les incendies et les explosions sont des initiateurs potentiels d'accidents majeurs pour les installations industrielles en général et en particulier dans les complexes et unités de transformation des produits pétroliers.

Dans ces installations une explosion peut induire des dispersions de produits inflammables, toxiques, corrosifs et entre autre une perte de contrôle de l'installation.

On peut observer différents types d'explosions, soit celles résultant d'une combustion à vitesse élevée qui peut se produire au sein même d'un produit, soit au sein du mélange d'un gaz avec l'air, ou celles résultant de la mise en présence de substances chimiques dites incompatibles.

D'autres explosions peuvent être observées à savoir, celles dues à une rupture d'un réservoir ou d'un réacteur, due à une augmentation excessive de la pression du produit contenu ou à l'affaiblissement localisé de la résistance de ses parois.

Les risques d'explosion, incendies générés par l'exploitation des produits pétroliers et gaziers, montrent la problématique que peut engendrer une explosion dans une unité pétrochimique et les conséquences sur les installations de l'unité autant que celles des unités avoisinantes et l'environnement en général. Lorsque ces risques surviennent, ils peuvent être catastrophiques à l'image de la catastrophe du GL1K de Skikda qui s'est traduit par la destruction presque totale du complexe et la mort de 27 agents ainsi qu'un nombre important de blessés et de traumatisés. Cet accident a eu des répercussions jusqu'à la ville de Skikda qui se trouve à environ 03 km.

Dans de nombreux secteurs d'activité, tels que l'aéronautique, l'industrie chimique, l'industrie pétrolière, le nucléaire, il est nécessaire d'évaluer les risques afin de pouvoir se prononcer sur leurs acceptabilités. Les notions de danger et de risque sont très souvent confondues, le risque étant toujours lié à l'existence d'un danger, ou d'une situation dangereuse. Pour les différencier, il est possible de considérer que le danger est « réel » et le risque « potentiel ».

Certaines installations industrielles présentent, de par leurs activités, de nombreux dangers. Citons, par exemple, l'utilisation ou la synthèse de produits inflammables ou toxiques.

Un de ses conséquences dangereuses est la perte de confinement qui peut, dans certains cas, aboutir à un accident se manifestant, respectivement, par l'incendie et/ou l'explosion, dans le cas d'un produit inflammable, et par la dispersion atmosphérique, dans celui d'un produit toxique. L'objectif de ce mémoire de fin d'étude est de présenter une méthodologie d'analyse de risque quantifiée, dite méthode de « nœud papillon », qui résulte de la combinaison d'un arbre de défaillances et d'un arbre d'événements, centré sur un même événement redouté pour analyser le cas de l'explosion de Skikda et pour montrer les différents causes et les différents conséquences de cette accidents majeurs. Enfin nous présentons les différentes solutions qui peuvent entre installer afin de l'éviter.

CHAPITRE I

LES RISQUES ET ACCIDENTS INDUSTRIELS MAJEURES EN ALGERIE

I.1 Introduction

L'hygiène, la sécurité et les conditions de travail sont des notions récentes puisqu'elles ont fait leurs apparitions au 19ième siècle avec le développement industriel qui constitue le noyau dur autour duquel s'est construit progressivement le droit du travail ; avec les premières mesures de protections au bénéfice des travailleurs les plus fragiles. En Algérie l'évolution de la prévention des risques professionnels, depuis l'indépendance, s'est faite progressivement. Ayant hérité de la législation française en la matière, la prévention était prise en charge dans peu de secteurs sinon, absente. Une orientation vers l'économie de marché à imposer l'instauration de règles pour prévenir tout dommage causé à la santé des travailleurs, les protéger dans leurs emplois et adapter le travail à l'homme.

Le risque est une notion complexe, souvent explicitée sous la forme du couple probabilité/gravité.

L'Algérie a connu de nombreux événements exceptionnels résultant des accidents industriels qui ont causé des pertes d'ordre humains et matériel. L'absence d'informations sur les dommages occasionnés par ces événements ainsi que la difficulté d'effectuer des mesures fiables, nous contraint à n 'effectuer qu'un bilan basé sur les estimations du service de protection civile et des collectivités locale.

I.2 Quelques définitions

I.2.1 Hygiène:

C'est l'ensemble des moyens collectifs ou individuels, les principes et les pratiques visant à préserver ou à favoriser la santé

- Il en est ainsi des mesures préventives à mettre en œuvre dans le cadre de la lutte contre les maladies contagieuses En milieu professionnel, on cite, par exemple:
- Exécution des contrats de nettoyage
- Amélioration des conditions d'hygiène et de santé,
- Interdiction de prendre des repas dans les locaux des services,
- Aération des locaux de travail. [2]

I.2.2 Sécurité :

Le terme de l'entreprise recouvre diverses réalités :

De l'affaire individuelle aux sociétés les plus puissantes qui emploient de nombreux salariés et sont en rapport avec de multiples personnes. Les moyens, le personnel, les organisations différent d'une entreprise à une autre, mais concernant la sécurité, les principes à appliquer restent les mêmes. Comment gérer la sécurité comme n'importe quelle autre activité d'une entreprise ? La sécurité peut être résumée comme :

- L'état de ce qui inspire confiance, l'absence d'accidents ou de risque inacceptable.
- C'est la situation dans laquelle quelqu'un ou quelque chose n'est exposée :
- À aucun danger.
- À aucun risque d'agression physique, d'accident, ou de vol.
- C'est l'ensemble des mesures législatives et administratives qui ont pour objet de garantir les individus et les familles, contre certains risques appelés risques sociaux.
- C'est l'ensemble des mesures de prévention et de secours nécessaires en toutes circonstances à la sauvegarde des populations.
- La sécurité n'est pas l'affaire d'un spécialiste, mais celle de chacun
- La sécurité efficace est intégrée aux opérations, aux processus, comme à toutes les activités de l'entreprise.
- Tout accident peut être évité.
- Chacun est responsable de sa sécurité et celle des personnes qui l'entourent.
- La sécurité est avant tout une affaire de comportement individuel, à tous les niveaux, en commençant par les responsables. [2]

I.2.3 Danger :

Désigne une situation matérielle comportant un potentiel d'atteinte à l'intégrité physique des personnes.

- Des dommages pour les biens ou l'environnement ou d'une combinaison de ces atteintes.
- Le danger représente une menace potentielle de dommage alors que le risque est une évaluation de l'exposition à ce danger

- Cette notion de danger et l'exposition au danger est fondamentale ; si ceci n'est pas clairement établi, on retrouve les errements habituels, les erreurs d'analyse et les mauvaises décisions. [2]

I .2.3 Le risque :

Le risque, mot piège où sont confondus à la fois danger et conséquence, est la combinaison de la probabilité d'occurrence d'un dysfonctionnement et de sa gravité potentielle. Le risque mesure le niveau de danger.

Le risque est la probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées. Une source de risque est généralement caractérisée :

- Par la présence d'un ou plusieurs dangers potentiels, c'est-à-dire une situation réunissant tous les facteurs pouvant entraîner un accident potentiel ou engendrer un événement indésirable et compromettre la sécurité des personnes, la sûreté des installations, l'environnement :
- Produits dangereux : inflammables, explosifs, toxiques, polluants o réactions chimiques dangereuses : incompatibilité, corrosion, emballement thermique, dégagement de produits toxiques, … [2]

I .2.4 Dommage :

La notion de dommage caractérise les préjudices matériels, moraux ou environnementaux, directs ou indirects, immédiats ou différés, involontaires ou délibérés. NB. Les dommages différés sont généralement qualifiés de détriments. On parle par exemple de dommage sanitaire et de détriment écologique. [3]

I .3 LES ACCIDENTS MAJEURS OU CATASTROPHES

I .3.1 Généralité :

De tout temps, les êtres humains ont été en permanence confrontés à des accidents Corporels ou non, légers ou graves, à des événements et phénomènes de grande ampleur qui les ont profondément marqués. Parmi ces accidents, ceux qui ont été les plus importants par le nombre de victimes et les dégâts causés sont appelés majeurs et sont souvent restés dans la mémoire de l'humanité, plusieurs générations, voire plusieurs siècles après ; on les appelle également catastrophes, par suite de la gravité de leurs conséquences sur les hommes et l'environnement.

À l'origine de tout accident, même mineur, il existe un risque ou danger, qui, sous certaines conditions, conduit aux accidents. Les risques majeurs ou hauts risques sont à l'origine des accidents majeurs.

Parmi ces accidents majeurs, un grand nombre est d'origine industrielle et a pour siège, les usines et les ateliers de fabrication et de stockage. Certains accidents majeurs apparaissent lors du transport de matières dangereuses mais, comme les transports de produits font partie intégrante des processus industriels, ils seront traités comme des accidents industriels majeurs.

Globalement, on distingue deux classes de risques industriels :

- Les risques professionnels qui se traduisent par des accidents de faible importance, avec un nombre limité de victimes et des dégâts ne dépassant pas le cadre de l'atelier ou de l'usine ; ce sont les accidents du travail et, dans une certaine mesure, les maladies professionnelles ou à caractère professionnel.
- Les risques industriels majeurs proprement dits qui se traduisent par des accidents industriels majeurs

I .3.2 Définitions

L'accident est défini comme un événement imprévu et soudain, ayant entraîné des dégâts corporels et matériels. Les dégâts provoqués peuvent être plus ou moins importants, à caractère temporaire ou permanent. On distingue, suivant le lieu et l'origine, les accidents domestiques, les accidents du travail pour lesquels il existe une législation et une réglementation particulières, les accidents de la route, les accidents dus aux transports, les accidents de montagne, les accidents technologiques, etc.

Le caractère a priori imprévisible de l'accident semble quelque peu désarmant et inquiétant, mais les analyses et les études menées après des catastrophes montrent que s'il existe un risque, un jour, ce risque peut se traduire par un accident, dès lors qu'un certain nombre de paramètres sont réunis. Une ville située sur une faille tectonique peut, à tout moment, être Il n'existe pas une définition rigoureuse de l'accident majeur. Un accident est appelé Majeur ou catastrophique, lorsqu'il répond conventionnellement aux trois critères suivants :

- Accident ayant causé un nombre élevé de victimes, blessés ou morts et des dégâts importants tout autour.

- Accident ayant nécessité la mise en place d'importants moyens de secours et interventions diverses.

Accident ayant conduit à une pollution permanente ou sur une longue durée, de l'environnement (faune, flore, bâtiments et constructions diverses), avec des dégâts importants, souvent irréversibles. [4]

On distingue généralement, en fonction de leurs natures et caractéristiques, deux types d'accidents majeurs :

- **Les accidents majeurs naturels, appelés également catastrophes naturelles**, dont l'origine se trouve dans les phénomènes géologiques et climatiques tels que les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, les tempêtes, les cyclones, les raz de-marée et autres phénomènes similaires.
- **Les accidents majeurs technologiques** ayant pour origine les activités et les ouvrages des hommes. Ce sont les accidents nucléaires, les ruptures de barrages, les explosions dans les mines, les accidents de circulation dans les tunnels, les accidents des transports, ainsi que les accidents industriels. [4]

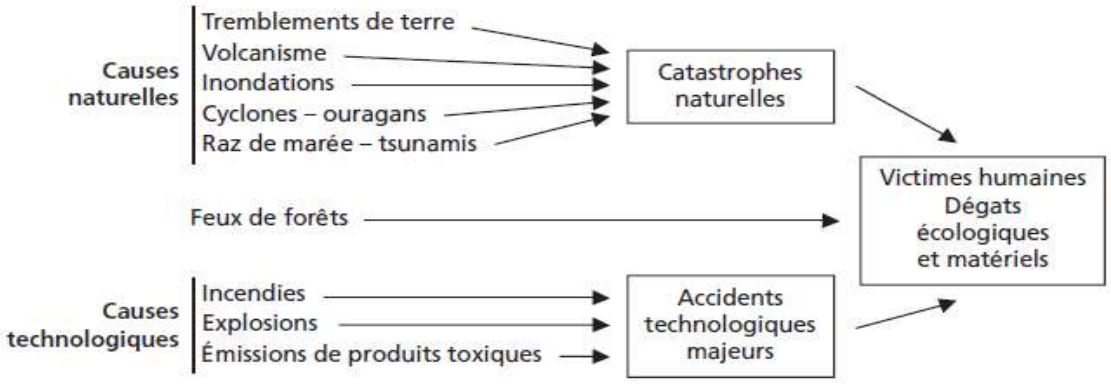


Figure I.1 : Accident Catastrophiques.

Le plus souvent, ces accidents font un nombre non négligeable de victimes et des dégâts matériels et écologiques qui nécessitent la mise en place d'une organisation particulière de secours et de recherche de responsabilités pour la réparation des conséquences.

À l'origine de tout accident, majeur ou non, il existe un risque, une situation dangereuse susceptible de produire un accident lorsque plusieurs paramètres sont réunis. Les risques majeurs ou hauts risques conduisent à des accidents majeurs.
À leur tour, les risques s'expliquent par la présence de phénomènes ou de produits dangereux qui à tout moment peuvent dégénérer et produire un accident.

Bien que l'accident soit défini comme un événement inattendu ou fortuit, l'analyse scientifique de la situation peut déterminer les véritables causes et expliquer les origines, voire les conséquences et même leur importance. C'est l'examen des risques existants qui explique la plupart des accidents produits et, dans de nombreux cas, il est possible de prévoir l'éventualité d'un événement catastrophique ou tout simplement portant préjudice : par exemple, la présence de produits explosifs peut entraîner une explosion car le risque existe ; la manipulation d'un produit toxique peut conduire à une intoxication accidentelle, pour peu que certaines conditions de sécurité ne soient pas remplies. [4]
En résumé, à l'origine de tout accident il existe un ou plusieurs risques ou dangers et, lorsque les nombreux paramètres sont réunis, le risque donne naissance à un accident. Le caractère imprévu ou fortuit de cet événement soudain s'explique par le nombre et la complexité des paramètres qui déterminent le passage de la situation de risque à l'accident. Ainsi, dans le cas d'une intoxication accidentelle, les différents paramètres peuvent être :

- la nature et la réactivité du produit toxique
- sa volatilité
- son état de division
- la température ambiante
- la température à laquelle est porté le produit
- la nature des processus d'utilisation
- les récipients et enceintes les contenant
- l'état général des récipients et enceintes
- les mesures de sécurité prises
- le fonctionnement des systèmes de contrôle
- le local où s'est produit l'accident
- le comportement psychosociologique du personnel, etc.

Et cette liste est loin d'être exhaustive, car bien d'autres paramètres, plus ou moins connus, peuvent intervenir dans le processus de naissance de l'accident. Il suffit de dire tout simplement que, dès lors qu'un risque d'intoxication existe, autrement dit dès lors que des produits dangereux sont présents, il y a probabilité pour qu'une ou plusieurs personnes soient intoxiquées accidentellement. De même, dès qu'un risque d'explosion existe par suite de la présence d'une matière inflammable ou explosible, la probabilité qu'une explosion accidentelle se produise est grande.

Les mesures de prévention qui doivent être prises suppriment certains de ces paramètres ou encore atténuent leur effet ; l'accident ne se produit pas ou, s'il se produit, les conséquences restent limitées. D'où l'importance des mesures de prévention, appelées également mesures de sécurité, qui doivent accompagner tout processus ou manipulation dangereux. [4]

I .4 LES RISQUES ET ACCIDENTS INDUSTRIELS MAJEURS

I .4.1 Définitions et caractéristiques :

Définitions :

Les accidents industriels sont des accidents technologiques qui ont lieu lors des processus industriels, le plus souvent dans l'enceinte même des usines. Il est bien connu que les industries mettent en œuvre, sur une grande échelle, une foule de produits et de processus dangereux, présentant des risques d'accidents et de maladies.

Le Bureau international du travail (BIT) à Genève donne les définitions suivantes :

« L'expression **accident majeur** (industriel) désigne un événement inattendu et soudain, y compris en particulier une émission, un incendie ou une explosion de caractère majeur, dû à un développement anormal dans le déroulement d'une activité industrielle, entraînant un danger grave, immédiat ou différé, pour les travailleurs, la population ou l'environnement à l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation et mettant en jeu un ou plusieurs produits dangereux. ».

« Le terme **danger** désigne une situation matérielle comportant un potentiel d'atteinte à l'intégrité physique des personnes, des dommages pour les biens ou l'environnement ou d'une combinaison de ces atteintes. »

La directive Seveso II de 1996 définit également ces deux termes :

« **Accident majeur** (industriel) : événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement couvert par la présente directive, entraînant pour la santé humaine, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, et/ou pour l'environnement, un danger grave, immédiat ou différé, et faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses. »

« **Danger** : propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine et/ou l'environnement. » [4]

Caractéristiques :

Si la majorité des accidents industriels sont de faible amplitude, faisant le plus souvent quelques victimes, décès, intoxications ou blessures, quelques-uns seulement, qui se produisent dans des conditions particulières, revêtent une grande importance, tant par le nombre des victimes que par l'étendue des dégâts infligés à l'environnement.

Une étude statistique menée par le Bureau des risques d'accidents majeurs (MAHB) de l'Union européenne donne la courbe de répartition des accidents (figure I.2) signalés à la base de données MARS (Major accident reporting system). [4]

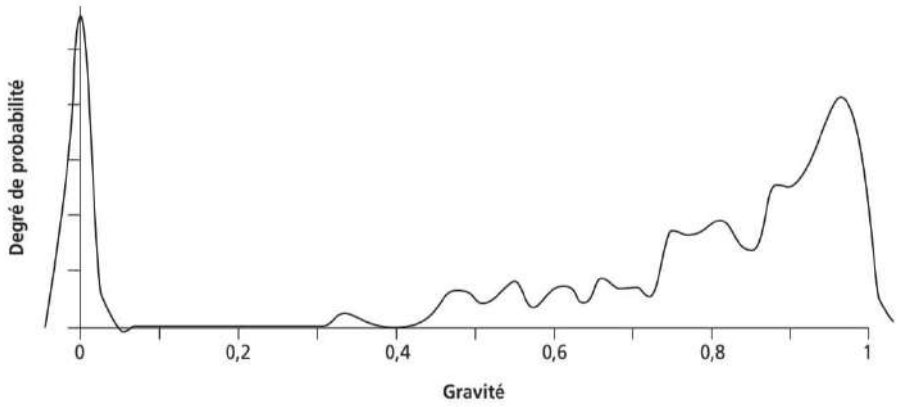


Figure I.2 : Gravité des accidents signalés à la base de données MARS. [4]

On constate que la majorité des accidents industriels sont ou bien de très faible importance ou très graves, les accidents de moyenne gravité étant très peu probables.

Toujours d'après la base de données MARS (figure I.3), les erreurs de manipulation sont les plus probables, suivies des défaillances des composants et des réactions d'emballement incontrôlables (réactions dangereuses). [4]

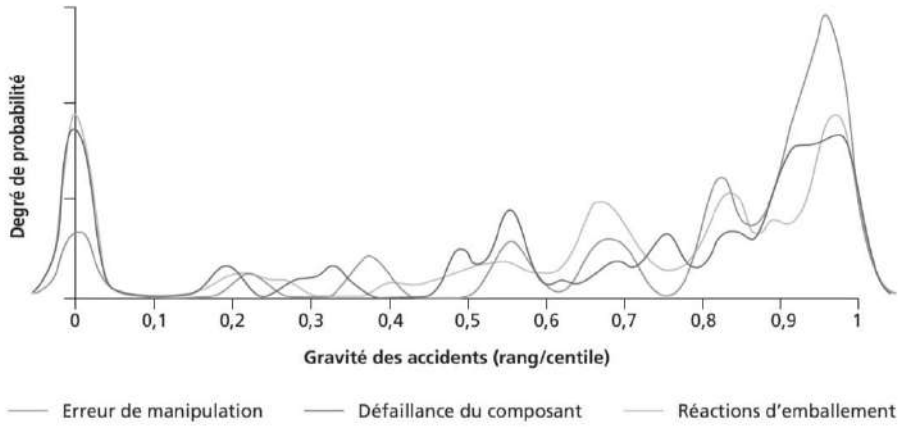


Figure I.3 – Causes premières des accidents signalés à la base de données MARS. [4]

Les accidents industriels majeurs peuvent avoir trois conséquences importantes qui les distinguent également des nombreux accidents et incidents habituels, connus dans les milieux industriels (figure I.4). [4]

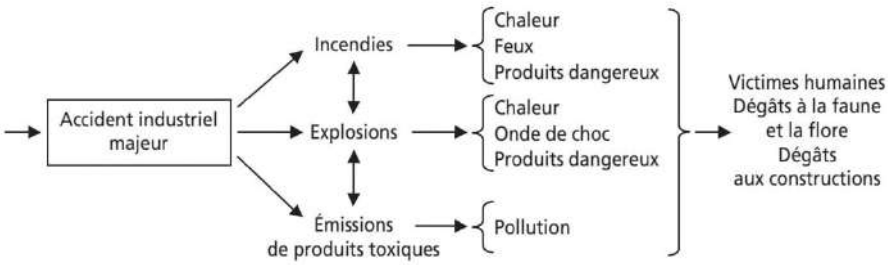


Figure I.4 : Conséquences des accidents industriels majeurs. [4]

I.4.3 Les risques industriels

À l'origine de tout accident industriel, il existe un risque, autrement dit un danger potentiel susceptible d'induire une situation plus ou moins grave, préjudiciable à l'environnement humain, biologique ou construit par l'homme. Les risques industriels sont ceux qui existent lors des activités industrielles, dans les différents locaux et secteurs des usines.

La directive Seveso II définit également le terme risque : « Risque : probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances données. »
Les risques industriels se traduisent le plus souvent par :

- Des atteintes humaines (accidents corporels et maladies).
- des atteintes écologiques à la faune et à la flore.
- des destructions aux constructions. [4]

Les risques industriels peuvent être divisés en deux groupes en fonction de la gravité des accidents auxquels ils peuvent donner naissance :

I .4.3.1 Risques professionnels

Les risques professionnels sont à l'origine des accidents du travail et des maladies professionnelles ou à caractère professionnel. Les conséquences de ces risques sont modérées et affectent essentiellement les salariés qui travaillent sur les lieux de l'accident. [4]

Il s'agit le plus souvent de blessures et d'intoxications plus ou moins graves, quelquefois de décès ; les dégâts matériels sont généralement faibles et restent limités aux postes de travail, à l'atelier et éventuellement à l'usine pour les plus importants d'entre eux. L'impact écologique est faible et se limite le plus souvent au périmètre de l'établissement.

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

Les principales familles de risques professionnels sont :

- Les risques mécaniques : coupures, écrasements, chocs, blessures diverses lors des travaux sur des machines-outils, et machines avec organes en mouvement rapide.
- Les risques électriques : électrisation et électrocution souvent mortelle lors des contacts avec des conducteurs nus parcourus par du courant électrique.
- Les risques physiques : acoustiques (surdité par exposition aux bruits intenses),

vibratoires (atteintes ostéo-articulaires, troubles musculaires par les vibrations transmises par des machines vibrantes comme les marteaux-piqueurs, les presses), ceux causés par des rayonnements ionisants dus à la manipulation de matières radioactives ou contaminées par la radioactivité (brûlures, atteintes sanguines, cancers) et les risques dus aux rayonnements non ionisants (rayonnements thermiques, lasers et électromagnétiques conduisant à des brûlures et des atteintes oculaires) :

- Les risques chimiques, de même nature que les risques industriels majeurs qui seront étudiés dans cet ouvrage.

- Les risques biologiques (maladies contractées par manipulation de germes pathogènes).
- Les risques dus aux manutentions manuelles d'ordre essentiellement musculosquelettiques (TMS).
- Les risques de transport et de circulation ainsi que les risques rencontrés dans les travaux de bâtiment et de génie civil qui comportent la plupart des risques citent ci-dessus.

La législation et la réglementation en matière de prévention des risques professionnels sont spécifiques et relèvent du Code du travail et du Code de la Sécurité sociale. [4]

I .4.3.2 Risques industriels majeurs ou hauts risques

Les **risques industriels majeurs ou hauts risques** diffèrent des précédents par l'ampleur des accidents et des dégâts causés : nombre de victimes élevé non limité aux seuls salariés, destructions de bâtiments, pollution importante de l'environnement. Les mesures de prévention sont souvent similaires à celles des risques professionnels, mais supposent des mesures techniques et administratives supplémentaires, justifies par l'ampleur des dégâts causés. Ainsi, très souvent, des fuites accidentelles de produits toxiques peuvent intoxiquer quelques salariés, en provoquant éventuellement quelques morts, tandis que l'accident de Bhopal et celui

de Seveso ont fait un nombre très élevé de victimes et une pollution de longue durée du site, interdisant toute présence humaine pendant plusieurs années. Un accident de même nature que celui de Seveso mais de beaucoup faible ampleur peut être limité à un local ou à un atelier et ne causer que quelques victimes. [4]

Il en résulte qu'entre un accident de travail et un accident industriel majeur, un certain nombre de mesures de prévention peuvent être communes, avec des mesures supplémentaires pour les accidents majeurs, afin de réduire l'ampleur des dégâts.

Sur le plan réglementaire, si les mesures de prévention relatives aux risques professionnels relèvent essentiellement du Code du travail, celles des accidents industriels majeurs sont couvertes par le Code de l'environnement en particulier. [4]

I .4.3.3 Les causes des risques industriels

L'existence de risques industriels qui conduisent aux accidents industriels majeurs, quelle que soit leur importance, s'explique par la présence (figure 4) :

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

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

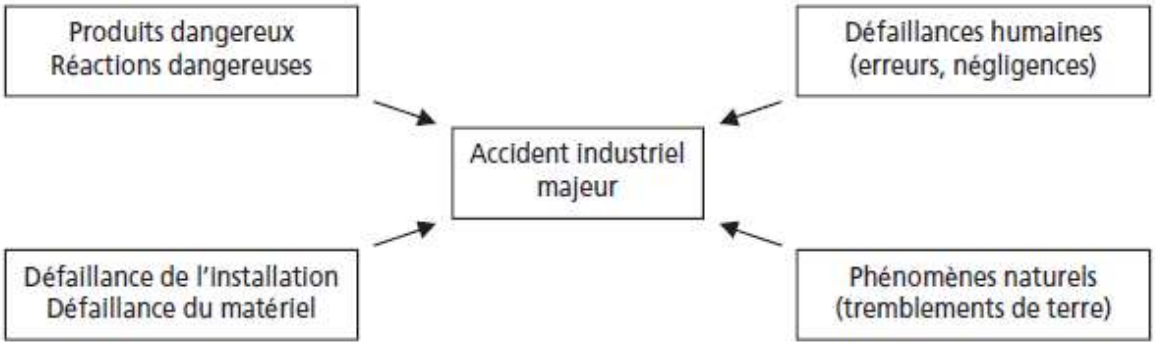


Figure. I.4 : Principales causes des accidents industriels majeurs. [4]

I .5 Quelques accidents industriels en Algérie

I .5.1 SEBDOU – TLEMCEN - 20/11/2002

Une bouteille de propane utilisée pour allumer le four explose dans une boulangerie. Douze personnes sont blessées et 13 autres sont tuées. [5]

I .5.2 ALGER - 21/06/2004

Une explosion se produit dans une centrale électrique mise en service en 2002, et impliquerait 2 réservoirs de combustible. Le bilan fait état de 11 personnes blessées dont 4 grièvement. Les principales installations de la centrale ne sont pas touchées, selon l'exploitant. L'explosion a soufflé les fenêtres des immeubles proches du site et la déflagration a été entendue dans plusieurs quartiers de la capitale. [5]

I .5.3 BEKHAITA - MASCARA - 22/10/2006

Une déflagration se produit vers 7h30 sur un gazoduc exploité par une compagnie algérienne. Les équipes de secours réussissent à circonscrire le sinistre vers 10h30 ; 78 personnes sont blessées, 13 habitations endommagées à différents degrés et une quinzaine d'ovins calcinés. Selon l'exploitant, la corrosion pourrait être à l'origine de l'accident. Après remplacement du tronçon de la conduite endommagée et vérification des cordons de soudure, la canalisation est remise en service. [5]

I .5.4 ARZEW – ORAN - 08/11/2007

Une fuite de gaz se produit dans l'après-midi au niveau d'une tuyauterie dans un dépôt de méthanol entraînant une explosion puis un incendie sur les câbles électriques ; 7 employés sont blessés. [5]

I .5.5 CONSTANTINE - 16/06/2009

Un conteneur de granulés de polystyrène explose vers 19 h dans une usine fabriquant des isolants en polystyrène et provoque un incendie ; une épaisse colonne de fumée se dégage. Le chauffeur du camion transportant le conteneur est tué sur le coup et un autre employé meurt de ses brûlures le lendemain ; une personne est portée disparue. Un pompier est gravement brûlé pendant l'intervention et 2 personnes sont incommodées par les fumées. [5]

I .5.6 HASSI MESSAOUD - 08/08/2011

Une explosion de propane suivie d'un incendie se produit sur une canalisation de transport de GPL de 8″ reliant 2 sites pétroliers à la suite d'une fuite de gaz ; 6 personnes sont blessées dont 2 grièvement. Les secours publics aidés par les entreprises privés intégrées dans le plan d'assistance mutuelle (PAM) maîtrisent le sinistre après 8 h d'intervention et protègent des flammes un poste de détente de gaz naturel situé à une vingtaine de mètres du foyer. Une quinzaine de véhicules appartenant à des entreprises industrielles proches du lieu de l'accident est détruit. Selon la presse, la canalisation aurait été percée durant des travaux de raccordement sur le réseau d'eau de la zone industrielle. [5]

I .5.7 SKIKDA - 05/01/2016

Une explosion suivie d'un incendie se produit vers 8h30 dans un centre d'enfûtage de GPL au niveau d'un complexe gazier. Les pompiers éteignent l'incendie vers 9 h. L'explosion fait 1 mort et 19 blessés dont 8 grièvement. L'onde de choc de l'explosion a été ressentie au centre-ville de Skikda ainsi que dans plusieurs unités de la zone pétrochimique mitoyenne du site. [5]

Selon les ouvriers, l'explosion a été précédée d'une forte odeur de gaz au niveau du carrousel d'enfûtage des bouteilles de gaz. [5]

I .6 Présentation des accidents majeurs en Algérie

I .6.1 L'accident de SKIKDA 04/10/2005

Une explosion suivie d'un incendie se produit vers 10 h sur un bac d'une capacité nominale de 51 000 m³ contenant 35 000 m³ de pétrole brut dans un terminal pétrolier. L'incendie se propage à un bac adjacent par effet domino. Le pétrole brut en feu génère un immense nuage noirâtre de plus de 200 m de hauteur au-dessus de la plateforme pétrochimique et de la ville voisine.

Le système d'extinction automatique des bacs ne fonctionne pas et des problèmes d'organisation et de coordination des secours compliquent l'intervention : 5 camions de lutte contre l'incendie positionnés trop près du premier bac enflammé sont totalement détruits par les flammes. Aucune mesure n'est prise pour sécuriser les populations environnantes qui paniquent et fuient la commune.

L'incendie n'est totalement circonscrit que 8 jours plus tard. Le bilan humain est très lourd : 2 morts et 7 blessés. Les pertes financières sont évaluées entre 5 et 6 millions de dollars.

Selon les conclusions des investigations menées, des gaz inflammables se seraient formés au-dessus du toit flottant du bac et se seraient accumulés en contrebas de ce dernier où se trouve une voie de desserte interne. Après avoir calé par manque d'oxygène, le moteur du véhicule dans lequel se trouvaient les 2 employés de la société qui décèdent, a redémarré et enflammé le nuage de gaz, propageant les flammes vers le haut du bac. [5]

Les effets et les conséquences de l'accident :

- Décès du chef d'équipe électricité le 04 octobre
- Décès du chef de section électricité le 05 octobre (brulure au 3ème degré)
- 06 blessés pendant l'intervention du 04 octobre (brulures et contusions)
- 23 blessés légers pendant l'intervention de l'octobre
- Deux bacs (105 &106) complètement détruit
- Perte d'une quantité important de brut
- Pollution
- 07 camions d'intervention embrasés

I.6.2 L'accident de NEZLA 15/ 09 / 2006 :

L'accident de TP 159 au puits de gaz Nezla 19 qui a survenu le 15 septembre 2006 à Hassi Messaoud puisque c'est un cas plus catastrophique, l'explosion a provoqué une éruption du puits dégageant une flamme de 50 à 60 m de hauteur, selon la Protection civile d'Ouargla. La première intervention effectuée par les services de sécurité de SH aurait permis de dégager les baraques d'habitation proches du lieu de l'incident ainsi que les citernes de carburant afin d'éviter la propagation de feu. [5]

Les effets et les conséquences de l'accident :

- Deux décès.
- Sept personnes ont été blessées.
- Grande perte de matériel de forage.
- Cet incident a couté à SH plus de quatre millions de dollars.

I .6.3 L'accident de BETHIOUA 01/07/2019 :

A 22h04, une explosion suivie d'un incendie se produit dans un complexe pétrochimique, situé dans une zone industrielle. L'explosion a eu lieu durant des travaux de maintenance. 13 employés sont transportés à l'hôpital, l'un d'eux est grièvement brûlé. Les dégâts matériels sont importants, ils sont estimés à quelques centaines de millions de dollars. Une des 6 unités de liquéfaction est détruite.

D'après la presse, l'unité concernée, datant de 1984, semblait présenter des anomalies de fonctionnement régulières. Une fuite importante d'hydrocarbures gazeux mélangée à l'air aurait été aspirée par l'entrée d'air d'une chaudière. [5]

Les effets et les conséquences de l'accident :

- 13 personnes blessées
- D'énormes pertes financières

I .7 La gestion des risques technologiques :

Une gestion efficace des risques technologiques est donc synonyme d'équilibre entre la **Sécurité** et la protection de son environnement et la garantie d'une activité industrielle stable.

Les acteurs impliqués dans la gestion des risques technologiques, principalement les industriels, l'administration, les collectivités locales et le public participent, à la recherche de compromis sur les risques technologiques résiduels. Cette recherche est à la base de toute gestion efficace des risques. Elle se décline généralement suivant quatre axes principaux reposant tous sur l'identification et l'évaluation des risques :

- La réduction des risques à la source.
- La préparation des interventions en cas d'accident.
- L'information préventive du public.
- La maitrise de l'urbanisation

L'identification et l'évaluation des risques sont généralement assurées par l'industriel exploitant. La réduction des risques à la source incombe également à l'exploitant souvent dans un cadre de la réglementation en matière de **sécurité.**

Malgré les mesures de réduction du risque prises à la source au niveau des installations dangereuses, des plans de secours doivent être mis en place et testés régulièrement afin d'assurer la **sécurité** du personnel, des populations avoisinantes et de l'environnement en cas d'accident. Ces plans sont généralement de la responsabilité de l'industriel (Plans internes) ou de l'état (Plans externes ou plans d'urgence) suivant que les conséquences des accidents prennent de l'ampleur.

L'information des populations concernées par les risques technologiques est assurée par l'industriel avec l'appui des collectivités locales et de l'Etat de façon que toutes les personnes se trouvant au voisinage des installations dangereuses connaissent la nature des risques et les consignes à suivre pour se protéger en cas d'accident. Le dispositif décrit ci-dessus peut

être dans certains cas insuffisant pour assurer la **sécurité** des populations. Les délais nécessaires à la mise en œuvre des plans de secours peuvent en effet être trop long vis à vis d'accidents à cinétique rapide (incendie- explosions, émanation toxiques, …).

Aussi, l'éloignement des populations et donc des habitations dans le cadre de la gestion de l'espace autour des installations industrielles peut s'imposer (maîtrise de l'urbanisation et des voies de communication). [4]

I .7.1 L'acteur principal dans la gestion des risques

Le concept de gestion des risques est bien évidemment interprété différemment selon la position occupée par les acteurs intervenant dans le processus de gestion des risques.

La perception des besoins est ainsi souvent différente d'un acteur à l'autre. L'industriel exploitant aura, entre autre tâche, à mettre en place un système de management, à former son personnel, à préparer et à appliquer des procédures de maintenance et de contrôle, à concevoir des unités techniques où l'accident soit le moins probable et où les impacts d'un accident sur l'environnement soient limités. En matière de risques industriels ou technologiques, le rôle et la responsabilité de l'industriel sont essentiels.

Toutes les actions menées au titre de l'évaluation des risques ou de leur réduction à la source sont en effet placées sous sa responsabilité.

C'est lui qui présente, dans le cas d'installations classées soumises à autorisation ou dans le cas de l'industrie pétrochimique, le dossier de demande d'autorisation d'exploiter, ou de concession de transport, aux autorités administratives compétentes.

C'est lui qui dans ce dossier analyse et évalue les risques liés à l'installation projetée et justifie les mesures prises pour les réduire (étude des dangers). Pour des projets importants ou délicats, il est de l'intérêt de l'industriel de mener cette démarche en concertation préalable avec les autorités administratives même si sa responsabilité reste entière en la matière.

L'industriel est également amené, dans ce type de procédure, à répondre aux questions qui peuvent être posées par les élus locaux et le public lors de la mise à enquête publique du dossier.

Concernant les installations soumises à autorisation, il pourra de plus être consulté à divers stades de la procédure et de façon informelle par l'inspecteur des installations classées et sera consulté de manière formelle lors du conseil départemental d'Hygiène et ensuite sur le projet

de prescriptions particulières qui lui seront imposées (par arrêté préfectoral) et qu'il devra donc respecter. Il devra, également signaler les modifications ou extensions notables de ses ouvrages industriels et demander, s'il y a lieu, les autorisations nécessaires.

Il doit notifier aux autorités administratives les accidents survenus. Les industriels et leurs associations professionnelles constituent également et de façon permanente, des interlocuteurs des autorités administratives nationales dans le cadre de la préparation de nouveaux textes réglementaires. [6]

I .8 LES INCENDIES ET LES EXPLOSIONS :

Les explosions, accidentelles ou volontaires, sont des phénomènes courants et d'ordinaire de faible ampleur. L'explosion contrôlée des explosifs est souvent utilisée dans de nombreux domaines comme les mines et les carrières, la construction des ouvrages de génie civil, la propulsion des fusées, etc. Les caractéristiques de ces explosions sont bien connues et l'énergie développée par elles est parfaitement maîtrisée et utilisée.

Les plus à redouter sont, bien évidemment, les explosions accidentelles qui peuvent conduire à des dégâts considérables, comme c'est le cas des explosions industrielles majeures.

L'explosion est un phénomène relativement bien étudié et donc bien connu, elle est soumise à différents paramètres dont la connaissance permet sa maîtrise. Mais, souvent, compte tenu du nombre élevé de paramètres qui interviennent et de la sensibilité du phénomène d'explosion, un accident peut se produire sans que l'on puisse intervenir ou le circonscrire.

À l'origine de l'explosion, il y a une réaction dangereuse, qu'elle soit à mono-composant (cas des explosifs et des substances instables) ou à composants multiples (cas des combinaisons de produits incompatibles et des combustions). [4]

I .8.1Généralités sur les incendies et les explosions

L'explosion est définie comme étant un éclatement violent soudain ; cet éclatement est dû essentiellement à la libération de gaz chauds sous pression.

C'est un phénomène où l'énergie potentielle d'un système, libérée très rapidement, a un pouvoir destructeur élevé car elle est transmise à son environnement. [4]

I .8.1.1 L'incendie

Le terme incendie a été emprunté par la langue française au XVI[e] siècle au latin « Incendium » (embrasement), dérivé de « incendere » (allumer). Il désigne un feu violent, un embrasement qui se propage à un édifice, une maison, une forêt, etc. L'incendie est une réaction de combustion non maîtrisée dans le temps et l'espace.

L'incendie, appelé communément feu, est particulièrement destructeur pour les activités humaines et la nature : habitations, lieux de travail, entrepôts, véhicules, cultures, forêts, monuments historiques, etc.

La prise en compte du risque d'incendie a conduit à créer des services de secours (sapeurs-pompiers, protection civile). Ils ont développé et perfectionné des moyens de lutte contre l'incendie pour combattre l'incendie. [4]

I .8.1.2 Les effets de l'explosion :

L'explosion, produit essentiellement des effets de surpression et des effets thermiques aussi que des effets de projections :

- Les effets de surpression engendrés par une explosion due à la production de gaz de combustion sont relativement importants dans les cas de fort confinement et peuvent passer du cas de déflagration à celui de détonation.
- Les effets d'un éclatement d'un réservoir ou d'une conduite sont d'une part des effets de surpression dus à l'expansion brutale des gaz comprimés et les vaporisations instantanées d'une partie de la phase liquide et d'autre part des projections des fragments du réservoir ou de la conduite.
- Les effets thermiques d'une explosion sont dus au rayonnement de la flamme et des gaz chauds de combustion, leur portée et leur gravite sont variables selon l'étendue de la propagation de l'explosion et selon sa vitesse.
- Plus une explosion sera confinée ou en milieu encombre, plus la vitesse de flamme et la suppression seront grandes.
- Par ailleurs, plus les conditions d'explosion du mélange seront réunis sur une étendue vaste plus les cibles distantes seront affectées par les effets cumulatifs du rayonnement

I .8.1.3 Les différents types d'effets :

Les types d'effets que l'on rencontre dans l'industrie (excepté l'industrie nucléaire) peuventêtre classés en trois catégories :

- Effets thermiques (incendies, BLEVE)
- Effets de pression (explosions)
- Effets toxiques (dispersion atmosphérique)

La finalité de l'estimation de conséquences est de déterminer l'intensité des effets surl'homme, l'environnement ou les installations des événements indésirables. [6]

-Les effets thermiques :

Sont liés à une combustion ou à l'explosion d'une substance inflammable ; les conséquences pour l'homme sont bien évidemment les brûlures et/ou l'asphyxie, allant de légères à sévères.

L'incendie est le plus souvent lié à l'embrasement de substances inflammables utilisées sur un site, notamment sur les sites de stockage de produits pétroliers ou assimilés. [6]

-Les effets de surpression :

L'explosion d'une capacité, suite par exemple à un emballement thermique ou à un BLEVE, est génératrice d'onde de choc extrêmement dévastatrice. L'accident de l'usine AZF de

Toulouse en 2001 est l pour nous le rappeler. Des modèles adaptés permettent la détermination des niveaux de pression atteints en fonction de la distance et ainsi estimer les conséquences sur l'homme (niveaux de pressions létaux) et sur les installations (ruine des installations, bris de vitres,…). [6]

-Les effets toxiques :

Lors d'émissions accidentelles de produits toxiques liquides ou gazeux, on doit déterminer lesdistances d'impact sur l'homme, généralement en termes de doses reçues en fonction de la distance à la source d'émission du produit. [6]

I .8.1.4 Comment prévenir les explosions ou en limiter les effets

Il faut veiller à ce que le combustible, le comburant, et la source d'inflammation ne formentjamais les conditions favorables à une explosion, comme par exemple :

- En supprimant le comburant : suppression de l'air par les toits flottants dans les bacs d'hydrocarbures, ou substitution par un ciel de gaz neutre pour les liquides hautement inflammables.
- Maintien du mélange gaz- air en dessous de la limite inférieur d'explosivité (LIE).
- En supprimant la source d'inflammation : éloignement ou suppression de toute sourcede chaleur, utilisation de matériel électrique isoles (ADF) adaptes aux atmosphères explosifs (ATEX). [6]

CHAPITRE II

Les *Méthodes D'analyse De Risque Industrielle*

Introduction

Durant ces dernières décennies, le monde a connu un accroissement technologique qui a modifié profondément les exigences en termes de sûreté de fonctionnement des systèmes qui sont devenus de plus en plus complexes. Les systèmes industriels ont connu une augmentation notable du nombre des accidents majeurs et des catastrophes telles que les incendies et les explosions occasionnant des impacts et des effets graves sur les personnes, les biens et l'environnement. Pour cela, des efforts considérables sont fournis pour maîtriser la sécurité des installations industrielles. La maîtrise de ces phénomènes est obtenue grâce à des méthodes d'analyse appelées méthodes d'analyse des risques, reposant sur à un certain nombre de données et d'informations sur le système analysé et son environnement ainsi que sur le phénomène étudié.

Au cours de ces dernières années, plusieurs techniques et modèles mathématiques de prévision des risques ont été développés. Citons à titre d'exemple, l'analyse quantitative des risques (Quantitative Risk Analysis : QRA). (HAZOP, AMDEC, Arbre des Causes, Arbre des Evénements, Nœud de Papillon...) et des modèles mathématiques des effets et de vulnérabilité. La finalité étant d'estimer les risques individuel et sociétal et par suite appliquer les mesures qui répondent convenablement à cette estimation. Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes méthodes d'analyse des risques utilisées couramment, leurs domaines d'applications, leurs avantages et leurs inconvénients.

II.1 L'analyse de risque

C'est quoi ?

• Une méthode pour faire le point sur la qualité et l'opportunité des mesures de sécurité en place pour contrôler ou éliminer les risques à la santé et à la sécurité à un poste, une machine, une tâche, etc.

• Une méthode pour cibler où l'on doit faire des efforts de prévention dans le but d'éviter des lésions et des maladies professionnelles.

Pourquoi c'est utile ?

- Pour identifier et évaluer les risques associés à l'ensemble d'un établissement.
- Pour identifier et évaluer les risques à un poste de travail.
- Pour identifier et évaluer les risques sur une machine ou un équipement.
- Pour identifier et évaluer les risques associés à une tâche.
- Pour identifier et évaluer les risques associés à une situation.

Comment ça marche ?

Étape 1 : Déterminer la portée de l'analyse

Étape 2 : Identifier les taches à réaliser

Étape 3 : Faire l'inventaire des risques pour chaque tache

Étape 4 : Estimer les risques

Étape 5 : Choisir les mesures correctives et préventives pour les risques graves et sérieux, selon le plan d'action

Étape 6 : Mettre en œuvre les mesures immédiates ou permanentes

Étape 7 : Réévaluer le niveau de maitrise des risques

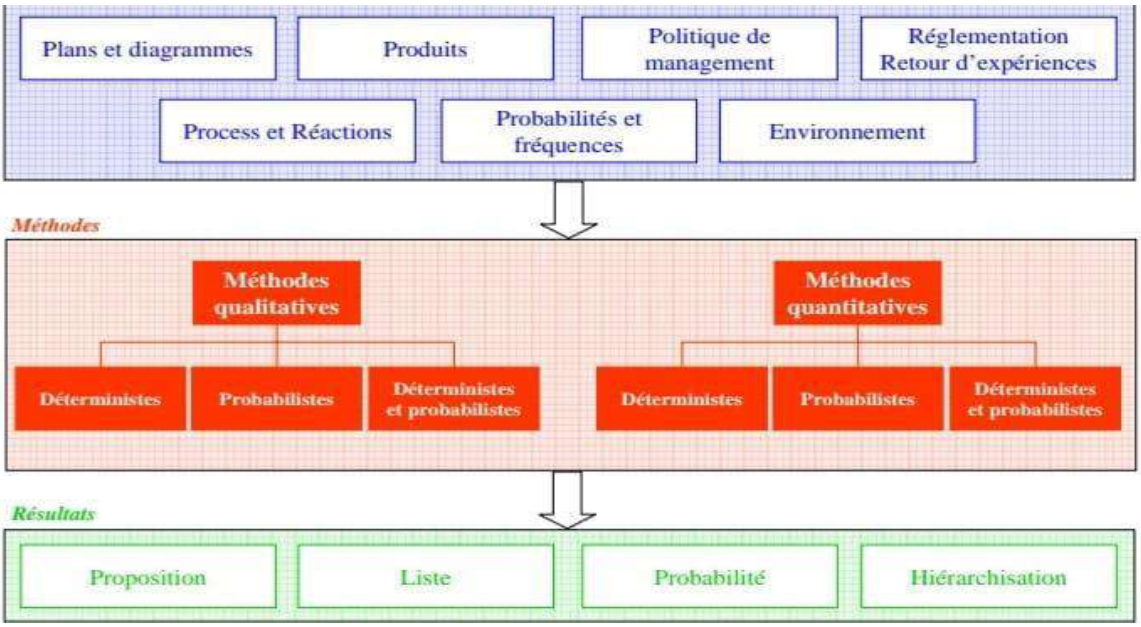


Figure. II.1 : Classement des méthodes d'analyse des risques [7]

a. Approche déterministe

Dans le domaine de la gestion des risques, les approches déterministes se concentrent sur l'évaluation des conséquences d'un accident. La maîtrise des risques consiste alors à s'assurer de la maîtrise des conséquences à l'aide de techniques de modélisation (modèle physique, modèle de contrainte) et de calcul déterministe (à partir de scénarios d'accidents). Concernant la prise en compte de scénarios d'accidents, la complexité des situations, les difficultés de modélisation ou la non nécessaire compréhension globale de l'ensemble des Approches d`analyse de risque Déterministes Probabiliste et Combinées 43 phénomènes régissant le système peuvent justifier le fait de ne retenir qu'un ensemble de cas type. Du fait de l'absence d'éléments d'incertitude, la qualité de cette approche est conditionnée par l'état des connaissances et ne peut donc satisfaire l'analyse des risques émergents et liés à des situations nouvelles, complexes et non entièrement maîtrisées . [8]

b. Approche probabiliste

Les approches probabilistes reposent sur l'estimation de la probabilité de survenue d'un événement non souhaité. Dans ce sens, la maîtrise des risques consiste alors à démontrer que la probabilité de survenue est maintenue à des valeurs acceptables, si besoin est par la mise en place de mesures destinées à les réduire. L'évaluation des risques repose alors sur une analyse probabiliste des indices de probabilité et de conséquence (à partir de scénarios). Bien que rendue inconfortable du fait de la prise en compte d'éléments d'incertitude, cette approche a été largement développée sur l'appellation Evaluation Probabiliste de Risque ou (EPR) (de l'anglais Probabilisé tic Risk Assessment ou PRA) dans les domaines du nucléaire, du pétrole et de la chimie. [8]

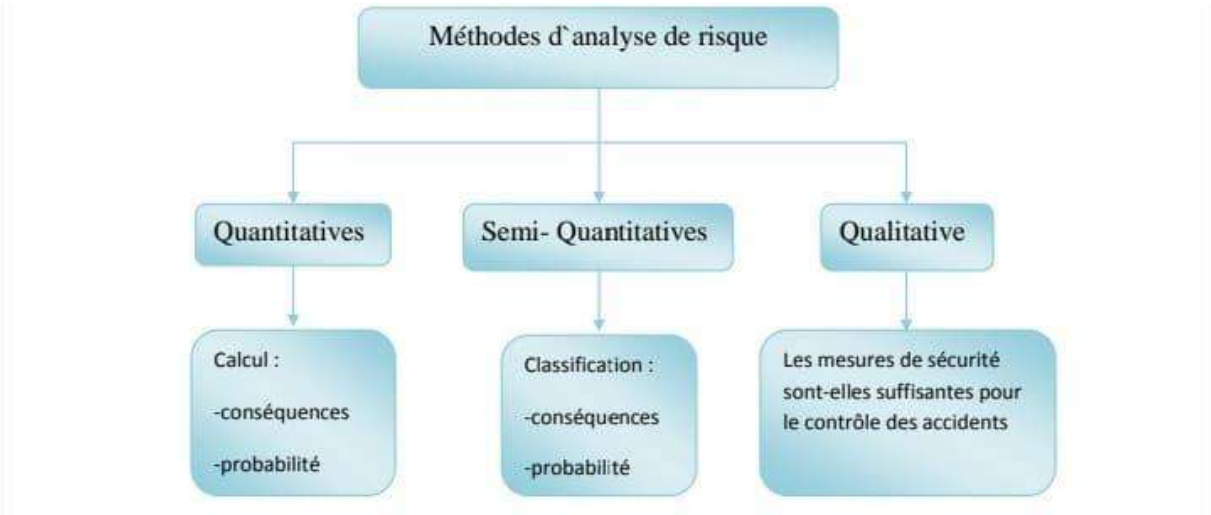


Figure II.2 : Typologies et Approches des méthodes d'analyse de risque [8]

II .2 Méthodes quantitatives et qualitatives

II .2.1 Méthodes quantitatives

Les analyses quantitatives sont supportées par des outils mathématiques ayant pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et entre autres la sécurité. Cette évaluation peut se faire par des calculs de probabilités (par exemple lors de l'estimation quantitative de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté) tels que les Arbres de défaillances ou bien par recours aux modèles différentiels probabilistes tels que les Chaines de Markov, les Réseaux de Pétri, les automates d'états finis, etc. [9]

II .2.2 Méthode semi quantitative

L'analyse semi-quantitative des risques est une approche qui n'est ni purement Qualitative ni purement quantitative. Cette démarche a pour but d'enlever L'aspect hautement subjectif de l'information utilisée dans l'approche qualitative en lui Donnant plus de précision et d'exactitude, et en même temps pour assouplir et combler le Manque de la robustesse des données de l'approche quantitative. De nombreuses méthodes et outils d'analyse et d'évaluation à caractère semi quantitatif Ont été développés. Dans ce qui suit on présentera certaines méthodes parmi les plus utilisées Dans l'évaluation des risques. [11]

II .2.3 Méthodes qualitatives

L'APR, HAZOP restent des méthodes qualitatives même si certaines mènent parfois aux estimations de fréquences d'occurrence avant la classification des risques.

La plupart des méthodes revêtent un caractère inductif dans une optique de recherche allant des causes aux conséquences éventuelles. En contrepartie, il existe quelques méthodes déductives qui ont pour but de chercher les combinaisons de causes conduisant à des évènements redoutés. [9]

II .3.1 Démarche déductive

Une méthode est dite déductive si elle cherche les causes d'un évènement non souhaite (note ENS). Les plus connues et les plus utilisées sont les méthodes dites de l'arbre des causes et de l'arbre des défaillances.

II .3.2 Démarche inductive

A l'opposé des méthodes déductives, une méthode est dite inductive si elle cherche les conséquences d'un événement non souhaité (noté ENS). Les méthodes les plus utilisées et que nous présentons ici sont l'HAZOP l'AMDEC …etc. [10]

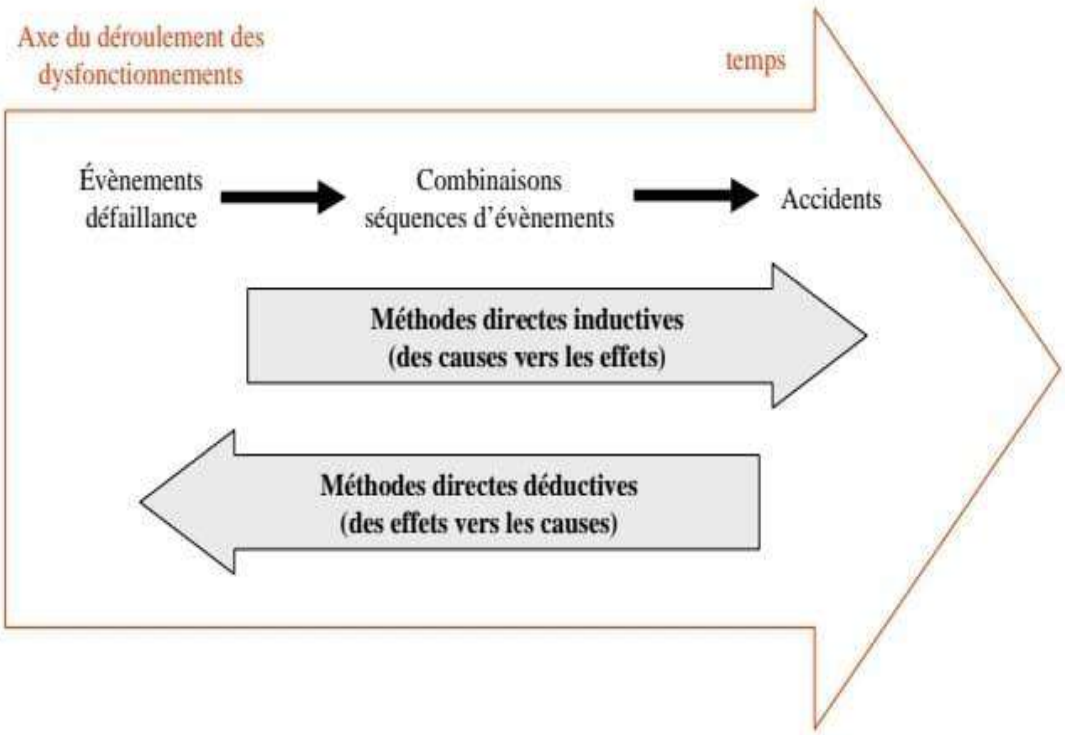
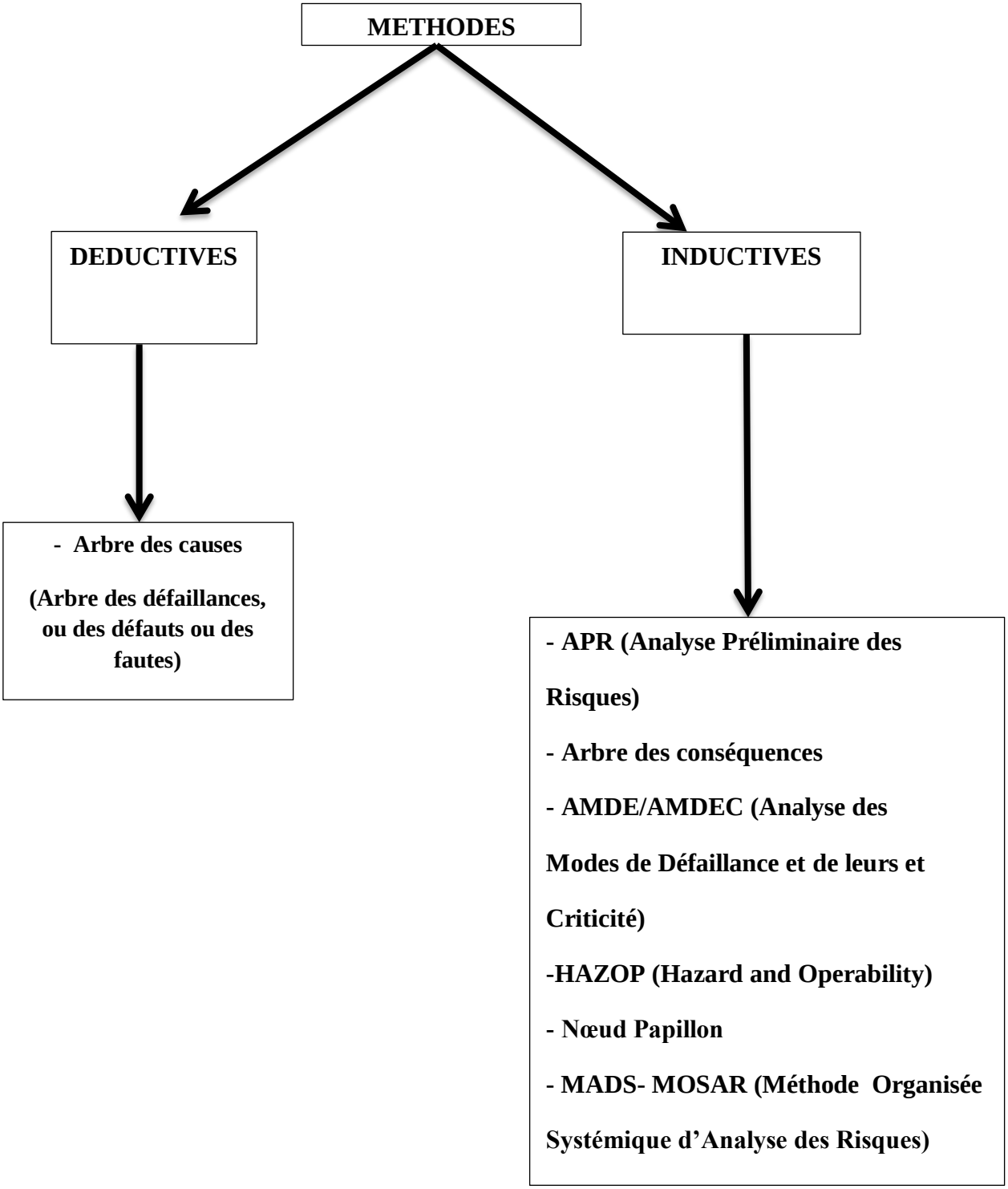


Figure II.3 : Démarches inductives et déductives [7]

II .4 Les différentes méthodes d'analyse de risques



II .5 Panorama des méthodes d'analyse de risque

Le Tableau présente une synthèse des principales caractéristiques des méthodes d'analyse de risque : inductive/déductive, déterministe/Probabiliste**,** phases du cycle de vie dusystème, Domaines d'application privilégiés.

Tableau II.1 Panorama des méthodes d'analyse de risque [9]

Méthodes	Inductive / Déductive	Déterministe / Probabiliste	Phases du cycle de vie du système	Domaines d'application Privilégiés
Analyse Préliminaire des Risques (APR)	Inductive et déductive	Déterministe et Probabiliste	Conception, exploitation, test & validation Modification	Domaines aéronautique et militaire, secteurs industriels
Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE)	Inductive	Déterministe	Conception, exploitation, test & validation Modification	l'industrie aéronautique secteurs industriels défaillance des matériaux et des équipements
Analyse des Modes de défaillance et de leurs Effets et de leur criticité (AMDEC)	Inductive	Déterministe et Probabiliste	Conception, exploitation test & validation Modification	l'industrie aéronautique, secteurs industriels défaillance des matériaux et des équipements
Arbre d'événements (ADE)	Inductive	Probabiliste	Test & validation modification, Exploitation	Domaines du nucléaire
Arbre de défaillances(ADD)	Déductive	Probabiliste	Conception, exploitation test & validation modification	l'industrie aéronautique, nucléaire, chimique,etc.
Hazard and Operability Study (HAZOP)	Inductive	Déterministe	Conception test &validation modification, exploitation	Systèmes thermo hydrauliques , l'industrie chimiqueet pétrochimie

Nœud Papillon	Inductive et déductive	Probabilisé	Test & validation, modification, exploitation	secteurs industriels
What-If	Inductive	Déterministe	Conception, exploitation , test & validation, modification, réalisation.	Systèmes thermo hydrauliques , l'industrie chimiqueet pétrochimie

II .6 Arbre de Défaillance (AdD) :

Un arbre de défaillances (AdD) modélise l'ensemble des combinaisons d'événements et de conditions qui peuvent aboutir à l'événement indésirable (également appelé événement sommet) exemple :

Pas d'alimentation électrique, le moteur ne démarre pas,…etc. L'identification de cet événement est absolument essentielle à l'efficacité et à la pertinence de la méthode. [12]

II .6.1 Caractéristiques de la méthode :

L'arbre des défaillances est :

Une méthodologie déductive qui parts des conséquences pour en déduire les causes. Elle répond aux questions suivantes:

• Pourquoi un certain évènement se produit?

• Quelles sont les causes et leurs relations mutuelles?

Une méthode statique (qui permet d'analyser le disfonctionnement du système dans une précise phase/ configuration opérationnelle):

• Plusieurs arbres doivent être utilisés pour étudier le système dans des conditions différentes (i.e., démarrage, état stable, fermeture, etc.)

En particulier l'arbre des défaillances :

• permet une analyse qualitative pour identifier les faiblesses du système et une analyse quantitative pour estimer la probabilité de défaillance du système. [13]

II .6.2 Les objectifs de l'analyse par arbre des défaillances:

L'arbre des défaillances est une approche systémique pour l'identification et la description des causes de disfonctionnement du système dans une phase opérationnelle ou de transition bien définie; il est aussi un modèle logique du système quand il opère en conditions détériorées.

Elle a aussi objet d'évaluer la probabilité de défaillance d'un système complexe à partir des donnée statistiques (probabilités de défaillance) d'évènements élémentaires à l'origine de la défaillance du système. [13]

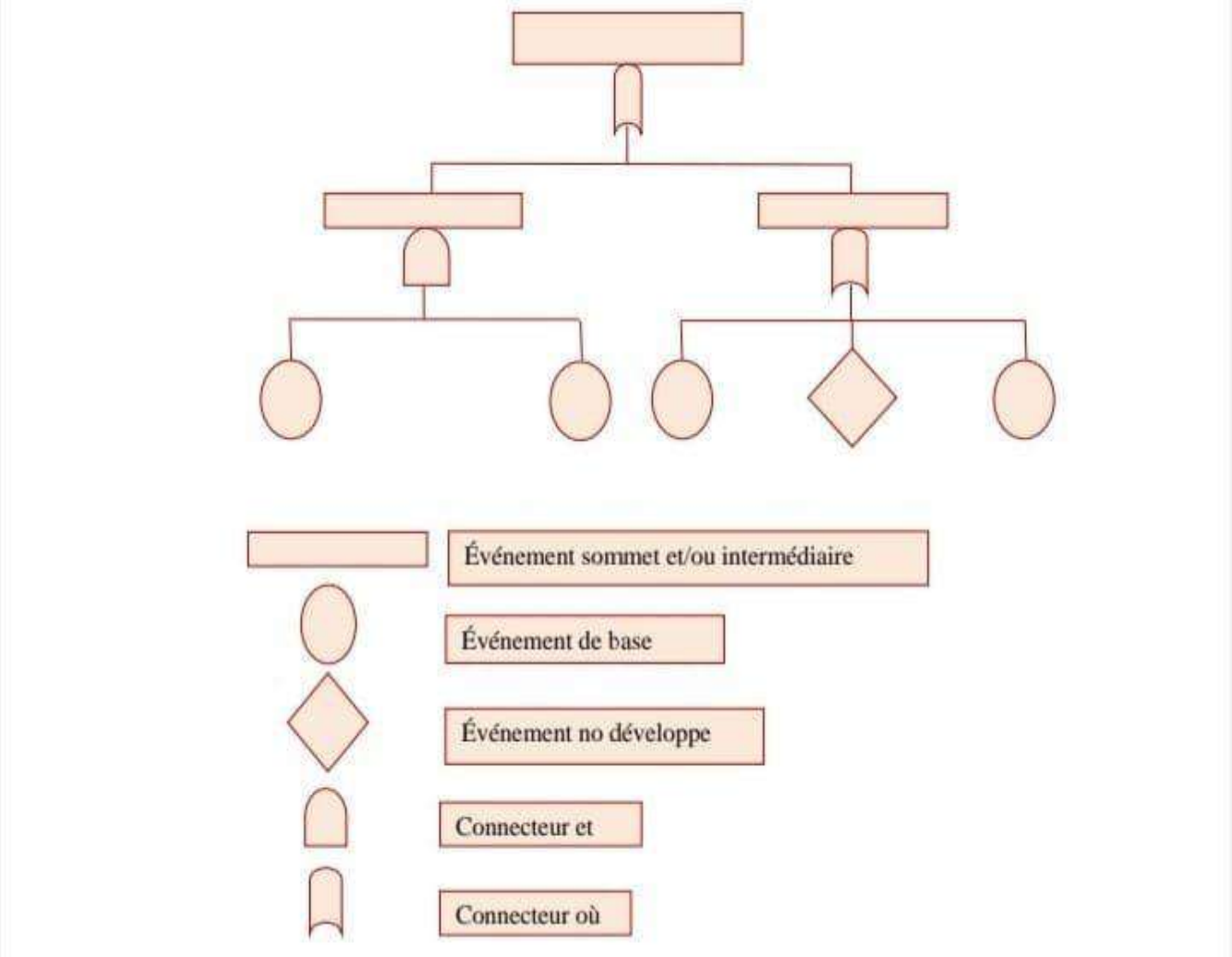
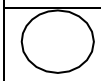
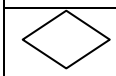
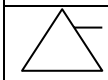


Figure II.4 : Représentation de l`arbre de défaillance. [14]

Le Tableau II.2 montre le symbole de quelques éléments de l'AdD que l'on vient d'évoquer et que nous utiliserons par la suite. [9]

Tableau II.2 : Symboles de certains éléments de l'AdD [9]

Symbole	Signification
	**Événement de base** Événement initial ne nécessitant pas de développement. Il s'agit essentiellement d'une défaillance première d'une entité à la limite de l'analyse.
	**Événement non développé** Événement qui ne constitue pas un événement de base mais qui ne sera pasdéveloppé en d'un manque d'information ou d'autres considérations
	**Événement intermédiaire** Représentation d'un événement qui est le résultat de la combinaison d'autresévénements.
	**Porte « ET »** Nécessite l'addition des événements causes pour engendrer l'événement effet.
	**Porte OU** Ne requiert qu'un seul des événements causes pour engendrer l'événement effet
	**Transfert vers...** Indique que l'arbre se poursuit à la section indiquée par le numéro dans le triangle.
	**Transfert de...** Indique que cette portion de l'arbre est la suite détaillée de la section indiquée par lenuméro dans le triangle
	**Maison** Représente un événement qui correspond à une utilisation normale du système.
	Représente un événement dont les causes ne sont pas encore développées, mais leseront ultérieurement.

II.7 Arbre des causes (ADC)

Un arbre des causes (arbre des faits) est un schéma se présentant sous la forme d'une arborescence, utilisé dans le domaine des risques professionnels pour mieux identifier a posteriori tous les faits nécessaires ayant abouti à un évènement indésirable (accident du travail, mais aussi défaillance d'un processus, etc.). Il s'agit donc surtout d'établir un diagramme de causes et effets.

Il existe deux méthodologies en matière d'analyse des risques :

- Une démarche a priori (démarche à visée ergonomique) : l'incident ou l'accident n'a pas encore eu lieu : on évalue le rapport entre le travail prescrit et le travail réel afin d'en tirer les conséquences pour améliorer la situation de travail, ou encore dans le cas d'un processus : l'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité (AMDEC).

- Une démarche a posteriori (arbre des causes, analyse des causes profondes, etc.) : l'incident ou l'accident ayant eu lieu, on en recherche les liens de causalité explicites et/ou implicites). [15]

II.7.1 Description de la méthode de l'arbre des causes (Principe de la méthode)

L'analyse d'accident par la méthode de l'arbre des causes s'appuie sur les principes suivants:

- Le développement d'une compréhension objective du processus de l'accident et non la recherche de responsabilités.

- La mises en évidence des faits et non pas des interprétations et des jugements de valeur.

- La prise en compte des faits en amont possible dans la genèse de l'accident.

- Le respect de la succession des étapes, notamment celle de « recueil des données et construction de l'arbre des causes » et celle de « propositions d'actions », Description de la méthode de l'arbre des causes (Principe de la méthode).

-L'utilisation d'un cadre d'observation évoquant de façon simplifiée. [15]

La situation de travail:

- I: l'individu, Opérateur, salarié, travailleur, agent, personne, victime.
- T/A: la tache/ activité (travail réel): les actions, les opérations qui ont concouru à la production de l'accident.
- Ma: le matériel utilisé (moyen technologiques, outils, matières, matériaux, produits).
- Mi: le milieu dans lequel s'est déroulé l'évènement, les espaces de travail, l'environnement physique et aussi psychosocial.

II.7.2 Apport de l'arbre des causes à l'analyses a priori des risques

Dans l'analyse de chaque accident, certains faits peuvent, s'ils sont exprimés de manière générale, être observés dans des situations de travail autre que celles ayant donné lieu à l'accident. Ainsi, dans le cas où la machine s'est révélée dangereuse par manque de protection, l'action menée de manière prioritaire sera d'installer une protection non seulement sur la machine en question, mais aussi sur d'autre machine identique. Ces faits, exprimés de manière générale, sont appelés « Facteur Potentiel d'Accident » ou « FPA ». Le tableau suivant présente différents facteur potentiels d'accident. [15]

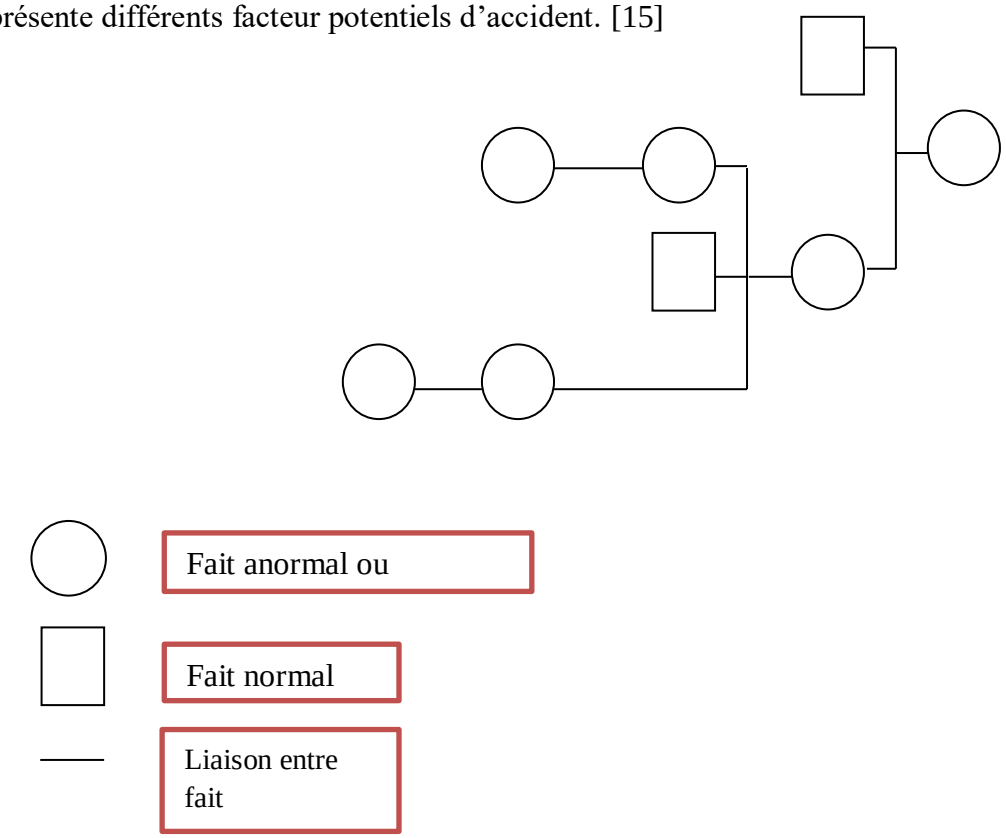


Figure II.5 Représentation de l`arbre des causes. [14]

II.8 Arbre d'événements (ADE)

II.8.1 Historique et domaine d'application

L'analyse par arbre d'évènements a été développée au début des années 1970 pour l'évaluation du risque lié aux centrales nucléaires à eau légère. Particulièrement utilisée dans le domaine du nucléaire, son utilisation s'est étendue à d'autres secteurs d'activité. De par sa complexité proche de celle de l'analyse par arbre des défaillances, cette méthode s'applique préférentiellement sur des sous-systèmes bien déterminés. Elle apporte une aide précieuse pour traiter des systèmes comportant de nombreux dispositifs de sécurité et de leurs interactions. À l'instar de l'analyse par arbre des défaillances dont elle s'inspire, elle permet d'estimer les probabilités d'occurrence de séquences accidentelles. Cette méthode est particulièrement utilisée dans le domaine de l'analyse après accidents en vue d'expliquer les conséquences observées résultant d'une défaillance du système.

II.8.2 Principe

L'analyse par arbre des défaillances, comme nous l'avons vu précédemment, vise à déterminer, dans une démarche déductive, les causes d'un événement indésirable ou redouté retenu a priori. À l'inverse, l'analyse par arbre d'évènements suppose la défaillance d'un composant ou d'une partie du système et s'attache à déterminer les évènements qui en découlent. À partir d'un événement initiateur ou d'une défaillance d'origine, l'analyse par arbre d'évènements permet donc d'estimer la dérive du système en envisageant de manière systématique le fonctionnement ou la défaillance des dispositifs de détection, d'alarme, de prévention, de protection ou d'intervention... Ces dispositifs peuvent concerner aussi bien des moyens automatiques qu'humains (intervention des opérateurs) ou organisationnels (application de procédures). [16]

II.8.3 Objectif de l'arbre d'événements

Les arbres d'événements sont utilisés pour identifier les divers accidents qui peuvent se produire dans un système complexe. À la suite de l'identification des séquences d'accidents individuels, les combinaisons spécifiques de défaillance qui peuvent conduire à des accidents peuvent être déterminées à l'aide de l'arbre d'événements. L'arbre d'événements permet :

- de rechercher toutes les causes et les combinaisons de causes conduisant à l'événement de tête.

- de déterminer si chacune des caractéristiques de fiabilité du système est conforme à l'objectif prescrit.
- de vérifier les hypothèses faites au cours d'autres analyses à propos de l'indépendance des systèmes et de la non-prise en compte de certaines défaillances.
- d'identifier le(les) facteur(s) qui a(ont) les conséquences les plus néfastes sur une caractéristique de fiabilité ainsi que les modifications nécessaires pour améliorer cette caractéristique.
- d'identifier les événements communs ou les défaillances de cause commune. [1]

II.8.4 Applications de l'arbre d'événements

L'arbre d'événements est utilisé pour identifier les divers événements qui peuvent survenir dans un système complexe. À la suite de l'identification des séquences individuelles d'accident, les combinaisons spécifiques de défaillance qui conduisent à des accidents peuvent alors être déterminées en utilisant l'arbre de panne.

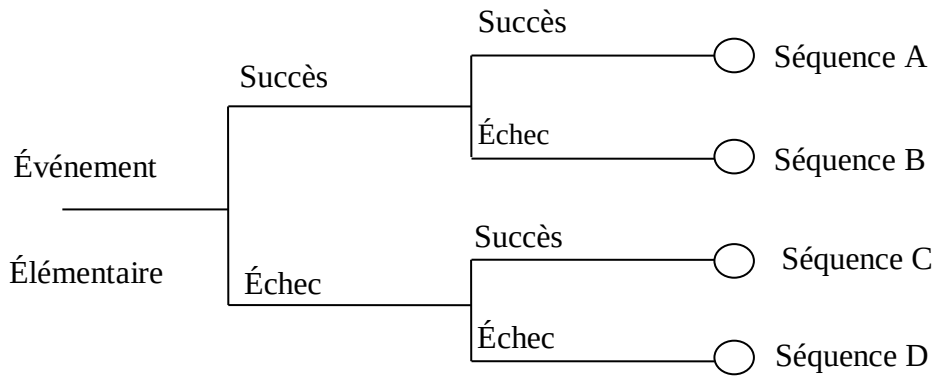


Figure II.6: Représentation de l`arbre d`évènement. [1]

II.9 Nœud Paillon

II.9.1 Historique et domaine d'application

Le « Nœud Papillon » est une approche de type arborescente largement utilisée dans les pays européens comme les Pays-Bas qui possèdent une approche probabiliste de la gestion des risques. Le Nœud Papillon est utilisé dans différents secteurs industriels par des entreprises comme SHELL qui a été à l'origine du développement de ce type d'outils. [16]

II.9.2 Présentation de la méthode

II.9.2.1 Principe

Le concept du nœud papillon a été introduit par la compagnie ICI (Imperial Chemical Industries). Après l'accident survenu sur la plate-forme pétrolière Piper Alfa, la compagnie Royal Dutch/Shell a développé cette technique d'analyse au début des années 1990 afin d'améliorer la sécurité sur de telles installations. L'utilisation de la méthode du nœud papillon tend aujourd'hui à se démocratiser et son application au secteur de l'industrie est de plus en plus répandue. Le programme de recherche européen ARAMIS (**Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of Seveso II directive*)*** portant sur l'évaluation des risques dans le contexte de l'application de la directive Seveso II met en avant les avantages de cette méthode. Pour rappel, ce programme avait pour but :

- Le développement d'une méthodologie plus précise et harmonisée d'analyse de risque pour les études de dangers (ou safety reports*)*, dans le contexte de l'application de la directive Seveso II.
- L'identification et la qualification des principaux phénomènes accidentels majeurs (appréciation de la probabilité et de la gravité des effets physiques en utilisant, par exemple, la représentation sous forme de nœud papillon).
- L'évaluation de la performance des fonctions et éléments de sécurité liés à la prévention des phénomènes accidentels.
- L'identification de la vulnérabilité de l'environnement des sites. [1]

Le point central du nœud papillon est constitué par un événement redouté qui peut être par exemple une perte de confinement.

La partie en amont de l'événement redouté est constituée par un arbre de défaillances qui permet d'analyser les combinaisons de causes, et de valoriser les barrières de prévention mises en place pour prévenir l'apparition de l'événement redouté. La partie en aval est, quant à elle, constituée par un arbre d'événements qui permet de différencier les conséquences en fonction du fonctionnement ou non des mesures de mitigation/protection. Le synoptique, présenté en figure 3, présente la structure d'un nœud papillon. Le tableau 3 détaille les définitions associées à chacun des événements figurant sur le modèle du nœud papillon de la figure II.7. [1]

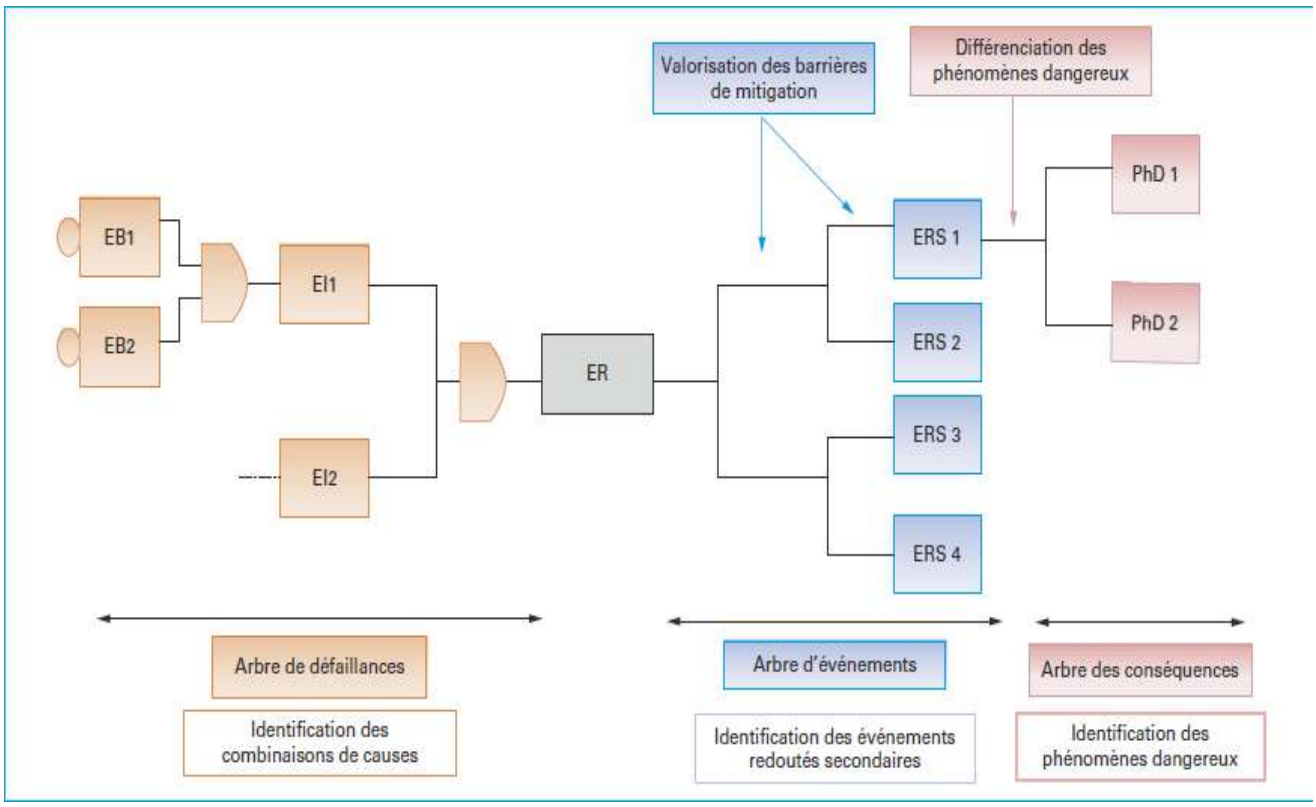


Figure II.7 : Schéma d'un nœud papillon. [1]

Tableau II. 3 : Définition des événements composant un nœud papillon. [1]

Identification	Signification	Définition	Exemples
EB	**Événement de base**	**Événement dont la réalisation, seule ou combinée, est susceptible d'aboutir à la matérialisation d'un événement intermédiaire (EI)**	**Dérive ou défaillance sortant du cadre des conditions d'exploitation usuelle définie (montée en température, sur remplissage, etc.) Événement courant survenant de façon récurrente dans la vie d'une installation (vibration, maintenance, etc.)**
EI	**Événement intermédiaire**	**Événement dont la réalisation, seule ou combinée, est susceptible d'aboutir à la matérialisation de l'événement redouté (ER)**	**Montée en température non détectée, corrosion non détectée lors de test d'inspection, etc.**
ER	**Événement redouté**	**Événement résultant de dérives de paramètres de fonctionnement, ou de défaillances d'éléments, pouvant avoir des conséquences dommageables sur l'environnement**	**Rupture de capacité, brèche sur canalisation, décomposition de substance, etc.**
ERS	**Événement redouté secondaire**	**Conséquence directe de l'événement redouté**	**Formation d'une nappe d'hydrocarbure, fuite de gaz toxique, sur une durée de 10 min, etc.**
PhD	**Phénomène dangereux**	**Libération d'énergie ou de substance susceptible d'infliger un dommage à des cibles (ou éléments vulnérables) vivantes ou matérielles**	**Jet enflammé, BLEVE, Boil Over, explosion, etc.**

Le Nœud Papillon s'inspirant directement des **arbres des défaillances et d'évènement**, il doit être élaboré avec les mêmes précautions. S'agissant d'un outil relativement lourd à mettre en place, son utilisation est généralement réservée à des évènements jugés particulièrement

critiques pour lesquels un niveau élevé de démonstration de **la maîtrise des risques** est indispensable. En règle générale, un Nœud Papillon est construit à la suite d'une première analyse des risques menée à l'aide d'outils plus simples comme l'APR par exemple. [16]

Le nœud papillon se **déroule s**elon onze étapes :

Etape 1 : Identification et caractérisation des potentiels de danger

L'identification des dangers est le processus permettant de trouver, lister et caractériser les situations, conditions ou pratiques qui comportent en elles-mêmes un potentiel à causer des dommages aux personnes, aux biens et à l'environnement.

Cette étape permet :

- d'identifier la nature des dangers
- de définir la matérialisation de ces dangers.
- d'identifier les différentes circonstances ou menaces susceptibles de déclencher le danger.
- d'identifier les évènements redoutés.
- d'identifier les conséquences possibles suite à la survenance de ces évènements redoutés.

Etape 2 : Réduction des potentiels de danger

Pour les risques identifiés comme présentant un fort potentiel de danger, cette étape consiste à tenter de :

- supprimer ou substituer aux procédés et aux produits dangereux, à l'origine de ces dangers potentiels, des procédés ou produits présentant des risques moindres,
- réduire autant que possible la quantité de matières dangereuse en cause.

Etape 3 : Estimation des conséquences potentielles

Cette étape consiste à faire une évaluation des conséquences potentielles de la libération de la totalité du danger présent dans le système étudié. Seuls les scénarios physiquement vraisemblables sont retenus.

Les conséquences sont évaluées en termes de gravité et classées selon leurs effets. Cette évaluation des conséquences sera faite sur les personnes, les biens et l'environnement.

Etape 4 : Evaluation préliminaire des risques

Cette étape consiste à comparer le risque potentiel aux critères de risques définis. Le niveau de risque potentiel est évalué pour chacune des conséquences d'un danger.

Pour cela, on a recours à une matrice de criticité adaptée à l'étude. On peut distinguer trois zones :

- une première zone correspond à un risque faible jugé acceptable.
- une deuxième zone correspond à un risque moyen pour lequel il serait nécessaire d'intervenir afin de ramener le risque à un niveau négligeable.
- une dernière zone correspond à un risque intolérable qui va nécessiter une étude détaillée de chacun des scénarios présents dans cette zone avec pour objectif de rendre ce risque acceptable.
- **Etape 5 : Sélection des systèmes critiques**
- A ce stade de l'étude, chacune des conséquences est positionnée dans la grille de criticité. Tous les scénarios dont les conséquences sont situées dans la zone rouge sont considérés comme critiques.
- Il faut également inclure les scénarios se trouvant dans la zone jaune mais pour lesquels une dégradation de la gravité ou de la probabilité les placeraient dans la zone intolérable.
- Tous les scénarios identifiés comme critiques sont répertoriés dans un registre des incidents majeurs et font l'objet de la suite de l'étude.
- **Etape 6 : Etude détaillée de réduction des risques**
- A partir des scénarios critiques identifiés, dans l'étape précédente, une étude détaillée de réduction des risques est conduite ; elle porte sur toutes les conditions d'exploitations des installations.
- Pour chaque menace (séisme, incendie...), il faut identifier toutes les barrières déjà en place capables de s'opposer à l'apparition de l'évènement redouté ou de ces conséquences. Une barrière est constituée de tout dispositif instrumental, mécanique ou procédural permettant de prévenir ou de réduire

la probabilité d'occurrence (barrières de prévention : procédures de sécurité) ou de limiter les conséquences d'un évènement susceptible d'aboutir à un accident (barrières de protection : mesures de détection, choix des matériaux...).

- A ce niveau de l'étude on définit également la liste des Eléments Importants Pour la Sécurité (EIPS) à partir de l'inventaire de toutes les barrières.

Etapes 7 et 8 : Quantification des effets redoutés et calcul des distances à risques

Pour chacun des scénarios identifiés, les effets redoutés sont quantifiés selon la démarche suivante :

- les phénomènes physiques rencontrés sont identifiés.
- les seuils des effets rencontrés sont quantifiés.
- les distances à risques sont calculées.

Etape 9 : Evaluation du niveau de risque Gravité/Probabilité

Le calcul de la gravité porte sur les conséquences potentielles des effets sur les personnes, les biens et l'environnement.

Le calcul de la probabilité est réalisé selon la méthode de l'arbre des défaillantes pour la partie prévention jusqu'à l'évènement redouté et d'un arbre des évènements pour chacune des conséquences.

Etape 10 : Acceptabilité du risque

A partir de l'estimation des conséquences en termes de gravité et de probabilité, le niveau de risque est positionné dans une grille où l'acceptabilité du risque est définie. La grille de risque est divisée en trois parties : zone de risque jugé tolérable, zone intermédiaire ou l'on doit montrer que le risque est à niveau acceptable et zone de risque jugé intolérable.

Etape 11 : Etablissement des plans de prévention

Trois plans de prévention peuvent être réalisés :

- **POI** : Plan d'Opération Interne réalisé par l'industriel.
- **PPI** : Plan Particulier d'Intervention réalisé par le Préfet.

- **PPRT** : Plan de Prévention des Risques Technologiques élaboré par le Préfet en concertation avec les collectivités territoriales et l'exploitant.

Si les conséquences des accidents identifiés ont des effets à l'extérieur du système, on devra évaluer également les dommages matériels potentiels aux tiers. [16]

II.9.3 Intérêts et limites

Le Nœud Papillon offre une visualisation concrète des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées.

De ce fait, cet outil met clairement en valeur l'action des barrières de sécurité s'opposant à ces scénarios d'accidents et permet d'apporter une démonstration renforcée de la maîtrise des risques. [16]

En revanche, il s'agit d'un outil dont la mise en œuvre peut être particulièrement coûteuse en temps. Son utilisation doit donc être décidée pour des cas justifiant effectivement un tel niveau de détail.

CHAPITRE III

L'EXPLOSION DU COMPLEXE DE GAZ LIQUEFIE CAS DE SKIKDA 2004

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de notre investigation sur explosion de complexe de gaz liquéfiée cas de Skikda 2004, toujours en utilisant la méthode de nœud papillon afin d'identifier les raisons et les conséquences qui ont aboutis a cet accident majeur.

III.2 Wilaya de SKIKDA

Située au nord-est du pays, la wilaya de Skikda s'étend sur une superficie de 4.137,68 kilomètres carrés, où se concentrent 804697 habitants.

Elle fait face, au nord, à la mer méditerranée et dispose des frontières communes avec les wilayas suivantes: Annaba, Guelma, Constantine, Mila et Jijel. Skikda renferme également d'incommensurable potentialités économiques et touristiques, avec, en prime, une façade maritime de 130 km, où se succède des plages féeriques (allant de Tamanart à l'ouest, jusqu'à la Marsa à l'est), et où l'on peut dénombrer pas moins de 08 zones d'expansion touristique

Cette position géographique combinée à l'importance de ses infrastructures techniques (Routes nationales ports et voies ferrées..) lui permettent de jouer un rôle de premier plan dans les échanges et les flux économiques. [17]

III.4 Présentation de complexe GL1k :

Le complexe GL1K est situé à 3 km de l'est de la ville de Skikda, dont les déférentes unités De liquéfaction sont construites sur la côte pour faciliter l'exportation du produit fini.

III.5 Description des installations du complexe GL1K :



Figure III.1 : Complexe Gl1k dans la zone industrielle Skikda

Le complexe comprend principalement :

- **Le Nouveau Train de GNL** : le méga train utilise le procédé APCI (Air Product and Chemical Incorporation) pour la liquéfaction du GN.
- **L'unité GPL :** pour le traitement et le stockage du propane et du butane.
- **Installations de stockage et d'expédition de GNL, GPL et de gazoline.**
- **Les utilités**
- **Le réseau de protection anti-incendie :** Protéger les stocks des hydrocarbures contre les incendies pour atténuer l'incendie et limiter sa propagation.

III.5.1 GAZ NATUREL LIQUIFIE :

Le GNL est un fluide a l'état liquide , incolore , composé principalement de méthane , et qui peut contenir de faibles quantités d'éthane , de propane , d'azote ou d'autres composants habituellement présents dans le gaz naturel .

En fait, il s'agit du gaz naturel refroidi à une température de -160°c, Température à laquelle il devient liquide, le GNL n'occupe que 1/600 du volume requis pour une même quantité d'énergie lorsque comparé à son état gazeux. Le GNL est classé liquide très inflammable.

Le GNL est sans odeur, il n'est pas sous pression, il n'est pas toxique, il est très froid et étant plus léger que l'eau, il flotte donc à sa surface, dans un environnement ouvert à température usuelle, le GNL redevient du gaz naturel. [18]

III.5.2 Les principaux matériaux utilisés lors du processus de liquéfaction du gaz naturelle

L'usine utilise des chaudières a vapeur pour faire fonctionner ses turbines fournissent ensuite la puissance aux compresseurs réfrigérants de l'usine qui sont utilisés pour liquéfier le gaz naturel. [17]

III.6 Scenario l'explosion de complexe GNLK1 de Skikda survenu le 19-01-2004

Le 19 janvier 2004 une très forte déflagration s'est produite à 18 h 40 au niveau du Complexe de Liquéfaction GNL de Skikda suivie d'un incendie. Trois unités de liquéfaction sur les six que comporte le Complexe GL1/K ont été fortement endommagées et soumises à un feu intense. Le Plan d'Assistance Mutuelle entre les Unités de la plate-forme Pétrochimique sous la direction de l'Entreprise de Gestion de la zone Industrielle (EGZIK) prévu à cet effet a été immédiatement mis en œuvre pour confiner le sinistre au trois (03) unités touchées et éviter sa propagation aux autres installations du Complexe avec mobilisation de l'ensemble des moyens humains et matériels de la plate-forme. Ce plan d'Assistance Mutuelle a été suivi aussitôt par le déclenchement du Plan ORSEC L'organisation mise en place a permis de mener de pair la lutte contre l'incendie et l'évacuation des victimes. Eu égard à l'ampleur du sinistre, chaque complexe de la plate-forme a pris les mesures conservatoires nécessaires consistant à la mise en sécurité de ses installations. Il est à déplorer que cet incident a été la cause de 23 décès et 74 blessés évacués sur l'hôpital de Skikda dont 42 l'ont quitté après avoir reçu les soins nécessaires. 5 blessés ont été dirigés sur le CHU d'Annaba. [19]



Figure III.2 : Complexe GL1K (unités 20,30 et 40) avant l'accident







Figure III.3 :L'explosion du complexe de GNL (GL1K) de Skikda.

III.6.1 Les cause d'accident

- L'explosion a été précédée par l'ingestion d'une importante fuite d'hydrocarbures froid dans la chaudière de la conduite de GNL la plus à l'ouest, cela fait exploser la chaudière.
- Fournir des équipements pétrochimiques.
- Manque d'entretien
- Chaudière défectueuse serait responsable de l'explosion il a par ailleurs indiqué qu'un rapport état précaire de cette chaudière avait été rétablir il y'a plus d'une année et qu'elle avait été réparé superficiellement.

- Donner la priorité à la production plutôt qu'à la maintenance.
- Coordination insuffisante entre le Département de la production et de la sécurité industrielle.
- Non-respect des principes de sécurité industrielle. [20] [21]

III.6.2 Chaudière à vapeur

Une chaudière : c'est un système qui utilise combustible pour apporte de l'énergie a un fluide de caloporteur et fournir ainsi un fluide avec des caractéristiques impasses par l'utilisateur qui en sera faite .c'est l'ensemble cors de chaudière et bruleur s'il existe, produisant de l'eau chaud, de la vapeur d'eau, de l'eau sur chauffée, on modifiant la température d'un fluide thermiques grâce à la chaleur libérée par la combustion. [22]

Dans le cas des chaudières à vapeur, le fluide caloporteur est de l'eau, ce type de chaudière se compose de deux compartiments destinés :

- un dans Lequel brule de combustible
- un de lequel d'eau est chauffée. [22]



Figure III.3 : Chaudière à vapeur

III.6.3 Importance De la Sécurité industriel

Les accidents industriels touchent tous les secteurs de l'économie. La maîtrise des risques professionnels est un enjeu à la fois pour les hommes, l'entreprise et la société toute entière, La bonne pratique de la gestion des risques relève souvent de gestes simples et de mesures peu coûteuses. Ainsi la pose d'une affiche, le rangement systématique d'une voie de circulation ou une formation succincte du personnel peuvent éviter les accidents même les plus dangereux. Dès lors, les concepts liés à la culture d'une entreprise en SST ont l'avantage de s'appliquer à tous les secteurs d'activité et à toutes les tailles d'entreprises, d'établissements et de chantiers. Le succès d'une entreprise en SST repose avant tout sur les valeurs, le leadership et l'aptitude de ses dirigeants à créer une culture d'entreprise qui intègre la prévention dans toutes ses activités. [23]

III.7 Les conséquences de l'explosion du GNL de Skikda.

III.7.1 Economique

- Perte de 3 trains de liquéfaction (500 millions de dollars).
- Déficits de la recette totale du complexe (400 millions de dollars).
- Détérioration des infrastructures de base.
- Réadaptation du plan d'investissement et de développement
- Indemnisation des victimes.
- Perte de 80% de la documentation des données informatisées.

III.7.2 Social

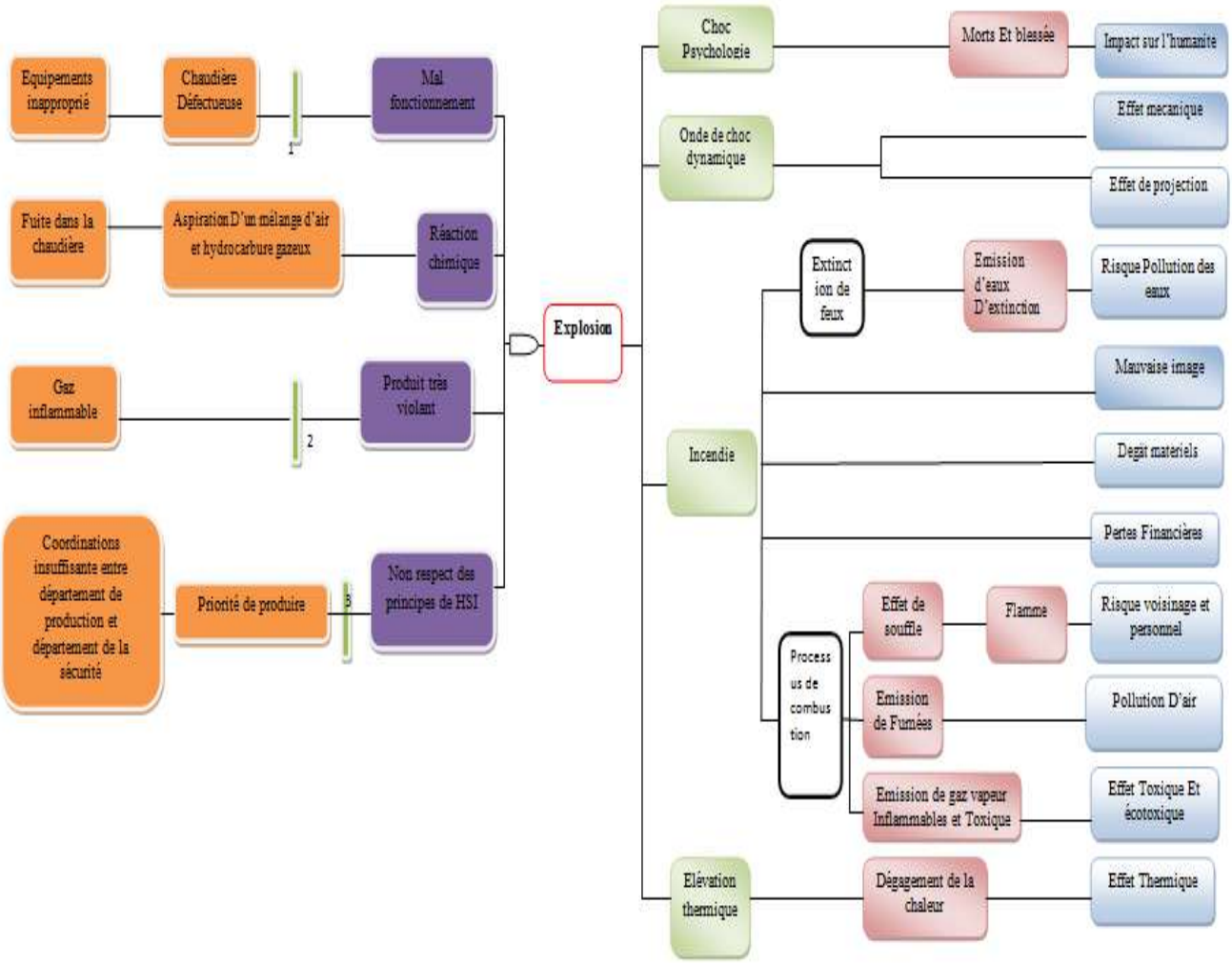
- Perte de 27 travailleurs.
- Affectation directe de 112 blessés dont 70 hospitalisés.
- Suivi social et psychologique des agents affectés.
- Angoisse et stress affectant le milieu industriel du pôle.
- Inquiétude et angoisse des riverains et des familles des travailleurs en milieu industriel.
- Réadaptation du collectif du complexe GL1K.

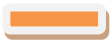
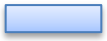
III.7.3 Organisationnel

- Déstructuration du système.
- Révision et actualisation des plans d'urgence.
- Ajustement organisationnel.
- Mise à jour des études de danger et études d'impact.
- Elaboration des nouvelles instructions R1/R2 tenantcompte du retour d'expérience de l'incident.
- Planification du module formation (Risque majeur).
- Promulgation de la nouvelle loi du 25/12/2004 sur les risques majeurs naturels et technologiques dans le cadre du développement durable. [20]

III.8 Appliquer la méthode du nœud papillon à l'explosion de complexe GNLK1

Pour obtenir une vue détaillée de l'accident, nous appliquons la méthode du nœud papillon pour connaître les causes et les conséquences de l'accident et suggérer des barrières de prévention et de protection qui nous préviennent ou réduisent de tels accidents à l'avenir.



	Evènement indésirable
	Evènement courant
	Evènement redouté centrale
	Evènement redouté secondaire
	Phénomène dangereux
	Effets majeur
	L'opérateur logique ET
	L'opérateur logique OU
	Mesure des préventions

Les mesures de prévention

1 :

Chaudière était entretenue dans le temps.

2 :

Détecteurs de gaz ont été installés.

3 :

Les règles de sécurité ont été respecté quel que soit les demande de production

III.9 Que pouvons-nous faire pour réduire et éviter la récurrence de l'accident du complexe de liquéfaction du gaz naturel ?

- Élaborer un plan pendant l'exploitation du terrain pour des activités industrielles, où il est complètement isolé de la population civile.
- Fixation d'une distance de sécurité entre les unités par des spécialistes de la sécurité industrielle et de l'architecture avant la construction de l'usine pour éviter que des effets négatifs tels qu'une explosion et un incendie ne se transmettent entre eux.
- Affecter une équipe stricte à l'entretien et à la surveillance des équipements, composée de spécialistes, afin d'entretenir périodiquement les pannes.
- Développer un système de sécurité pour protéger l'usine et les employés grâce à des dispositifs spécialisés tels que : (Détecteur des Flamme, système de détection des gaz inflammables, détecteur de Froid, détecteur de chaleur, boutons poussoir, système d'alerte interne de terminal).
- Doter les zones industrielles d'hôpitaux de proximité spécialisés dans les plaies profondes, les brûlures et les hémorragies graves, ainsi que de psychiatres pour protéger et soigner les victimes en cas d'explosion ou d'incendie.

III.10 Conclusion

L'industrie de GNL constitue un des piliers incontestables de l'économie mondiale, elle doit faire face depuis quelques années à une image peu flatteuse d'industrie dangereuse et polluante. Les accidents comme ceux survenus aux usines de liquéfaction ont démontré à quel point les incidents causés par ce type d'industrie pouvaient être impressionnants et destructeurs.

En Algérie, c'est l'accident de l'usine GL1K de Skikda du 19 janvier 2004 et ses conséquences dramatiques qui ont relancé le débat sur la sécurité industrielle et sur les priorités à définir, tant au niveau de l'Etat et des industriels que du grand public. Cet accident reste, de par son ampleur, l'accident industriel le plus important de l'industrie Algérienne. Il a mis en exergue des carences au niveau de la mise en sécurité des installations et de la protection des personnes sur le complexe. Il a fait prendre conscience à l'ensemble des parties

intéressées (administration, chercheurs et industriels) la problématique des risques industriels majeurs.

Conclusion générale

Conclusion générale

Pour des raisons morales, légales et économiques, la santé et la sécurité de chaque personne, la sécurité des biens et la protection de l'environnement sont des objectifs essentiels communs aux différents secteurs sans exception. De ce fait, l'amélioration continue et permanente de la sécurité, de la santé et de la protection des salariés...

On aurait pu éviter cet accident majeur si les mesures de prévention de sécurité suivantes ont été respectées :

- Si la chaudière était entretenue dans le temps.
- Si les règles de sécurité ont été respecté quel que soit les demande de production
- Si des détecteurs de gaz ont été installés
- On aurait pu aussi minimiser les dégâts si les mesures de protection suivantes ont été respectées :
- Affecter une équipe stricte à l'entretien et à la surveillance des équipements, composée de spécialistes.
- Installer des dispositifs spécialisés tels que : (Détecteur des Flamme, système de détection des gaz inflammables, détecteur de Froid, détecteur de chaleur, boutons poussoir, système d'alerte interne de terminal).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] (https://www.techniques-ingenieur.fr/).

[2] cour hygiène, sécurité industriel chimie analytique de Mr AHMED Ourida Université des Sciences et de la Technologie d'Oran MB Faculté de chimie Département de chimie physique

[3] Mohamed Habib Mazouni. Pour une meilleure approche du management des risques: de la modélisation ontologique du processus accidentel au système interactif d'aide à la décision. Automatique / Robotique. Institut National Polytechnique de Lorraine - INPL, 2008. Français

[4] Le livre de Nichan Margossian Risques et accidents industriels majeurs.

[5] Google (https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/)

[6] Google (www.ecologie.gouv.fr/Risque-explosion).

[7] Article Dr. Bounie, Polytech'Lille Les méthodes d'analyse de risque

[8] Mémoire de Master : BELADZAR IMANE -BENATTALAH MOHAMED Explosion industrielle : Etude de cas du Beyrouth Causes et Conséquences Réalisé par Université Yahia Farés de Médéa.

[9] Mémoire de doctorat : Mohamed-Habib MAZOUNI, « Pour une meilleure approche du Management des risques », thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Novembre 2008.

[10] DESINDE.M, "Contribution à la mise au point d'une approche intégrée analyse diagnostique," Université Joseph Fourier Grenoble, 2006.

[11] [DESROCHES, 1995], Desroches A. Concepts et méthodes probabilistes de base de sécurité.

[12] (https://elearning-deprecated.univannaba.dz)

pluginfile.php/66166/mod_resource/content/1/arbre%20de%20defaillance.pdf.

[13] Cour surete de fonctionnement des systèmes Kortbi.A Université Yahia fares Médéa

[14] Article Dr.BROWN, “Risk analysis: an investment in engineering, Process Safety Progress,” 1999.

[15] Décret n° 84-28 du 11 février 1984 fixant les modalités d'application des titres III, IV et VIII de la loi n° 83-13 du 2 juillet 1983 relative aux accidents du travail et aux maladies professionnelles. Journal officiel, 1984-02-14, no 7, pp. 155-157.

[16] (http: //ressouerce.unit.eu/cours/cyber risque/étage 3 aurélie/Co/Module Etage 3 synthèse 75.html).

[17] (https://dcwskikda.dz/fr/index.php/wil21).

[18] Article projet d’un terminal méthanier au Verdon –débat public 2007dangers.

[19] (www.sonatrach.com).

[20](https://www.letemps.ch/monde/une-explosion-detruit-lun-principaux-complexes-petrochimiques-algeriens).

[21]Source Anonym: Google (https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/50/11/1/15387).

[22](ineris-dra-14-141532-12702A).

[23] F. Bochmann, D. Hartlieb, K. Meffert, J.M Mur, A. Nold, P. Pils et R. Stamm; Prévention des risques industriels, Pratiques actuelles et orientations pour la recherche, Publié par : Comité International pour la recherche, INRS, ISSA Prévention Séries N°2049 (F), ISSN 1015 -8022, Août 2004, Paris, France.